

**ATRIBUTOS FISIOLÓGICOS DE PLANTAS COM
POTENCIAL PARA SISTEMAS SILVIPASTORIS**

RODRIGO DIEGO QUOOS

2018



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**ATRIBUTOS FISIOLÓGICOS DE PLANTAS COM
POTENCIAL PARA SISTEMAS SILVIPASTORIS**

Autor: Rodrigo Diego Quoos

Orientadora: Prof. Dra. Daniela Deitos Fries

ITAPETINGA
BAHIA – BRASIL
Março de 2018

RODRIGO DIEGO QUOOS

**ATRIBUTOS FISIOLÓGICOS DE PLANTAS COM POTENCIAL
PARA SISTEMAS SILVIPASTORIS**

Tese apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de DOUTOR EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

Orientadora: Prof^a. D.Sc. Daniela Deitos Fries

Co-orientadores: Prof. D.Sc. Aureliano José Vieira Pires
Prof. D.Sc. Fábio Andrade Teixeira

ITAPETINGA
BAHIA – BRASIL
Março de 2018

633.2 Quoos, Rodrigo Diego.

Q87a Atributos fisiológicos de plantas com potencial para sistemas silvipastoris. / Rodrigo Diego Quoos. – Itapetinga-BA: UESB, 2018. 127f.

Tese apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de DOUTOR EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Sob a orientação da Prof^a. D.Sc. Daniela Deitos Fries e coorientação do Prof. D.Sc. Aureliano José Vieira Pires e Prof. D.Sc. Fábio Andrade Teixeira.

1. Forrageiras – Fisiologia vegetal. 2. Capim marandú – Características produtivas. 3. Estilosantes Campo Grande - Morfogenia. 4. Mogno africano - Fisiologia. I. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - Programa de Pós-Graduação de Doutorado em Zootecnia, *Campus* de Itapetinga. II. Fries, Daniela Deitos. III. Pires, Aureliano José Vieira. IV. Teixeira, Fábio Andrade. V. Título.

CDD(21): 633.2

Catálogo na Fonte:

Adalice Gustavo da Silva – CRB 535-5^a Região
Bibliotecária – UESB – Campus de Itapetinga-BA

Índice Sistemático para desdobramentos por Assunto:

1. Forrageiras – Fisiologia vegetal
2. Capim marandú – Características produtivas
3. Estilosantes Campo Grande – Morfogenia
4. Mogno africano - Fisiologia

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA - UESB
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA
Área de Concentração: Produção de Ruminantes

Campus Itapetinga-BA

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

Título: "Atributos fisiológicos de plantas com potencial para sistemas silvipastoris".

Autor (a): Rodrigo Diego Quoos

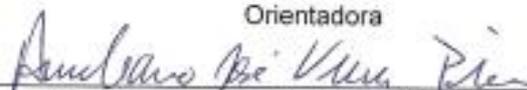
Orientador (a): Profª. Drª. Daniela Deitos Fries

Co-orientador (a): Prof. Dr. Aureliano José Vieira Pires
Prof. Dr. Fábio Andrade Teixeira

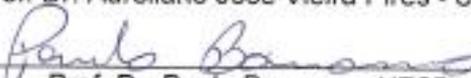
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM ZOOTECNIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PRODUÇÃO DE RUMINANTES, pela Banca Examinadora:



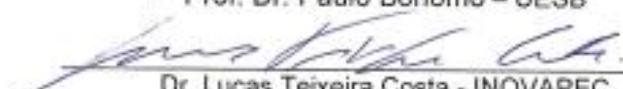
Profª. Drª. Daniela Deitos Fries – UESB
Orientadora



Prof. Dr. Aureliano José Vieira Pires - UESB



Prof. Dr. Paulo Bonomo – UESB



Dr. Lucas Teixeira Costa - INOVAPEC



Drª. Ana Paula Gomes da Silva – PNP/UESB

Data de realização: 06 de março de 2018.

*“Nesses tempos de céus de cinzas e chumbos, nós precisamos de árvores
desesperadamente verdes.”*

Mário Quintana

Aos meus pais que me sempre me incentivaram;

Aos meus irmãos pela admiração;

À minha filha Vitória;

À minha companheira Ana Rosa;

Aos meus mestres;

...

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, por ter me possibilitado desenvolver este trabalho.

Ao Instituto Federal Baiano pela licença concedida para esta capacitação.

À Professora e orientadora Daniela Deitos Fries.

Ao Professor Paulo Bonomo pelas conversas e apoio recebido;

Ao Professor Aureliano Pires pela paciência e orientações;

Ao professor Fábio Teixeira pelas aulas e orientações;

Ao doutor Daniel Dias;

A doutora Renata Jardim;

Ao mestre João Colatino;

À colega Florence Veriato pela parceria;

Ao colega e amigo José Dantas;

Aos colegas do Laboratório de Fisiologia Ecológica de Pastagens Junior Amaral, Angel Seixas, Rebeca Rosas, Daniel, Renata Jardim, Joice Almeida, Abdias Figueiredo, Jucilene, Leliane Paiva, Adriane Pereira, Cristóvão Pereira, Bianca Avelar, Samille Meira, Amanda Ribeiro, Clara, Ediléia;

Aos colegas e funcionários da UESB: Dai, Zé, Mário, Raquel, Roberta, Rogério, Franklin, Sansão, Silvio, Sóstenes, Leile, Daniela, Sinara, Jéssica;

Ao engenheiro florestal Edson Oliveira Felipe;

Aos colegas e amigos do IFBAIANO: Marcelo, Genilda, Lizziane, Leandro, Edvaldo, Janemeire, Marcelito, Julio, Rogério, Chirinda, Isis, Ellen, Paulo, Raul, Victor, Jóbson, Rômulo, Rodney;

Aos familiares e amigos deste período: Yasmim, Nádia, Nailton, Everaldo, Gildete, Nadir, Daniel, Jeison, Clinger, Carlos, Marcelo, Carlinne, Andréa, Diorgines, Jhon, Wesley, Márcio, Peter, Evanete, Henrique, Marcio, PS, Josafá, Zequinha, Adão, Ipi;

BIOGRAFIA

RODRIGO DIEGO QUOOS, filho de Cirio Miguel Quoos e Silvia Beatriz Solf Quoos, nasceu em Santa Cruz do Sul/RS, no dia 9 de Abril de 1982.

Em março de 2007, concluiu o curso de Engenharia Florestal, na Universidade Federal de Santa Maria/RS.

Em fevereiro de 2009, iniciou a carreira como Professor no Instituto Federal de Rondônia, campus Ji-Paraná.

Em março de 2010 concluiu o mestrado em Desenvolvimento Rural em Porto Alegre na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Em Abril de 2011 foi redistribuído para o Instituto Federal do Paraná, campus Telêmaco Borba.

Em Maio de 2013 foi redistribuído para o Instituto Federal Baiano, campus Teixeira de Freitas.

Em março de 2014, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, em nível de Doutorado, área de concentração Produção de Ruminantes, na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, sob a orientação da Professora Daniela Deitos Fries, realizando estudos na área de fisiologia vegetal.

Em 06 de Março de 2018 submeteu-se à banca da presente tese.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	x
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xv
I – REFERENCIAL TEÓRICO	01
1.1. Introdução	01
1.2. Sistemas silvipastoris.....	03
1.3. <i>Khaya senegalensis</i>	07
1.4. <i>Brachiaria brizantha</i> cv. marandú.....	09
1.5. <i>Stylosanthes</i> spp. cv. Campo Grande.....	11
1.6. Estresse hídrico.....	12
1.7. Sombreamento.....	15
1.8. Fósforo.....	16
1.9. Nitrogênio.....	17
Referências Bibliográficas.....	19
II – OBJETIVOS GERAIS	22
III – CAPÍTULO I – RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE <i>Khaya senegalensis</i> (DESR.) A. JUSS. À ADUBAÇÃO FOSFATADA E DOIS REGIMES HÍDRICO.....	23
Resumo	23
Abstract	24
Introdução	25
Material e Métodos	27
Resultados e Discussão	31
Conclusões	43
Referências Bibliográficas	44
IV – CAPÍTULO II - MOGNO AFRICANO SUBMETIDO A QUATRO REGIMES HÍDRICOS COM OU SEM ADUBAÇÃO FOSFATADA.....	47
Resumo	47

Abstract	48
Introdução	49
Material e Métodos	51
Resultados e Discussão.....	55
Conclusões	67
Referências Bibliográficas	68
V – CAPÍTULO III – EFEITO DO SOMBREAMENTO SOBRE CARACTERÍSTICAS DO CAPIM MARANDÚ ADUBADO OU NÃO COM NITROGÊNIO.....	72
Resumo	72
Abstract	73
Introdução	74
Material e Métodos	75
Resultados e Discussão.....	80
Conclusões	101
Referências Bibliográficas	102
VI – CAPÍTULO IV – EFEITO DO SOMBREAMENTO SOBRE CARACTERÍSTICAS DO ESTILOSANTES CAMPO GRANDE ADUBADO OU NÃO COM FÓSFORO.....	105
Resumo	105
Abstract	106
Introdução	107
Material e Métodos	109
Resultados	113
Conclusões	124
Referências Bibliográficas	125
V – CONSIDERAÇÕES FINAIS	127

LISTA DE FIGURAS

III – CAPÍTULO I

	Página
Figura 1. Temperatura máxima, média e mínima e umidade relativa do ar média durante o experimento.....	29
Figura 2. Condutância estomática em mogno africano, cultivada sem adubação ou com 100, 200 ou 300 kg de $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ e submetida aos regimes hídricos de 25 e 100% da capacidade de campo (CC) por um período de 25 dias (estresse), seguido de reidratação por 15 dias (26° ao 40° dia). A barra corresponde ao erro padrão da média.....	32
Figura 3. Potencial hídrico foliar de antemanhã em mogno africano, cultivado sem adubação ou com 100, 200 ou 300 kg de $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ e submetido aos regimes hídricos de 25 e 100% da capacidade de campo (CC) por um período de 25 dias (estresse), seguido de reidratação por 15 dias (26° ao 40° dia). A barra corresponde ao erro padrão da média...	34
Figura 4. Concentração de Prolina (mg/g) em mogno africano, adubados com 0, 100, 200 e 300 kg $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$, submetida ao regime hídrico de 25% da capacidade de campo (CC) por um período de 25 dias (estresse), seguido de reidratação por 15 dias (25° ao 40° dia). A barra corresponde ao erro padrão da média.....	35
Figura 5. Concentração de Prolina em <i>Khaya senegalensis</i> , adubados com 0, 100, 200 e 300 kg $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$, submetida ao regime hídrico de 100% da capacidade de campo (CC) por um período de 25 dias (estresse), seguido de reidratação por 15 dias (25° ao 40° dia). A barra corresponde ao erro padrão da média.....	36

IV – CAPÍTULO II

Figura 1. Temperatura máxima, média e mínima e umidade relativa do ar média durante o experimento.....	53
Figura 2. Condutância estomática em plantas jovens de Mogno sem adubação fosfatada submetidas a 25, 50, 75 e 100% da capacidade de campo. A barra corresponde ao erro padrão da média.....	56
Figura 3. Condutância estomática em plantas jovens de <i>Khaya senegalensis</i> com adubação fosfatada submetidas a 25, 50, 75 e 100% da capacidade de campo. A barra corresponde ao erro padrão da média..	57
Figura 4. Potencial hídrico foliar nas plantas jovens de <i>Khaya senegalensis</i> sem adubação fosfatada submetidas a 25, 50, 75 e 100% da capacidade de campo. A barra corresponde ao erro padrão da média..	58

Figura 5.	Potencial hídrico foliar nas plantas jovens de <i>Khaya senegalensis</i> com adubação fosfatada de 200 kg P ₂ O ₅ .ha ⁻¹ e submetidas a 25, 50, 75 e 100% da capacidade de campo. A barra corresponde ao erro padrão da média.....	59
------------------	---	----

V – CAPÍTULO III

Figura 1.	Temperaturas e umidades máxima, mínima e média durante o período experimental ago./nov. de 2016.....	76
------------------	--	----

VI – CAPÍTULO IV

Figura 1.	Temperatura máxima, média e mínima e umidade relativa do ar média durante o experimento.....	110
------------------	--	-----

LISTA DE TABELAS

III – CAPÍTULO I

	Página
Tabela 1. Análise química do solo.....	27
Tabela 2. Condutância estomática ($\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) (CE), potencial hídrico foliar de antemanhã (Mpa) (POT), prolina (mg de prolina/g MS) (PRO), açúcares solúveis totais (mg.g/MF) (AST) e açúcares redutores (mg.g/MF) AR em mogno africano cultivado sem adubação (0) ou com 100, 200 ou 300 kg de $\text{P}_2\text{O}_5.\text{ha}^{-1}$ e submetido aos regimes hídricos de 25 e 100% da capacidade de campo (CC) após o período de estresse (25 dias) e após 15 dias de reidratação.....	37
Tabela 3. Concentração de açúcares solúveis totais em mogno africano, cultivado sem adubação ou com 100, 200 ou 300 kg $\text{P}_2\text{O}_5.\text{ha}^{-1}$ e submetido aos regimes hídricos de 25 e 100% da capacidade de campo (CC) após o período de 15 dias de reidratação.....	37
Tabela 4. Concentração de clorofila <i>a</i> , clorofila <i>b</i> , carotenóides, clorofilas totais e razão clorofila <i>a/b</i> (mg/g de matéria fresca) em <i>Khaya senegalensis</i> , cultivada sem adubação (0) ou com 100, 200 ou 300 kg $\text{P}_2\text{O}_5.\text{ha}^{-1}$ e submetida aos regimes hídricos de 25 e 100% da capacidade de campo (CC) após o período de estresse (25 dias).....	38
Tabela 5. Concentração de clorofila <i>b</i> , e razão clorofila <i>a/b</i> (mg/g de matéria fresca) em <i>Khaya senegalensis</i> , cultivada sem adubação (0) ou com 100, 200 ou 300 kg $\text{P}_2\text{O}_5.\text{ha}^{-1}$ e submetida aos regimes hídricos de 25 e 100% da capacidade de campo (CC) após o período de reidratação (15 dias).....	39
Tabela 6. Altura (cm) (ALT), diâmetro (mm) (DIAM), número de folhas vivas (NFV), número de folhas mortas (NFM), massa fresca das folhas (g) (MFF) e massa seca das folhas (g) (MSF) de plantas jovens de mogno aos 25 dias de estresse hídrico.....	40

V – CAPÍTULO II

Tabela 1. Análise química do solo.....	51
Tabela 2. Efeito do regime hídrico e do fósforo sobre a condutância estomática, potencial hídrico foliar, açúcares solúveis totais, açúcares redutores e prolina em folhas de mogno africano aos 25 dias de estresse.....	60
Tabela 3. Efeito do regime hídrico e do fósforo sobre os teores de clorofila <i>a</i> , clorofila <i>b</i> , Clorofilas totais, carotenóides e razão clorofilas <i>a/b</i> em folhas de mogno africano aos 25 e 40 dias.....	61
Tabela 4. Efeito do regime hídrico e do fósforo sobre os teores de clorofila <i>a</i> , clorofila <i>b</i> , clorofila totais, carotenóides e razão clorofilas <i>a/b</i> em	

	folhas de mogno africano aos 25 dias de estresse.....	62
Tabela 5.	Efeito do regime hídrico e do fósforo sobre a altura, diâmetro, número de folhas vivas, número de folhas mortas, massa fresca de folhas e massa seca de folhas de plantas jovens de mogno africano aos 25 dias de estresse hídrico.....	63
Tabela 6.	Efeito do regime hídrico e do fósforo sobre a massa fresca e seca das folhas de mogno africano aos 25 dias de estresse.....	64

V – CAPÍTULO III

Tabela 1.	Análise química do solo.....	75
Tabela 2.	Condutância estomática (CE) ($\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), área foliar específica (cm^2/g), razão de peso foliar (RPF)(cm^2/g), razão de área foliar (RAF) (cm^2/g) e índice de área foliar (IAF) em capim marandú, em função do sombreamento (0, 30, 50 e 80%) e da adubação nitrogenada no período de 28, 56 e 84 dias.....	80
Tabela 3.	Índice de área foliar, área foliar específica, razão de peso foliar, razão de área foliar, taxa de crescimento absoluto do caule e da folha em capim marandú, em função do sombreamento (0, 30, 50 e 80%) e da adubação nitrogenada aos 28 dias.....	82
Tabela 4.	Índice de área foliar, taxa de crescimento da folha e do caule em capim marandú, em função do sombreamento (0, 30, 50 e 80%) e da adubação nitrogenada aos 56 dias.....	83
Tabela 5.	Taxa de crescimento absoluto da folha e do caule em capim marandú, em função do sombreamento (0, 30, 50 e 80%) e da adubação nitrogenada aos 84 dias.....	84
Tabela 6.	Teores de clorofila <i>a</i> (CLOA), clorofila <i>b</i> (CLOB), clorofilas totais (CLOT) e razão clorofila <i>a/b</i> (RA/B) em (mg/g de MF) no capim marandú, em função do sombreamento (0, 30, 50 e 80%) e da adubação nitrogenada no período de 28, 56 e 84 dias.....	85
Tabela 7.	Razão clorofila <i>a/b</i> em <i>Brachiaria brizantha</i> cv. marandú, em função do sombreamento (0, 30, 50 e 80%) e da adubação nitrogenada no período de 56 e 84 dias.....	86
Tabela 8.	Massa seca total, massa seca das folhas, massa seca do caule no capim marandú, em função do sombreamento (0, 30, 50 e 80%) e da adubação nitrogenada no período de 28 dias.....	88
Tabela 9.	Massa seca total, massa seca das folhas e massa seca do caule de capim marandú, em função do sombreamento (0, 30, 50 e 80%) e da adubação nitrogenada no período de 56 dias.....	89
Tabela 10.	Massa seca da folha e do caule, massa seca das folhas, massa seca do caule e massa seca de raiz, volume de raiz e material morto de capim marandú, em função do sombreamento (0, 30, 50 e 80%) e da adubação nitrogenada no período de 84 dias.....	91
Tabela 11.	Taxa de aparecimento foliar, taxa de alongamento foliar (TAIF) (cm/dia/perfilho); Filocrono, taxa de alongamento do caule, número de folhas vivas, comprimento final da folha, largura final da folha,	

	número de perfilhos secundários e altura final de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. marandú, em função do sombreamento (0, 30, 50 e 80%) e da adubação nitrogenada no período de 28 dias	92
Tabela 12.	Taxa de aparecimento foliar, filocrono, taxa de alongamento do caule, número de folhas vivas, comprimento final da folha e altura final da planta de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. marandú, em função do sombreamento (0, 30, 50 e 80%) e da adubação nitrogenada no período de 28 dias.....	94
Tabela 13.	Taxa de aparecimento foliar (TApF) (cm/dia/perfilho), filocrono (FILO) (dias/folha/perfilho), taxa de alongamento foliar (TAlF)(cm/dia/perfilho); taxa de alongamento do caule (TAlC)(cm/dia/perfilho); número de folhas vivas (NFV); comprimento final da folha (CFF)(cm); largura final da folha (LFF)(cm); número de perfilhos secundários (NPS) e altura (cm) de capim marandú, em função do sombreamento (0, 30, 50 e 80%) e da adubação nitrogenada no período de 56 dias.....	95
Tabela 14.	Taxa de alongamento do caule de capim marandú, em função do sombreamento (0, 30, 50 e 80%) e da adubação nitrogenada no período de 56 dias.....	96
Tabela 15.	Taxa de alongamento foliar (TAlF)(cm/dia/perfilho); duração de vida das folhas (DVF)(dias); comprimento final da folha (CFF)(cm); largura final da folha (LFF)(cm); número de perfilhos secundários (NPS), número de perfilhos vivos (NPV), número de perfilhos mortos (NPM) e altura (cm) de capim marandú, em função do sombreamento (0, 30, 50 e 80%) e da adubação nitrogenada no período de 84 dias.....	97
Tabela 16.	Taxa de alongamento do caule e número de perfilhos vivos de capim marandú, em função do sombreamento (0, 30, 50 e 80%) e da adubação nitrogenada no período de 84 dias.....	98

VI – CAPÍTULO IV

Tabela 1.	Análise química do solo.....	109
Tabela 2.	Índice de área foliar (IAF), Razão de peso foliar (RPF) (cm ² /g), Razão de área foliar (RAF) (cm ² /g), Taxa de crescimento absoluto da folha e do caule (TCF) (TCC), Área foliar específica (AFE) (cm ² /g) e condutância estomática (CE)(mmol.m ⁻² .s ⁻¹) de estilosantes Campo Grande, cultivado com 0, 30, 50 e 80% de sombreamento e submetido à adubação ou não de 150 kg de P ₂ O ₅ .ha ⁻¹ após o período de 28, 56 e 84 dias.....	110
Tabela 3.	Área foliar específica e condutância estomática de estilosantes Campo Grande, cultivado com 0, 30, 50 e 80% de sombreamento e submetido à adubação ou não de 150 kg de P ₂ O ₅ .ha ⁻¹ após o período de 28 e 56 dias.....	115
Tabela 4.	Teores de clorofila <i>a</i> , <i>b</i> , totais e razão <i>a/b</i> de estilosantes Campo Grande, cultivado com 0, 30, 50 e 80% de sombreamento e submetido à adubação ou não de 150 kg de P ₂ O ₅ .ha ⁻¹ após o período de 28, 56 e	

	84 dias.....	116
Tabela 5.	Massa seca total (MST), massa seca das folhas (MSF), Massa seca do caule (MSC), massa seca de inflorescências (MSI), massa seca de raiz (MSR) e massa seca de nódulos (MSN) em (g), volume de Raiz (VOL)(mL) e quantidade de nódulos (un.) de estiolantes Campo Grande, cultivado com 0, 30, 50 e 80% de sombreamento e submetido à adubação ou não de 150 kg de P_2O_5 .ha ⁻¹ após o período de 28, 56 e 84 dias.....	117
Tabela 6.	Morfogênese de estiolantes Campo Grande, cultivado com 0, 30, 50 e 80% de sombreamento e submetido a adubação ou não de 150 kg de P_2O_5 .ha ⁻¹ após o período de 28, 56 e 84 dias.....	119
Tabela 7.	Número de ramos secundários em estiolantes Campo Grande, cultivado com 0, 30, 50 e 80% de sombreamento e submetido à adubação ou não de 150 kg de P_2O_5 .ha ⁻¹ após o período de 56 dias...	121

RESUMO

QUOOS, Rodrigo Diego. **Atributos fisiológicos de plantas com potencial para sistemas silvipastoris**. Itapetinga, BA: UESB, 2018. 127p. Tese. (Doutorado em Zootecnia, Área de Concentração em Produção de Ruminantes)*.

A implantação de sistemas silvipastoris tem como aspecto fundamental a escolha das espécies. Por isso, conhecer a resistência de espécies forrageiras aos estresses ambientais como: sombreamento, deficiência hídrica e radiação solar podem representar o sucesso na implantação e manutenção desses sistemas. Objetivou-se avaliar as características produtivas, morfológicas e fisiológicas do mogno africano, capim marandú e estilosantes campo grande em casa de vegetação no período de março de 2015 a dezembro 2016. Foram feitos quatro experimento em esquema fatorial (4x2), buscando as respostas relacionadas à deficiência hídrica e adubação fosfatada em mogno, adubação nitrogenada e sombreamento artificial em capim marandú, e adubação fosfatada e sombreamento artificial em estilosantes Campo grande. Dentre as variáveis observadas, o potencial hídrico foliar de antemanhã (Ψ_{am}) foi medido através de uma "Bomba de Scholander" e a condutância estomática com porômetro foliar. A extração e quantificação das clorofilas e carotenóides foi pelo método do dimetilsulfóxido e acetona, os teores de açúcares solúveis pelo método da antrona e açúcares redutores com ácido dinitrosalicílico e prolina pelo método de Bates. O mogno africano (*Khaya senegalensis*) mostrou-se uma espécie com tolerância ao estresse hídrico de até 25 dias. A adubação fosfatada não levou a maior tolerância e crescimento de mogno africano. Houve significância entre a adubação nitrogenada e os níveis de sombreamento no capim marandú para o índice de área foliar; razão de peso foliar; razão de área foliar; taxa de crescimento absoluto da folha e do caule; razão clorofila *a/b*; massa seca total; massa seca das folhas; massa seca do caule; massa seca de folhas e caule; massa seca de raiz; volume de raiz; taxa de aparecimento foliar; filocrono; taxa de alongamento do caule; número de perfilhos vivos; comprimento final da folha e altura. Houve respostas positivas nos níveis de 30% de sombreamento. O sombreamento de 50 e 80% incrementou as taxas de alongamento foliar, e de alongamento do caule, as respostas dessas características morfológicas agiram diretamente sobre os atributos estruturais como: comprimento final da folha, número de perfilhos secundários e altura final. No estilosantes a adubação fosfatada teve efeito sobre a largura final da folha e no número de inflorescências, comprimento final da folha, comprimento final do estolão, taxa de alongamento do estolão, número de ramos secundários e na altura final das plantas, sendo uma boa indicação para o seu estabelecimento em sombreamento. O sombreamento teve efeito sobre a produção de ECG e níveis de produção maiores com até 30% do sombreamento, apontam que essa leguminosa tolera o sombreamento tornando se indicada para implantação em sistemas silvipastoris.

Palavras-chave: Capim marandú, estilosantes Campo Grande, fisiologia vegetal, fósforo, mogno africano, nitrogênio

* Orientadora: Daniela Deitos Fries, D.Sc. UESB e Co-orientadores: Aureliano José Vieira Pires, D.Sc. UESB e Fábio Andrade Teixeira, D.Sc. UESB.

ABSTRACT

QUOOS, Rodrigo Diego. **Physiological attributes of plants with potential for silvopastoral systems**. Itapetinga, BA: UESB, 2018. 127p. Thesis. (Doctorate degree in Animal Science, Area of concentration in Production of Ruminants).

The implementation of silvopastoral systems has as fundamental aspect the choice of species. Therefore, knowing the resistance of forage species to environmental stresses such as shading, water deficiency and solar radiation can represent the success in the implantation and maintenance of these systems. The objective of this study was to evaluate the productive, morphogenic and physiological characteristics of African mahogany, Marandú grass and large field styles in a greenhouse from March 2015 to December 2016. Four experiments were carried out in a factorial scheme (4x2) water deficiency and phosphorus fertilization in mahogany, nitrogen fertilization and artificial shading in Marandú grass, and phosphate fertilization and artificial shading in styles. Among the observed variables, leaf water potential in the morning (Ψ_{am}) was measured through a "Scholander pump" and stomatal conductance with leaf pore. The extraction and quantification of chlorophylls and carotenoids was by the method of dimethylsulfoxide and acetone, the contents of sugars soluble by the anthrone method and reducing sugars with dinitrosalicylic acid and proline by the method of Bates. African mahogany (*Khaya senegalensis*) was a species with water stress tolerance of up to 25 days. Phosphate fertilization did not lead to greater tolerance and growth of African mahogany. There was a significant difference between nitrogen fertilization and shade levels in Marandú grass for leaf area index; leaf weight ratio; leaf area ratio; absolute leaf and stem growth rate; chlorophyll a / b ratio; total dry mass; dry leaf mass; dry stem mass; dry mass of leaves and stem; root dry mass; root volume; leaf appearance rate; phyllochron; stem elongation rate; number of live tillers; final leaf length and height. There were positive responses at 30% levels of shading. The shading of 50 and 80% increased the rates of leaf elongation and stem elongation. The responses of these morphogenic traits were directly related to the structural attributes such as: leaf final length, number of secondary tillers and final height. In the styling the phosphate fertilization had an effect on the final width of the leaf and on the number of inflorescences, final leaf length, stolon final length, stolon elongation rate, number of secondary branches and final plant height, being a good indication for your establishment in shading. The shading had an effect on ECG production and higher levels of production with up to 30% of the shading, indicate that this legume tolerates shading making it suitable for implantation in silvopastoral systems.

Keywords: Marandú grass, Campo Grande *stylosanthes*, plant physiology, phosphorus, african mahogany, nitrogen

* Adviser: Daniela Deitos Fries, D.Sc. UESB e Co-advisers: Aureliano José Vieira Pires, D.Sc. UESB e Fábio Andrade Teixeira, D.Sc. UESB.

I - REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 Introdução

A utilização e a importância das árvores na estabilidade econômica e produtiva das pastagens tem motivado a criação de alternativas compartilhadas entre silvicultura e zootecnia em diferentes sistemas de produção no país. O Brasil possui mais de 200 milhões de hectares ocupados por pastagens cultivadas, principalmente, com gramíneas do gênero *Brachiaria*. No entanto, o manejo dessas pastagens aparece como ferramenta essencial para o aumento da produtividade e sustentabilidade das áreas ocupadas com pecuária a pasto no Brasil, pois, em alguns casos, temos o excesso de lotação, o mau dimensionamento, a baixa diversidade de espécies e a falta de manejo adequado nas pastagens.

A arborização de pastagens com forrageiras de alta produtividade representa uma necessidade para que os sistemas silvipastoris sejam mais eficientes de forma econômica, ambiental e social. Na sombra das árvores, as espécies forrageiras tendem a se adaptar as condições de baixa incidência de luz solar e a associação de pastagens com árvores pode interferir positivamente na disponibilidade e no valor nutritivo das forragens, além de produtos florestais e serviços ambientais. A copa das árvores pode promover o sombreamento permitindo que pelo menos parte da radiação solar atravesse sua vegetação, por isso, para a escolha das espécies forrageiras, não basta apenas que sejam tolerantes ao sombreamento, e sim adaptadas ao manejo e condições edafoclimáticas da região onde serão implantados. Isso é particularmente importante quando se trata de ecossistemas tropicais, com suas características de solos pobres em fósforo e com estações secas prolongadas e indefinidas (BUNGENSTAB & ALMEIDA, 2014).

As gramíneas tropicais são plantas perenes de elevada eficiência na utilização de nutrientes. A biomassa acumulada na serapilheira de pastagens tropicais pode ser enriquecida com a adição de espécies de alta qualidade e produção. O aumento da matéria orgânica do solo proporciona maior mineralização e disponibilidade de

nitrogênio ao longo do tempo. Os sistemas silvipastoris, cujo componente arbóreo é formado apenas por espécies de eucaliptos, têm apresentado problemas, com a competição entre a gramínea, pelo nitrogênio contribuindo para a redução da quantidade de N disponível para o crescimento das forrageiras em sistemas silvipastoris (MACEDO et al., 2010).

Pastagens formadas exclusivamente de gramíneas tropicais não fertilizadas com fontes de nitrogênio externas podem acarretar na redução da disponibilidade de N com o passar dos anos. Esse processo é um dos principais responsáveis pela degradação das pastagens de braquiária do Brasil e em outras áreas tropicais da América do Sul. Nos sistemas silvipastoris, o pastejo também pode favorecer o componente arbóreo na competição pelos nutrientes do solo principalmente o N presente nos tecidos vegetais das forrageiras que retornam ao solo por meio das excreções como: fezes e urina, além da forragem não consumida.

Portanto, uma grande incógnita está na ciclagem dos nutrientes dentro do sistema silvipastoril. Para isso, tem-se apostado na inserção de espécies de forrageiras leguminosas. A descoberta da fixação de Nitrogênio biológico do ar pela família das leguminosas tem revolucionado o mundo da nutrição vegetal. A fixação do nitrogênio biológico por bactérias diazotróficas teve um avanço muito significativo nas pesquisas para os mais diversos aspectos da interação planta e bactérias diazotróficas. Como os fertilizantes nitrogenados oneram os custos de produção, e a demanda de alimentos cresce ano a ano, tem-se enfatizado a necessidade de maior exploração do potencial da fixação biológica de nitrogênio atmosférico (FBN) em gramíneas tropicais, como uma saída sustentável para este impasse (FILHO, et al., 2014).

As leguminosas contribuem para a melhoria das condições do solo, além de proporcionarem maior diversidade para o sistema. Diante dos fatos, percebe-se forte tendência para mudanças significativas na forma de uso da Terra, de sistemas produtivos alternativos que considere os aspectos da produtividade biológica e socioeconômica, na tentativa de sistemas de produção sustentáveis.

A experimentação de modelos de sistemas silvipastoris pode ser feita pensando o consórcio entre espécies forrageiras tropicais e espécie florestal. O mogno africano é uma árvore com madeira internacionalmente comercializada, que tem um bom preço de mercado, e pode agregar renda ao produtor. A braquiária é uma forrageira

historicamente importante para o país, e o estilosantes, uma leguminosa com potencial de adubação nitrogenada para o sistema.

Por isso a investigação sobre o desenvolvimento do Mogno africano (*Khaya senegalensis*) com relação a sua adaptação e respostas fisiológicas quanto à adubação fosfatada e ao estresse hídrico. As respostas produtivas, morfogenéticas e fisiológicas quanto a diferentes níveis de sombreamento testados no estilosantes e na *Brachiaria*, podem contribuir para o desenvolvimento de sistemas silvipastoris.

1.2 Sistemas silvipastoris

Os Sistemas Silvipastoris aplicados na América Latina têm ganhado destaque internacional pela sua capacidade de minimizar os impactos socioambientais decorrentes da pecuária tradicional. Devido às mudanças climáticas, existe uma busca por sistemas menos impactantes e capazes de minimizar os efeitos resilientes da pecuária no globo. Os Sistemas Silvipastoris são sistemas complexos de interações ecológicas, que, se manejados corretamente, conseguem unir a produção de proteína animal, a produção de madeira, a produção de alimentos e a prestação de serviços ambientais. Diversos estudos e pesquisas têm sido conduzidos na América do Sul e sua difusão tem despertado o interesse tanto de pesquisadores quanto de agentes de desenvolvimento rural MAY & TROVATTO (2008).

A construção e difusão de unidades demonstrativas que possibilitem as trocas de experiências e os arranjos espaciais mais propícios, econômica e ambientalmente, têm ganhado espaço, à medida que os resultados positivos começaram a aparecer. No Brasil, esses sistemas têm sido difundidos com diversas nomenclaturas, como Pastagens Arborizadas (PORFÍRIO DA SILVA et al., 2010), Integração Lavoura, Pecuária e Floresta ou (ILPF) por (BUNGENSTAB, 2012), e ainda Sistemas Agroflorestais Pecuários, ou a definição dada pela ONU, como sendo a combinação intencional de árvores, pastagem e gado numa mesma área, e ao mesmo tempo manejados de forma integrada aos sistemas silvipastoris.

Trabalhos como o de Porfírio da Silva et al. (2010) apontam que a arborização de pastagens confere maior sustentabilidade a pecuária brasileira, gerando melhorias no bem estar animal, na conservação dos solos, no valor nutritivo da pastagem e na possibilidade de diversificação de produtos. A criação de animais ao ar livre em um

sistema silvipastoril é capaz de contribuir para aumentar o sequestro de carbono, diminuir a emissão de óxido nitroso, e para mitigação da emissão de metano pelos ruminantes (PORFÍRIO DA SILVA et al. , 2010).

Os sistemas silvipastoris podem promover aumento na taxa de lotação das pastagens, em comparação com o sistema convencional, controlar a erosão, diminuir a frequência de reformas de pastagens, aumentar a oferta de forragem, sobretudo em épocas de estiagem e oferecer madeira para serraria e laminação, energia, estacas e mourões. Esses sistemas também são conhecidos como sistemas agroflorestais pecuários, em que a sombra do componente arbóreo promove amenização ambiental ao reduzir a temperatura do ar e do solo, resultando em maior conforto para os animais na pastagem, e a deposição de biomassa das árvores contribui para melhorar a fertilidade do solo, elevando a disponibilidade de nutrientes, principalmente nitrogênio, para as forrageiras herbáceas, e melhorando a qualidade da forragem, algumas vezes aumentando a sua produção.

A definição de espécies adequadas para serem utilizadas nos Sistemas silvipastoris é fundamental para o sucesso do sistema como um todo. Os objetivos do produtor (produção de madeira, produção de borracha, produção de frutíferas, entre outros) devem ser levados em consideração, para melhor adequação da rentabilidade do consórcio. Uma das dificuldades para a introdução de árvores em pastagens são os danos causados por pisoteio ou a alimentação das mudas pelo gado, quando não há barreiras físicas de proteção para limitar o acesso logo após os primeiros meses de implantação do sistema. O que normalmente ajuda na sobrevivência das mudas é o seu porte inicial e a sua rusticidade ou capacidade de rebrote. Segundo estudos, o modo mais seguro de proteger as árvores plantadas do rebanho é esperar elas atingirem 2 metros de altura, podendo ser menor para animais de pequeno porte, como os ovinos. Para árvores de crescimento rápido, como o eucalipto, é possível a introdução dos animais já no primeiro ano.

Os sistemas silvipastoris são sistemas perenes que intercalam agricultura, produção animal e silvicultura em uma mesma área. Esses sistemas são apontados como estratégias sustentáveis para as regiões agrícolas no mundo inteiro. Na região do semiárido brasileiro, onde o regime pluviométrico não ultrapassa os 800 mm anuais, algumas alternativas para a convivência e exploração agropecuária passam pelo uso racional dos recursos hídricos.

A região do sudoeste da Bahia, especialmente a região do Território do Médio Sudoeste baiano tem como principal atividade econômica o setor da pecuária, com destaque para os setores da bovinocultura de leite e de corte. Na região, encontram-se diversos laticínios e frigoríficos que transformam os principais produtos da pecuária. Nas últimas décadas, tem se vivido um intenso desenvolvimento tecnológico em praticamente todos os setores produtivos. O gargalo da pecuária de corte e leite no Brasil tem sido a sustentabilidade na cadeia produtiva. A eficiência ambiental sobre o uso da terra cobra da pecuária a recuperação das pastagens e a otimização da atividade.

A expansão da atividade pecuária nacional acarretou adequação da vegetação original, dominada por formações florestais, para hoje ser quase que exclusivamente de gramíneas forrageiras introduzidas no país. A pecuária bovina foi quem prevaleceu, assim, ao eliminarem as árvores, gigantescas áreas se transformaram em pastagens destinadas a pecuária de corte. Com a expansão das áreas de pastagens, algumas perdas foram irreparáveis, como as associadas à biodiversidade, à erosão, degradação dos pastos, assoreamento de rios e períodos de grande estiagem, como a ocorrida entre 2015-2016.

Os impactos negativos dessa conversão de florestas em pastagens podem ser minimizados com a adoção de sistemas mais sustentáveis. Para isso, propõem-se a adoção dos sistemas silvipastoris, uma vez que a unidade de produção agrícola é explorada principalmente por pequenos agricultores de base familiar, que têm limitação de disponibilidade de capital e de acesso ao crédito, além de utilizarem principalmente força de trabalho humana e animal, ainda usam implementos agrícolas de baixa eficiência, não dispõem de orientação sistemática para avaliação de risco na atividade e possuem baixo nível de escolaridade.

Outros consórcios com espécies forrageiras e árvores em sistemas silvipastoris têm sido estudado. Virgens (2012) avaliou o crescimento e a produção do capim *Brachiaria brizantha* cv. Marandú em função do sombreamento pelas espécies arbóreas, *Samanea saman* e *Samanea inopinata* em dois períodos (chuvoso e seco), e concluiu que o braquiário apresenta-se como uma boa alternativa para a implantação em sistemas silvipastoris, tendo como componente arbóreo a *Samanea saman* e a *Samanea inopinata*. O capim, sob a influência da copa da *Samanea saman*, obteve o melhor desempenho nas características produtivas e nutritivas avaliadas.

Nunes (2004), ao avaliar a composição químico-bromatológica de capim-Buffel (*Cenchrus ciliaries*) associado à Algaroba, constatou que não houve alteração na composição químico-bromatológica e no fracionamento de carboidratos da gramínea sob influência do sombreamento. Contudo, os valores de incremento em Nitrogênio, Carbono e outros acúmulos energéticos do sistema planta-árvore-animal ainda não são conhecidos. No estudo de Virgens (2012), o gênero arbóreo *Samanea* apresentou-se como uma boa alternativa para a implantação em Sistemas Silvopastoris, tendo como componente de pastagem o capim *Brachiaria brizantha*.

Os sistemas silvipastoris, que integram as atividades pecuárias e florestais, são considerados, atualmente, inovadores no Brasil, embora vários tipos de sistemas produtivos, associando plantas com animais, sejam conhecidos na Europa desde a antiguidade (BALBINO et al., 2011). O desaparecimento desses sistemas nas regiões temperadas seguiu o desaparecimento da pequena agricultura familiar, quando lavouras, gado e árvores passaram a ter gestões separadas para atender à agricultura, à pecuária e à silvicultura modernas. Anteriormente coberta pelo bioma da mata atlântica, o que se vê hoje é uma vegetação muito mais parecida com a da Caatinga, onde a maioria das atividades agropecuárias propostas e incentivadas na região são baseadas na cadeia pecuária.

As pesquisas com sistemas silvipastoris podem promover mudanças no campo, principalmente na área ambiental, social, política e econômica, contribuindo, assim, para reduzir o desmatamento e aberturas de novas áreas para o cultivo. Além disso, os sistemas silvipastoris integram a diversificação e reduzem a monocultura, recuperando áreas degradadas, aumentando a produtividade das culturas envolvidas, melhorando a estrutura do solo, proporcionando, assim, qualidade de vida e a obtenção de produtos de excelência, com lucratividade nas propriedades rurais. A evolução dos modelos atuais da pecuária para sistemas mais intensivos de uso do solo só pode ser realizada de forma mais gradativa, sem grandes modificações no sistema tradicional. Assim, qualquer sistema alternativo para ser bem-sucedido deve envolver, em nível do pecuarista, o plantio de culturas de subsistência e espécies comerciais capazes de induzir a um processo de captação em benefício do produtor rural.

Entretanto, essa expansão faz-se necessária das devidas estratégias, para que consiga proporcionar a diversificação da produção, com a possibilidade de obtenção de renda com a produção pecuária e florestal na mesma unidade de área. Além disso, criar

a possibilidade de manutenção e de geração de empregos no campo, além dos benefícios ambientais pela melhor ocupação do solo, fixação de carbono da atmosfera, maior proteção do solo, regulação do regime hídrico e aumento da diversidade de espécies, ainda que se tratando de um sistema de uso do solo visando à obtenção de produtos animais e florestais. É fundamental pensar em estratégias tecnológicas e científicas que possibilitem inovações na área rural, e que delas facilitem não só a renda familiar do produtor rural como também a sua inserção no mercado econômico local.

Nesse sentido, tais perspectivas impõem uma necessidade científica e, ao mesmo tempo, metodológica no que concerne a questão ambiental, na qual o aumento da produtividade não comprometa a preservação do ambiente, a sustentabilidade dos recursos de produção e a qualidade de vida. Pretende-se, com o estudo dos sistemas silvipastoris para a região sudoeste da Bahia, analisar de que forma a introdução dessa tecnologia pode contribuir para o desenvolvimento do ponto de vista socioeconômico e ambiental, através da análise das melhores espécies, do ganho em produtividade e do bem estar dos animais, apresentando uma alternativa viável para a região do sudoeste baiano.

1.3 *Khaya senegalensis*

A espécie florestal *Khaya senegalensis* ocorre naturalmente na savana florestada da África. É comumente plantada na sua área natural de distribuição, principalmente como árvore ornamental e com fins comerciais, em áreas com 650-1300 mm de precipitação anual e uma estação seca de 4 a 7 meses. Já foram registrados plantios, por exemplo, em Cabo Verde, Tanzânia, Malawi, Madagascar, Egito, África do Sul, Índia, Indonésia, Vietnam, Sri Lanka, Austrália e América tropical NIKIEMA & PASTERNAK, (2008); ARNOLD, (2004).

Sua ocorrência se dá em até 1500 m de altitude, prefere solos aluviais profundos e bem drenados, mas também pode ser encontrado em solos rasos, solos rochosos, onde ele geralmente permanece muito menor. A sua madeira é muito valorizada por carpintaria, móveis, marcenaria, construção de navios e lâminas decorativas. É apropriado para a construção, pisos, acabamentos interiores, carroçarias de veículos, brinquedos, dormentes, torneados e celulose. É, também, usado como lenha e para a

produção de carvão. A casca de sabor amargo é altamente valorizada na medicina tradicional. NIKIEMA & PASTERNAK, (2008); ARNOLD,(2004); (FRANÇA, 2016).

O primeiro registro que se tem da introdução do mogno africano no Brasil é através de uma visita do ministro da agricultura da Costa do Marfim em 1977. “Uma comitiva estava conhecendo a região amazônica e passou pela sede da Embrapa Oriental, em Belém do Pará (PA), deixando algumas sementes”. Existem três principais espécies conhecidas como Mogno Africano: *Khaya ivorensis*, *K. Anthoteca* e *K. senegalensis*.

A espécie *Khaya senegalensis* foi escolhida para a região de Itapetinga, pela sua importância para sistemas silvipastoris e também da sua capacidade de rebrota, reprodução por estaquia (VASCONCELLOS et al., 2016) e micro propagação vegetativa DANTHU (2003). A pluviosidade mínima exigida para o cultivo da espécie é de 700 mm anuais e, além disso, tem-se o registro da baixa ocorrência da incidência de pragas florestais, como a *Hypsipyla grandella*, conhecida como broca das meliáceas ou broca do ponteiro (ARNOLDI, 2004).

Como planta forrageira, apresenta uma baixa qualidade de valor nutritivo NJIDDA (2010), sendo usada, principalmente, no final da estação seca, ou em misturas com outros alimentos. Seus usos são muito mais pelas propriedades medicinais como a prevenção e cura de doenças helmínticas no gado AWOHOUEJJI (2013); NJIDDA (2010). AWOHOUEJJI (2013) relata que, na estação seca, a suplementação de ovelhas com folhas de *Khaya senegalensis* melhorou significativamente o ganho de peso.

Seu tamanho chega até 35 metros de altura e seu diâmetro até 250 cm. Suas folhas são dispostas em espiral pariempenadas por dois até seis pares de folíolos. As mudas desenvolvem melhor em solos mais profundos. Sob condições naturais, o crescimento inicial é lento, pois é atacado pelo gado e outros herbívoros, resultando em crescimento lento e forma pobre do caule.

Dentro da lista de espécies ameaçadas de extinção na flora africana, é considerada espécie vulnerável para conservação, devido à perda e degradação do habitat e à derrubada seletiva da sua madeira. Seu uso histórico para madeira, forragem e medicina é uma séria ameaça para muitas de suas populações. Portanto, métodos sustentáveis para seu cultivo devem ser estabelecidos e implementados o mais rapidamente possível (NIKIEMA & PASTERNAK, 2008).

Matos (2016) encontrou nessa espécie de mogno africano eficientes propriedades morfofisiológicas para reduzir a perda de água através transpiração. Em plantas com 132 dias após a germinação, houve um aumento no crescimento do sistema radicular em resposta a falta de água no solo. Plantas jovens de *Swietenia macrophylla* (Cordeiro et al., 2009) e *Carapa guianensis* (Gonçalves et al., 2009) toleram, satisfatoriamente, períodos de 15 a 30 dias de deficiência hídrica. Esses resultados permitem inferir que plantas jovens de mogno-africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.) toleram bem períodos curtos de deficit hídrico, já que essa também é uma espécie lenhosa da família Meliaceae. Contudo, esse tipo de estudo ainda não foi feito para *K. senegalensis*, havendo uma boa tolerância ao deficit hídrico, plantios comerciais em áreas sujeitas a períodos moderados de estiagem poderiam ter sua viabilidade aumentada.

As condições climáticas do sudoeste baiano favorecem uma maior frequência e distribuição de chuvas no período de novembro a março. Em geral, essa é a época de plantio e reforma de pastagens, além de cultivos agrícolas. As respostas de plantas ao longo período de deficiência hídrica no solo pode auxiliar na escolha de espécies mais promissoras para os sistemas silvipastoris.

1.4 *Brachiaria brizantha* cv. marandú

De acordo com Paciuolo et al., (2007), as forrageiras do gênero *Brachiaria* (Syn. *Urochloa*) são as mais usadas para utilização em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), por sua resistência a concorrência com espécies agrícolas e sua boa adaptação ao sub-bosque de árvores.

O capim Marandu é um ecótipo de *Brachiaria brizantha* que vem sendo estudado pelo Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte (CNPGC) em Campo Grande, MS, e pelo Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC) em Planaltina, DF, desde 1977 e 1979, respectivamente. Hoje, dos 115 milhões de hectares de pastagens cultivadas no Brasil, aproximadamente 51,4 milhões de hectares encontram-se estabelecidas com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (EMBRAPA, 2017).

O capim-marandú (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) é uma gramínea forrageira perene, de hábito de crescimento cespitoso, formando touceiras de até 1,0 m de diâmetro e afilhos com altura de até 1,5 m. Apresenta rizomas horizontais curtos,

duros, curvos, cobertos por escamas glabras de cor amarela a púrpura. Suas raízes são profundas, o que favorece sua sobrevivência durante períodos de seca prolongados. Originário da África tropical, encontra-se amplamente distribuído na maioria dos cerrados tropicais e em áreas anteriormente ocupadas com vegetação de florestas na região amazônica e cerrado brasileiro.

O cultivar Marandu tem boa tolerância ao sombreamento, ao fogo e a seca. Não tolera solos encharcados e é suscetível a geadas. Esse cultivar tem boa resposta à adubação e as consorciações, podendo ser feitas com *Arachis pintoii*, estilosantes, calopogônio, soja perene, java e puerária.

Alguns autores pesquisaram as respostas do capim marandú com eucalipto e milho, como é o caso de Santos et al., (2017) que apontou que o cultivo do capim-marandú na entrelinha do milho, associado ao sombreamento intenso proporcionado pelo espaçamento mais adensado de eucalipto (12x2m) e a proximidade das plantas de capim-marandú às copas das árvores de eucalipto, altera negativamente a condutância estomática, o cargo interno e a taxa transpiratória das plantas de capim-marandú.

Gobbi et al. (2011) pesquisaram a área foliar específica e as características anatômicas foliares da braquiária (*Brachiaria decumbens* cv. Basilisk) e do amendoim-forrageiro (*Arachis pintoii* cv. Amarillo), em resposta a níveis de sombreamento artificial (0, 50 e 70%), com o objetivo de se determinar a aclimação dessas forrageiras às modificações no ambiente luminoso. Foram realizados três e dois cortes, respectivamente, para avaliação das plantas de braquiária e amendoim-forrageiro. Dentre os resultados, a área foliar específica das duas espécies aumentou linearmente em função do incremento nos níveis de sombra, indicando uma boa aclimação às variações na intensidade luminosa.

Paciolo et al. (2011) testaram, com níveis de (0, 36 e 54 % de sombra) e 4 doses de nitrogênio, as características morfogenéticas e de perfilhamento, quatro gramíneas do gênero *Brachiaria*, entre elas a cv. Marandú. O nitrogênio promoveu aumento na taxa de aparecimento de folhas e no comprimento médio das lâminas foliares, enquanto o sombreamento aumentou a taxa de alongamento do colmo e a eficiência de resposta da taxa de alongamento de folhas às doses de nitrogênio, e reduziu o perfilhamento.

Santos et al. (2009), ao avaliar duas cultivares de Braquiária (*B. brizantha* cv. Marandu e *B. decumbens* cv. Basilisk) e cinco diferentes adubações (sem adubo, P, N,

NP e NK) em esquema fatorial (2x5) no delineamento inteiramente ao acaso, com quatro repetições, consideraram bastante expressiva a resposta da cultivar marandú quanto às variáveis estudadas em relação ao suprimento de nitrogênio, porém não encontraram resposta para fósforo e potássio.

1.5 *Stylosanthes* spp. cv. Campo Grande

O Gênero Estilosantes (*Stylosanthes*) compreende espécies de forrageiras ricas em proteína e que desempenham um papel importante de fixação biológica de nitrogênio da atmosfera. *Stylosanthes* é o gênero com maior número de cultivares dentre as leguminosas tropicais usadas como pastagens. No Brasil, oito cultivares foram liberados comercialmente no mercado. As espécies *Stylosanthes guianensis*, *Stylosanthes capitata* e *Stylosanthes macrocephala* são as principais espécies com potencial de uso no Brasil. Dentre as cultivares dessa leguminosa, destacam-se os cultivares Campo Grande e Mineirão. O Estilosantes Campo Grande é uma cultivar lançado pela Embrapa Gado de Corte em 2000 (EMBRAPA, 20007).

Essa cultivar é uma mistura física de sementes, com 80% (em peso) de linhagens de *S. capitata* tolerantes à antracnose e 20% de linhagens de *S. macrocephala*. Segundo Silva (2004), esse cultivar tem apresentado bom desempenho em solos com textura arenosa e média, como os Latossolos textura média e Areias Quartzosas. A cultivar campo grande apresenta alto valor nutritivo, com teor de proteína bruta de 19,92 % da MS e alta digestibilidade, sendo uma boa opção para a alimentação dos rebanhos bovinos (MAGALHÃES & CORRÊA, 2012). A boa palatabilidade dessa leguminosa para bovinos, aliada ao seu valor nutritivo, confere bom desempenho animal (EMBRAPA, 2007).

Como a maioria das leguminosas, o Estilosantes Campo Grande apresenta o processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN), através da associação simbiótica de suas raízes com bactérias do gênero *Rhizobium*. No consórcio com gramíneas, com proporção de 20% a 40% da leguminosa, o Estilosantes Campo Grande fixa, em média, 60 a 80 kg de nitrogênio/ha/ano (Embrapa, 2007), porém, no trabalho de Miranda et al. (1991), a fixação biológica situou-se em torno de 180 kg de nitrogênio por hectare por ano, enquanto que para as cultivares Mineirão (*Stylosanthes guianensis*) e Pioneiro (*S.*

macrocephala), os valores foram de 95 e 88 kg de nitrogênio por hectare por ano, respectivamente.

Para Verzignassi e Fernandes (2002) o estilosantes campo grande apresenta um bom potencial produtivo, podendo atingir 12 a 13 toneladas de matéria seca por hectare por ano e boa persistência sob pastejo, permanecendo por mais de cinco anos em consorciação com *Brachiaria decumbens*. A planta de estilosantes apresenta sistema radicular profundo, podendo atingir até 1,5 m.

SILVA et al. (2013) observaram uma produtividade média de 3,36 toneladas de matéria natural/hectare. Foi verificado que os fenos se mantiveram estáveis durante o período de armazenamento. O estilosantes campo grande apresenta potencial para ser utilizado na forma de silagem, com altas concentrações de proteína bruta, em média 167,30g/kg de MS (SILVA et al. 2014). As pesquisas já realizadas mostram que essa cultivar possui digestibilidade compatível com outras leguminosas tropicais existentes atualmente (MAGALHÃES, 2012).

As leguminosas, consorciadas às pastagens tropicais, contribuem para a manutenção do aporte adequado de proteína da dieta animal, seja pela ingestão direta ou pelo efeito indireto do acréscimo de nitrogênio à gramínea (Almeida et al., 2003). Sendo assim, elas contribuem para a melhora da dieta e para a redução da quantidade de adubos químicos necessários para a manutenção da produtividade da pastagem, adicionando nitrogênio e matéria orgânica ao sistema.

1.6. Estresse hídrico

Em condições de baixa disponibilidade hídrica para a planta, alguns processos metabólicos podem ser influenciados como o fechamento estomático, a diminuição da condutância e redução da fotossíntese, levando a uma queda na taxa de crescimento. Plantas cultivadas em ambientes semiáridos tendem a desenvolver adaptações para tolerar a seca, sobretudo as associadas a um melhor funcionamento da transpiração. A análise de crescimento demonstra claramente a influência dos níveis de água.

O desenvolvimento do estresse hídrico na planta ocorre quando a taxa de transpiração excede a taxa de absorção e transporte de água na planta. Esse estresse pode ocorrer durante o crescimento das plantas, podendo causar uma redução temporária no crescimento da biomassa e, em condições severas, a morte da planta. Os

principais mecanismos fisiológicos de tolerância à seca são a eficiência de extração da água do solo e as taxas de uso da água pelas plantas, por meio da combinação do aprofundamento do sistema radicular e aumento no controle estomático, com redução no conteúdo relativo de água e no potencial hídrico foliar, devido ao fechamento estomático e redução na entrada de CO₂.

Outra resposta encontrada nas plantas em estresse hídrico é a acumulação de prolina nas células. A prolina é um aminoácido resultante do aumento no fluxo de glutamato, que é metabolizado pela Pirrolina-5-Carboxilato Sintetase (P5CS), enzima que regula a taxa de biossíntese de prolina, bem como de um decréscimo no catabolismo da prolina. Em plantas, o aminoácido L-prolina é sintetizado via glutamato, e a enzima Pirrolina-5-Carboxilato Redutase (P5CR), responsável pela transformação da Pirrolina-5-Carboxilato (P5C) em prolina, tem sua expressão regulada por mudanças no potencial osmótico do citoplasma. (CARNEIRO, 2006; RHEIM, 2011; SILVA, 2010).

As áreas foliares grandes propiciam superfícies significativas para a produção de fotoassimilados, mas também podem propiciar uma ampla superfície de evaporação da água, levando a planta a acumular seus fotoassimilados nas raízes e não nos grãos, levando um aumento de sua superfície radicular em busca de água.

A redução na assimilação de carbono diminui a síntese de trioses fosfatadas, o que resulta na redução ou na paralisação do crescimento (Albuquerque et al, 2013). Plantas desidratadas apresentam uma redução na condutância estomática para evitar a perda excessiva de água pela transpiração. A identificação e a compreensão dos mecanismos de tolerância à seca são fundamentais no desenvolvimento de novas cultivares comerciais mais tolerantes ao déficit hídrico. Algumas espécies florestais que apresentam queda na condutância estomática tem a ascensão da seiva via xilema, favorecidas pela síntese ou acúmulo de compostos osmoticamente ativos, como a prolina e os carboidratos solúveis totais (Albuquerque et al, 2013; Silva et al., 2004).

O estresse origina mudanças e respostas a todos os níveis do organismo. Essas respostas são inicialmente reversíveis, mas podem tornar-se permanentes. Se a intensidade e/ou duração do estresse supera a capacidade de resposta da planta, um estado de exaustão pode ocorrer, podendo ocasionar até a morte da planta (Larcher, 2000). A perda da turgidez é o primeiro efeito visível da falta de água, isso acarreta, também, o número e tamanho das folhas, limitando o crescimento foliar durante o estresse (TAIZ & ZEIGER, 1991).

O processo de abertura e fechamento dos estômatos está relacionado, principalmente, à intensidade de luz e ao estado de hidratação da folha. Dessa forma, o funcionamento dos estômatos e a área foliar influenciam a produtividade do vegetal. O primeiro fator, porque controla a absorção de CO₂ e o segundo, porque determina a interceptação de luz (COSTA 2007). Por definição, a condutância estomática é a medida de passagem de CO₂ ou vapor de através da folha. Os estômatos são pequenos poros que se apresentam nas faces abaxial e adaxial das folhas; sua função é absorver e expulsar água e CO₂.

O potencial de água da folha indica o seu estado energético, isso porque, se a planta perde água a uma taxa superior à sua capacidade de absorção e transporte, o potencial hídrico da folha diminui, levando ao fechamento dos estômatos e redução da fotossíntese. O nível mínimo que o potencial hídrico pode atingir durante os horários de transpiração intensa depende tanto de fatores genéticos como de fatores ambientais. Para tanto, dá-se preferência pela medição dos valores de potencial hídrico de antemanhã.

O potencial hídrico foliar (Ψ_f) é o fator preponderante no controle do movimento estomático. Quando o Ψ_f diminui até certo limite crítico, os estômatos se fecham, sendo esse efeito predominante sobre os demais fatores do meio, mesmo em condições ótimas de luz, CO₂ e temperatura. Em geral, o potencial hídrico da planta varia amplamente com a espécie, a época do ano e o horário do dia, sendo menor na época seca, e em torno do meio dia, quando a transpiração é mais intensa. Na ausência de reabastecimento do solo, com água que compense as perdas por evapotranspiração, o potencial hídrico dos tecidos da planta diminui com o tempo, podendo provocar a morte do vegetal por desidratação.

De acordo com Larcher (2000), a queda de potencial hídrico que ocorre ao meio-dia não é simultânea ao longo da copa, sendo que as folhas mais novas, do estrato superior, frequentemente respondem depois. As folhas do estrato inferior da copa, parcialmente sombreadas, mantêm os estômatos abertos por mais tempo do que as folhas periféricas, expostas a radiações mais intensas.

Sob a influência do estresse hídrico, a síntese de proteínas é inibida e a degradação de proteínas é acelerada, o que leva a um acúmulo de aminoácidos e aminas livres. Uma característica marcante de um distúrbio no metabolismo das proteínas é a

mudança nas proporções dos aminoácidos e, frequentemente, um aumento elevado na concentração de prolina (LARCHER, 2000).

1.7 Sombreamento

Os comprimentos de ondas eletromagnéticas (380 a 710 nm) capazes de serem aproveitados pelas plantas para fins de conversão dessa energia física em energia química são denominados de radiação fotossinteticamente ativa (RFA). No entanto, a eficiência no uso da radiação solar é variável entre as espécies, pois essas apresentam características fisiológicas e morfológicas distintas, que vão, desde mecanismos de fixação do carbono atmosférico, até a morfologia/anatomia foliar. Assim, o aproveitamento da RFA pelas plantas é altamente influenciado por suas condições de crescimento e desenvolvimento (Fontana et al. 2012)

Da energia incidente sobre a superfície terrestre, por unidade de área e tempo, apenas uma fração é utilizada fotossinteticamente. O rendimento fotossintético de 1m² de área foliar situa-se na ordem de 1g de carboidrato/hora NULTSCH (2000). A produtividade da pastagem nos SSP é influenciada pela quantidade de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) que penetra no sub-bosque (SOARES et al., 2009), que, por sua vez, é determinada pelo espaçamento utilizado. Assim, durante o planejamento do sistema, deve-se optar por arranjos espaciais que proporcionem níveis adequados de RFA para a produção forrageira (Coelho et al. 2014). Em sistemas mais adensados, a quantidade de luz interceptada pela copa das árvores restringe o potencial de interceptação pelas forrageiras que respondem a essa limitação por meio de mudanças nas características estruturais, para se tornarem mais eficientes em ambientes com luminosidade limitada.

Além disso, as árvores reduzem a luz disponível para o capim, afetando as propriedades morfogênicas que determinam sua produtividade (Paciullo et al., 2008). Em geral, o aumento da frequência entre cortes resulta em incrementos significativos da produção de forragem, contudo, paralelamente, ocorre decréscimo em seu valor nutritivo. Já, a altura de corte é importante no rebrote pela eliminação, ou não, de meristemas apicais, área foliar remanescente e pela diminuição, ou não, das reservas orgânicas acumuladas (Corsi, 1972).

A exploração bem sucedida dos sistemas silvipastoris requer o uso de espécies forrageiras tolerantes às condições de baixa luminosidade, apresentando adaptações que garantam sua sobrevivência e produção satisfatória nesses ambientes. As plantas sombreadas investem, relativamente, maior proporção de fotoassimilados no aumento da área foliar, para maximizar a captação da luz disponível (GOBBI et al. 2011)

1.8 Fósforo

O fósforo é um dos nutrientes mais limitantes da produção vegetal em solos tropicais. Ele faz parte da constituição de compostos orgânicos vitais ao desenvolvimento das plantas, compondo os ácidos nucleicos, fosfolipídeos, estruturas energéticas entre outros. É essencial, em processos como divisão celular, respiração e síntese de substâncias orgânicas. Sua ausência pode acarretar um menor crescimento da planta, já que é fundamental na produção de energia metabólica (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Os compostos orgânicos com fósforo assumem, sob forma de fosfatos ricos em energia, uma posição central na economia energética da planta. Além disso, o fosfato é integrante dos nucleotídeos ou ácidos nucleicos. Por conseguinte, o fósforo também pertence ao grupo de elementos essenciais para a planta (NULSTCH, 2000).

O fósforo é exigido em menor quantidade que o nitrogênio, e o potássio, pelas plantas, porém trata-se do nutriente mais usado em adubação no Brasil. Isso se explica pela baixa disponibilidade desse elemento nos solos brasileiros, e pela forte interação entre partículas do solo e o íon fosfato, que reduz a disponibilidade de fósforo para ser absorvido pelas plantas.

Sob níveis de baixa concentração de fósforo na solução do solo, os solos muito ácidos ou alcalinos vão depender do tipo e quantidade de argila predominante no solo, do seu teor de umidade, da sua compactação e das temperaturas, limitando, assim, a ação fotossintética das plantas.

Embora os trabalhos envolvendo respostas ao fornecimento de P pelas espécies florestais para fins de produção de mudas para sistemas silvipastoris sejam escassos, têm sido observadas respostas à adubação fosfatada em solos deficientes do nutriente. Souza et al. (2010), avaliando o crescimento e o requerimento nutricional de mudas de

mogno-brasileiro (*Swietenia macrophylla*), concluíram que a ausência de P limita o crescimento de mogno e afeta na absorção dos outros nutrientes.

A demanda de P pelas espécies está associada a diversos fatores, como a concentração acumulada de fósforo nas sementes, o grau de desenvolvimento do sistema radicular, a dependência micorrízica, a taxa de crescimento e estágio de desenvolvimento da planta. Quando submetidos à mesma condição de fertilidade do solo, é comum encontrar comportamentos contrastantes entre espécies e entre genótipos, quanto à nutrição e crescimento. Comumente, quando uma planta se encontra numa situação de baixa disponibilidade de P, ela tende a utilizá-lo de forma mais eficiente.

À medida que a planta tolera mais o estresse, torna-se aclimatada, porém não adaptada, pois adaptação se refere a um nível de resistência geneticamente determinado, adquirido por processos de seleção durante muitas gerações (TAIZ e ZEIGER, 2004). Dessa forma, a adaptação e aclimação ao estresse hídrico e a baixa ou alta disponibilidade de Fósforo resultam de eventos integrados que ocorrem em todos os níveis de organização, desde o anatômico e morfológico até o celular, bioquímico e molecular.

1.9 Nitrogênio

O nitrogênio é um macronutriente essencial para as plantas, absorvido e exportado em grandes quantidades nas colheitas. A absorção do N ocorre, principalmente, na forma de nitrato (NO_3^-) ou de amônio (NH_4^+). O nitrogênio participa diretamente da fotossíntese, e pode aumentar o teor de proteínas nas plantas. As gramíneas respondem com maior magnitude à adubação nitrogenada e muitos autores não indicam a prática para espécies leguminosas. Alguns fatores podem influenciar nas respostas à adubação nitrogenada, como: o suprimento de outros nutrientes, a profundidade do solo, o tempo de cultivo, o preparo do solo, a rotação de culturas, a intensidade de chuvas e os níveis de radiação solar. (SOUZA & LOBATO, 2004).

A fertilidade do solo exerce grande influência na produção de gramíneas e, conseqüentemente, na exploração animal. O manejo da fertilidade do solo, a prática da adubação e o conhecimento das exigências nutricionais das plantas forrageiras são fatores importantes para a melhoria de pastagens durante o ano, principalmente nos

períodos críticos em que há indisponibilidade de chuvas, menor produção de forragem e indisponibilidade de alimento para os animais (SANTOS et al. 2009).

Paciolo et al. (2011) avaliaram os efeitos do sombreamento (0, 36 e 54%) e de doses de nitrogênio (0, 50, 100 e 150 mg/dm³ de solo) nas características morfogênicas e no perfilhamento de gramíneas do gênero *Brachiaria* (*B. decumbens*, *B. ruziziensis* e *B. brizantha* cvs. Marandu e Xaraés), cultivadas em vasos com capacidade para 5 kg de substrato. O nitrogênio promoveu aumento na taxa de aparecimento de folhas e no comprimento médio das lâminas foliares, enquanto o sombreamento aumentou a taxa de alongamento do colmo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, M.P.F.; MORAES, F.K.C.; SANTOS, R.I.N.; CASTRO, G.L.S.; RAMOS, M.L.S.E.; PINHEIRO, H.A. Ecofisiologia de plantas jovens de mogno africano submetidas à deficit hídrico e reidratação. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.48, n.1, p.9-16, 2013.

ARNOLD, R. *Khaya senegalensis*: uso atual de seu alcance natural e seu potencial no Sri Lanka e em outras partes da Ásia. In: Workshop (Perspectivas para plantações de madeira de alto valor no planalto seco do norte da Austrália). Austrália. 9 p. 2004.

AWOHOUEDJIA, D.Y.G.; BABATOUNDEC, S.; ADOUNKPEB, J.G.; HOUINATO, M.; HOUNZANGBE-ADOTE, S. Supplementing *Panicum maximum* with two medicinal forages in the diet of Djallonke sheep at the Benin national sheep center. **Science Journal Animal Science**. v.2, p.285–295, 2013

BUNGENSTAB, D.J. **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável**, Embrapa gado de corte, 2º ed. 2012. 239p.

BUNGENSTAB, D.J; ALMEIDA, R.G. **Integrated crop-livestock-forestry systems: a brazilian experience for sustainable farming**, EMBRAPA, 304p. 2014.

CARNEIRO, C.E.A. Produção de prolina e suscetibilidade ao glufosinato de amônio em plantas transgênicas de citrumelo Swingle. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.41, n.5, p.747-753, 2006.

COELHO, J.S.; ARAÚJO, S.A.C.; VIANA, M.C.M.; VILLELA, S.D.J.; FREIRE, F.M.; BRAZ, T.G.S. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária em sistema silvipastoril com diferentes arranjos espaciais. **Semina: Ciências agrárias**, v.35, n.3, p.1487-1500, 2014.

COSTA, G.F.; MARENCO, R.A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazonica**, v.37, n.2, p.229-234, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E AGROPECUÁRIA -EMBRAPA. **Cultivo e uso do estilosantes-campo-grande**. [2007]. Disponível em: <<http://www.cnpqg.embrapa.br/publicacoes/cot/pdf/Cot105.pdf>> Acesso em: 4/7/2017.

FILHO, O.F.L; AMBROSANO, E.J; ROSSI, F; CARLOS, J.A.D. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília: EMBRAPA, 507p. 2014.

FRANÇA, T.S.F.A.; ARANTES, M.D.C., PAES, J.B.; VIDAURRE, G.B.; OLIVEIRA, J.T.S.; BARAÚNA, E. E. P. Características anatômicas e propriedades físico-mecânicas das madeiras de duas espécies de mogno africano. **CERNE**, v.21, p.633-640, 2015.

FONTANA, D.C.; ALVES, G.M.; ROBERTI, D.; MORAES, O.L.L.E.; GERHARDT, A. Estimativa da radiação fotossinteticamente ativa absorvida pela cultura da soja através de dados do sensor Modis. **Bragantia**, v.71, p.563-571, 2012.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2000. 531p

MACEDO, R.LG; VALE, A.B; VENTURIN, N. **Eucalipto em sistemas agroflorestais**. Lavras: UFLA, 331p. 2010.

MATOS, F.S.; SILVEIRA, P.S.; MATTOS BARRETTO, V.C.; FREITAS, I.A.S.; ARAUJO, M.S.; CALIXTO JUNIOR, J.E.D.; RIOS, J.M. Growth of *Khaya senegalensis* plant under water deficit. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, n.18, p.1623-1628, 2016.

MAY, P.H.; TROVATTO, C.M.M. **Manual agroflorestal para a Mata Atlântica**. Brasília: MDA/SAF, 2008.

NIKIEMA, A.; PASTERNAK, D. *Khaya senegalensis* (Desr.) A.Juss. In: LOUPPE, D.; OTENG-AMOAKO, A.A.; BRINK, M. (Editors). **PROTA (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale)**, Wageningen, Netherlands. 2008. Acesso em 22 Março de 2017.

NJIDDA, A.A.; IKHIMIOYA, I. Nutritional evaluation of some semi-arid browse forages leaves as feed for goats. **European Journal of Applied Sciences**, n.2 p.108-115.2010.

NUNES, P.M.M.; **Composição química bromatológica e cinética da fermentação do capim-buffel (*Cenchrus ciliaris*), associado à algaroba (*Prosopis juliflora*)**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Tese, Universidade Federal de Viçosa. 2004

PINHEIRO, A.L.; COUTO, L.; PINHEIRO, D.P.; COUTO BRUNETTA, J.M.C.F. **Ecologia, Silvicultura e Tecnologia de Utilização dos Mognos Africanos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Agrossilvicultura, 2011. 102 p.

PORFIRIO DA SILVA, V.; MEDRADO, M.J.S; NICODEMO, M.L.F.; DERETI, R. M. **Arborização de pastagens com espécies florestais madeireiras: implantação e manejo**. Colombo/PR: EMBRAPA FLORESTAS, 2010. 48p.

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

SANTOS, L.C.; BONOMO, P.; SILVA, V.B.; PATÊS, N.M.S.; SILVA, C.C.F.; PIRES, A.J.V. Características morfogênicas de Braquiárias em resposta a diferentes adubações. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v.31, n.1, p. 221-226, 2009.

SOUZA, D.J.S.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília/DF: EMBRAPA, 416p. 2004.

SOUZA, C.A.S.; TUCCI, C.A.F.; SILVA, J.F.; RIBEIRO, W.O. Exigências nutricionais e crescimento de plantas de mogno (*Swietenia macrophylla* King.). **Acta Amazonica**, v.40, n.3, p. 515-522, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004.

VASCONCELOS, R.T.; VALERI, S.V.; MARTINS, A.B.G.; BIAGIOTTI, G.; PEREZ, B.A.P. Rooting of African mahogany (*Khaya senegalensis* A. Juss.) leafy stem cuttings under different concentrations of indole-3-butyric acid. **African journal of agricultural research**, v.11 n.23, p.2050-2057, 2016.

VIRGENS, R.S. **Morfofisiologia e valor nutritivo do capim marandú em sistema silvipastoril**, Dissertação de Mestrado. Programa de Pós graduação em Zootecnia. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. 2012.

RHEIN, A.F.L.; SANTOS, D.M.M.; CARLIN, S.D. Atividade da enzima redutase do nitrato e teores de prolina livre em raízes de cana-de-açúcar sob os estresses hídrico e ácido no solo. **Ciências Agrárias**, v.32, n.4, p.1345-1360, 2011.

SILVA, V. A. Resposta fisiológica de clone de café Conilon sensível à deficiência hídrica enxertado em porta-enxerto tolerante. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 45, n.5, p.457-464, 2010.

SOARES, A.B.; SARTOR, L.R.; PAULO, F.A.; VARELLA, A.C.; MEZZALIRA, J.C. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perene de verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.3, p.443-451, 2009.

II – OBJETIVOS

2.2. OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito do sombreamento, deficit hídrico e adubação fosfatada e nitrogenada, sob as características fisiológicas de plantas com potencial para sistemas silvipastoris.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar as respostas fisiológicas do Mogno Africano (*Khaya senegalensis*) sob deficit hídrico e a adubação fosfatada no crescimento e produção;
- Analisar as respostas fisiológicas de *Brachiaria brizantha* cv. Marandú sob condições de sombreamento e adubação nitrogenada no crescimento e produção;
- Analisar as respostas fisiológicas de *estilosantes Campo grande* em condições de sombreamento e adubação fosfatada no crescimento e produção

IV – CAPÍTULO I

EFEITO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA EM MOGNO AFRICANO SUBMETIDO AO ESTRESSE HÍDRICO

RESUMO- Objetivou-se avaliar as respostas fisiológicas de plantas jovens de mogno africano adubadas com doses crescentes de fósforo, e submetidas a dois regimes hídricos e reidratação. O experimento foi conduzido em esquema fatorial 4 x 2, com quatro doses de fósforo (0,100, 200 e 300 kg de P_2O_5 .ha⁻¹) e dois regimes hídricos (25 e 100% da capacidade de campo), no delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições. Mudanças com aproximadamente 180 dias e 45 cm de altura foram transferidas para vasos de polietileno. Após 30 dias do transplante, receberam as doses de (0; 14,7; 31,2 e 47,9 g de P_2O_5 /vaso) respectivamente, de superfosfato simples, sendo mantidas no regime hídrico de 25 e 100CC. O potencial hídrico foliar de antemã (Ψ_{am}) foi medido através de uma "Bomba de Scholander" e a condutância estomática com porômetro foliar. A extração e quantificação das clorofilas e carotenóides foi pelo método do dimetilsulfóxido; os teores de açúcares solúveis, pelo método da antrona e açúcares redutores com ácido dinitrosalicílico. A prolina foi pelo método de Bates. O período de estresse hídrico chegou até 25 dias e a reidratação, a 15 dias. Os resultados mostraram que o mogno teve queda no (Ψ_{am}) para 25CC e restabelecimento do (Ψ_{am}) após a reidratação. A condutância estomática caiu nos 25CC, e restabeleceu seus valores após reidratação. O aumento na concentração de prolina e açúcares solúveis indicam que a espécie se adapta a situação de déficit hídrico, conseguindo restabelecer seu potencial hídrico foliar e condutância estomática após a reidratação.

Palavras-chave: Clorofilas, condutância estomática, *Khaya senegalensis*, potencial hídrico foliar, prolina,

CHAPTER I

EFFECTS OF PHOSPHATE FERTILIZATION IN AFRICAN MAGNOLIA SUBMITTED TO HYDRICAL STRESS

ABSTRACT- The objective was to evaluate the physiological responses of young mahogany plants fertilized with increasing doses of phosphorus and submitted to two water regimes and rehydration. The experiment was conducted in a 4 x 2 factorial scheme with four phosphorus doses (0, 100, 200 and 300 kg of $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$) and two water regimes (25 and 100% of field capacity), in a completely randomized design, with five replicates. Seedlings with approximately 180 days and 45 cm height were transferred to polyethylene vases. After 30 days of transplanting, the doses of (0, 14.7, 31.2 and 47.9 g of P_2O_5/pot) respectively of single superphosphate were maintained in the water regime of 25 and 100CC. Leaf water potential in the morning (Ψ_{am}) was measured through a "Scholander pump" and the stomatal conductance with leaf porometer. The extraction and quantification of chlorophylls and carotenoids was by the dimethylsulfoxide method, the contents of antrone soluble sugars and reducing sugars with dinitrosalicylic acid. Proline was by the Bates method. The water stress period reached up to 25 days and rehydration at 15 days. The results showed that the mahogany had a decrease in (Ψ_{am}) to 25CC and a reestablishment of (Ψ_{am}) after rehydration. Stomatal conductance fell in the 25CC and reestablished its values after rehydration. The increase in the concentration of proline and soluble sugars indicates that the species adapts to the situation of water deficit to restore its leaf water potential and stomatal conductance after rehydration.

Key words: Chlorophylls, stomatal conductance, *Khaya senegalensis*, leaf water potential, proline

Introdução

O mogno africano (*Khaya senegalensis*) é uma espécie florestal, que foi introduzida recentemente na América do Sul e em outras partes do mundo. Tem-se observado uma boa adaptabilidade da espécie a diferentes condições climáticas, podendo ser uma boa alternativa para satisfazer a demanda de madeira nobre no mercado nacional e internacional. O alto valor comercial da sua madeira tem levado produtores brasileiros a investir no monocultivo, ou por meio de consórcios agrossilvipastoris.

Essa meliácea possui propriedades medicinais na prevenção e cura de doenças helmínticas no gado, sendo usada pura, principalmente no final da estação seca, ou em misturas com outros alimentos. No Brasil, seu plantio tem como finalidade a madeira, que é amplamente valorizada no mercado internacional, sendo utilizado para carpintaria, marcenaria, mobiliário, construção naval e reconhecida pela sua durabilidade (FRANÇA, 2016).

A introdução dessa espécie arbórea em sistemas silvipastoris vem ganhando destaque pela sua capacidade de rebrota e reprodução por estaquia, além da micro propagação vegetativa (VASCONCELLOS et al., 2016; DANTHU et al., 2003). O mogno africano tem boa adaptabilidade a índices pluviométricos mínimos de até 700 mm, apresentando baixa incidência de pragas, como a *Hypsipyla grandella*, conhecida como broca das meliáceas ou broca do ponteiro. Como planta forrageira, Awohouedjia et al., (2013) destacam que, na estação seca, a suplementação de ovelhas com folhas de *Khaya senegalensis* melhorou significativamente o ganho de peso dos animais.

Outras espécies florestais já foram estudadas quanto a suas respostas ao estresse hídrico, como a *Carapa guianensis* (Costa & Marengo, 2007; Gonçalves et al., 2009), *Hymenaea courbaril* (Nascimento et al. 2011), *Schizolobium amazonicum* e *Schizolobium parahyba* (Carvalho, 2005) *Guazuma ulmifolia* (Scalon et al. , 2011) *Azadirachta indica* (Martins et al. , 2010), *Swietenia macrophylla* (Cordeiro et al., 2009), *Khaya ivorensis* (Albuquerque et al., 2013).

A redução do status hídrico em várias espécies lenhosas promove diminuições significativas na taxa de assimilação líquida do CO², na condutância estomática, na transpiração e no potencial hídrico, influenciando de maneira negativa o crescimento e desenvolvimento em plantios florestais. Portanto, pesquisas que visem caracterizar as

respostas fisiológicas de mogno africano quanto sua tolerância ao estresse hídrico e a adubação podem impulsionar o desenvolvimento dessa espécie.

Objetivou-se avaliar respostas fisiológicas de plantas jovens de mogno-africano (*Khaya senegalensis*) (Desr.) A.Juss., adubadas com doses crescentes de fósforo e submetidas a dois regimes hídricos.

Materiais e Métodos

O experimento foi instalado na casa de vegetação, pertencente ao setor de Forragicultura e Pastagem da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, UESB, Campus “Juvino Oliveira”, no município de Itapetinga, BA, no período de julho a dezembro de 2015. O ensaio foi conduzido em um esquema fatorial 4 x 2, com quatro doses de fósforo (0,100, 200 e 300 kg P₂O₅.ha⁻¹) e dois regimes hídricos (25 e 100% da capacidade de campo), no delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições, totalizando 40 vasos plásticos com 10 dm³ de solo.

Plantas jovens de mogno africano, com aproximadamente 180 dias de idade, e altura média de 45 cm, produzidas a partir de sementes em tubetes plásticos, foram selecionadas a partir de viveiro florestal certificado, localizado no município de Teixeira de Freitas, BA. A seleção das mudas foi realizada com base na uniformidade de altura e número médio de folhas.

Foi utilizado um solo classificado como neossolo quartzarênico órtico, de textura franco-arenosa, coletado na camada de 0-20 cm de profundidade, no Campus da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, UESB. Depois de ser destorroado e passado em peneira com malha de 4 mm, foi posto para secar ao ar, coletada a amostra para análise de solo e realizado o enchimento dos vasos.

De acordo com a análise química do solo (Tabela 1), realizada no Laboratório de Solos, Departamento de Engenharia Agrícola e Solos, UESB, e conforme as recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (ALVAREZ & RIBEIRO, 1999), não houve necessidade de calagem, nem adubação potássica, uma vez que se optou por um baixo nível tecnológico e o valor de saturação por base se encontrava em 70%. Para o cálculo das adubações com P, considerou-se o valor inicial de 11 mg/dm³ de solo como parâmetro inicial.

Tabela 1. Análise química do solo

pH (H ₂ O)	mg/dm ³		cmol _c /dm ³ de solo							%			g/dm ³
	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺	Na ⁺	S.B ¹	t ²	T ³	V ⁴	m ⁵	M.O. ⁶
5,5	11	0,87	1,8	2,0	0,0	2,0	-	4,7	4,7	6,7	70	0	10

¹Soma de bases. ²CTC efetiva. ³CTC pH 7. ⁴Saturação por bases. ⁵Saturação por Al³⁺. ⁶Matéria orgânica. Fonte: Laboratório de solos da UESB.

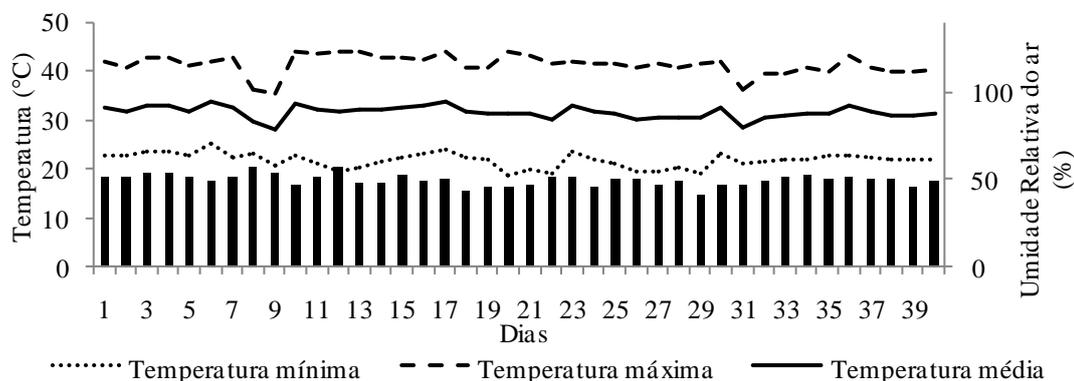
Para determinação da capacidade de campo, todos os vasos com solo seco foram pesados, saturados com água e, após escoamento total da água, pesados novamente. Pela diferença de peso úmido e peso seco foi determinada a máxima capacidade de retenção de água, que correspondeu a 18%. A determinação da reposição de água para cada regime hídrico foi calculada de acordo com o peso correspondente aos 18% de retenção de água, sendo calculado o proporcional a 25 e 100% desse peso.

As mudas ficaram sete dias em aclimatação na casa de vegetação, depois foram transferidas para os vasos. Após 30 dias do transplante das mudas para os vasos, foram feitas as adubações fosfatadas equivalentes a 0, 100, 200 e 300 kg/ha⁻¹ de P₂O₅, que foram correspondentes às quantidades de 0,0; 14,7; 31,2 e 47,9 gramas de P₂O₅/vaso, respectivamente. Foi usado o superfosfato simples em pó, parcelado em duas aplicações iguais, levando-se em consideração o intervalo de 20 dias. O controle da vegetação invasora foi feito manualmente e, para a pesagem dos vasos para a reposição de água até atingirem o regime hídrico correspondente, utilizou-se uma balança digital.

Por volta de 40 dias após a adubação fosfatada, as plantas foram submetidas aos regimes hídricos de 25 e 100% da capacidade de campo. O primeiro período durou 25 dias, esse período foi denominado estresse hídrico (dia 0 até o dia 25). As condições que determinaram esse período foram a redução na condutância estomática e perda de vigor das plantas submetidas ao regime de 25% da CC. Após o estresse, as plantas foram reidratadas por 15 dias, até o restabelecimento da condutância estomática e rebrota de folhas, denominado período de reidratação (dia 26 até o dia 40).

O clima da região, conforme Köppen, é classificado como Aw e a temperatura média anual é 23,6 °C. Durante o período do experimento, as temperaturas máxima e mínima e a umidade relativa do ar máxima e mínima foram registradas por meio de termohigrômetro instalado dentro da casa da vegetação (Figura 1).

Figura 1: Temperatura máxima, média e mínima e umidade relativa do ar média durante o experimento.



O potencial hídrico foliar de antemanhã (Ψ_{am}) foi realizado em folhas saudas e completamente expandidas com o auxílio de uma câmara de pressão tipo Scholander a cada 5 dias. A observação da exsudação da seiva foi feita com auxílio de uma lupa, em resposta à pressão exercida na superfície da folha no interior da câmara. Uma válvula permitiu o controle do fluxo de Nitrogênio comprimido (N_2) para a câmara, enquanto o manômetro acoplado ao sistema permitiu a medição da pressão exercida durante todo o processo em bares (BAR), convertida para Megapascal (MPa).

A condutância estomática foi medida com um porômetro foliar modelo Decagon Devices, SC-1, entre 09:00 e 11:00 horas da manhã, de 3 em 3 dias, durante todo o período experimental.

A extração das clorofilas e carotenóides foi realizada ao final do período de estresse hídrico e após a reidratação. Folíolos de folhas completamente expandidas foram coletados às 10:00 horas da manhã, acondicionados em embalagens de papel alumínio em caixas de isopor com gelo para serem, imediatamente, seccionados, pesados e colocados em frascos de vidro com 5 ml de Dimetilsulfóxido (DMSO) e envolvidos com papel alumínio (Hiscox & Israelstam, 1979). Após 72 horas, no escuro, foram realizadas as leituras no espectrofotômetro, em comprimentos de onda de 665, 649 e 480 nm e os pigmentos quantificados de acordo com Wellburn (1994): [Clorofila *a*] ($\mu\text{g mL}^{-1}$) = $12,19A_{665} - 3,45A_{649}$, [Clorofila *b*] ($\mu\text{g mL}^{-1}$) = $21,99A_{649} - 5,32A_{665}$, [Carotenóides] ($\mu\text{g mL}^{-1}$) = $(1000A_{480} - 2,14 \text{ Clorofila } a - 70,16 \text{ Clorofila } b) / 220$.

Para a quantificação de prolina, açúcares solúveis totais (AST) e açúcares redutores (AR) foram feitas duas coletas de material final do período de estresse hídrico (25 dias) e após a reidratação (40 dias). Foram coletadas 2 folhas completamente

expandidas, das quais foi retirada a nervura central. As folhas foram pesadas e secas em estufa de ventilação forçada à 60°C, por 72 horas, e depois moídas em moinho do tipo "bola" e acondicionadas em embalagens plásticas.

A prolina foi extraída de 200 mg de massa seca com 10 mL de ácido sulfosalicílico a 3%. Após 60 minutos sob agitação em temperatura ambiente, o homogenato foi filtrado. A quantificação procedeu-se segundo o método colorimétrico de Bates et al. (1973).

Os carboidratos solúveis foram extraídos pela homogeneização de 300 mg de massa seca de folhas em 4 mL de tampão fosfato de potássio 200 mM (pH 7,0), acrescido de 20 mM de ácido ascórbico, seguido de centrifugação a 4.000 rpm por 20 minutos e coleta do sobrenadante. O procedimento foi realizado mais duas vezes e os sobrenadantes combinados. Os açúcares solúveis totais (AST) foram quantificados pelo método da Antrona (Dische, 1962), e os açúcares redutores (AR), pelo método do ácido dinitrosalicílico (DNS) (MILLER, 1959).

A altura da planta e diâmetro do caule foi realizada no início do experimento (dia 0), ao final do período de estresse hídrico (25 dias) e após do período de reidratação (40 dias), com auxílio de uma régua graduada de madeira de 1m e de um paquímetro digital.

Os resultados foram submetidos à análise de variância, considerando como fontes de variação as capacidades de campo (25 e 100%), as doses de fósforo (0, 100, 200, 300 kg.P₂O₅.ha⁻¹) e a interação capacidade de campo e dose de fósforo. A interação foi desdobrada, ou não, de acordo com a significância. O efeito da capacidade de campo foi estudado por meio do teste F, e o efeito do fósforo, por meio da decomposição ortogonal da respectiva soma de quadrados em efeito linear, quadrático e cúbico. Adotou-se $\alpha = 0,05$.

Resultados e Discussão:

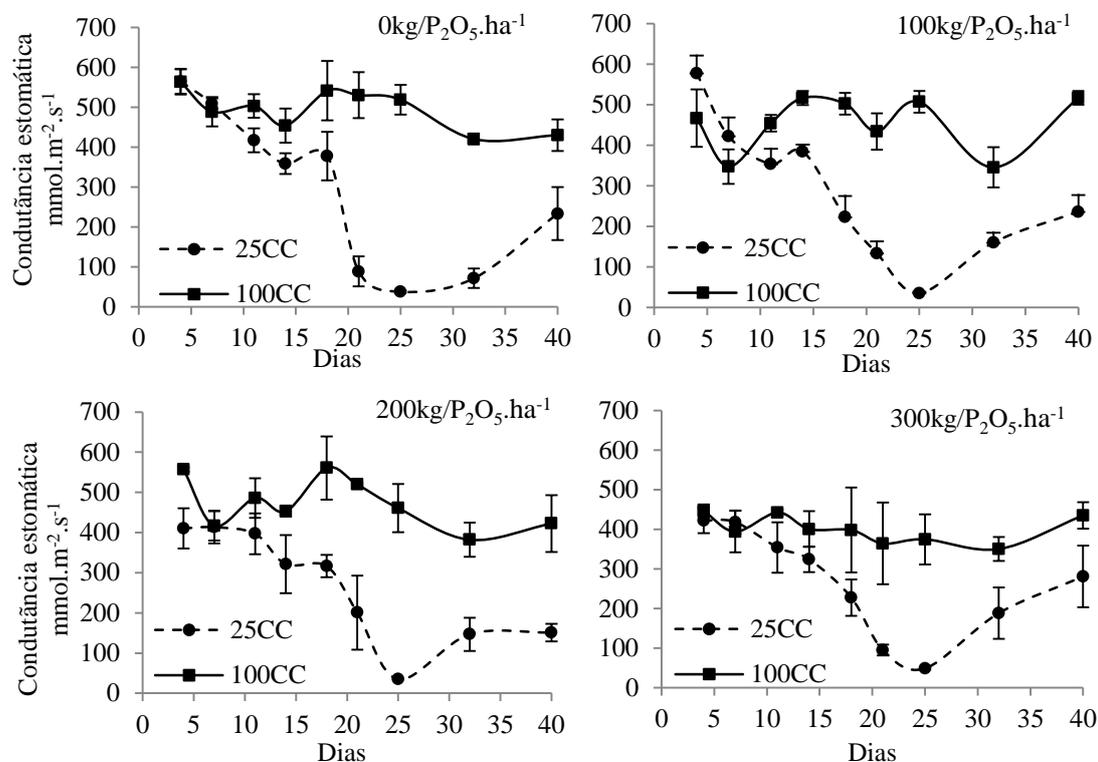
A interação entre doses de fósforo e regime hídrico não foi significativa ($P>0,05$) para a condutância estomática no mogno após 25 dias de estresse hídrico e após os 15 dias de reidratação (40 dias) (Figura 2). Da mesma forma, não houve influência das doses de fósforo sobre a condutância estomática nas plantas, após o estresse e após a reidratação.

As plantas de mogno que não receberam adubação fosfatada (Figura 2) e foram submetidas a 25% da capacidade de campo (CC) apresentaram redução na condutância estomática a partir do 11º dia de indução do estresse, quando comparadas às plantas cultivadas próximo à capacidade de campo (100% CC). A partir de 21 dias, a redução na condutância estomática foi mais expressiva, chegando a atingir valores próximos aos $38 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ao final de 25 dias de estresse. Após 15 dias de reidratação (40 dias experimentais), as plantas com 25% CC mostram uma recuperação na abertura estomática, elevando seus valores a $233 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, entretanto continuam com a condutância abaixo das plantas em 100% CC.

Um padrão semelhante foi observado nas plantas que foram adubadas com fosfato (Figura 2). Entretanto, nessas plantas, a redução mais expressiva na condutância, com valores próximos a $100 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, foi verificada aos 18 dias. Apesar de haver um pequeno aumento na condutância estomática aos 21 dias, os menores valores foram verificados aos 25 dias, chegando próximo de $35 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, quando a adubação foi de 100 ou 200 kg de $\text{P}_2\text{O}_5\cdot\text{ha}^{-1}$, e 49 $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, quando as plantas receberam 300 kg de $\text{P}_2\text{O}_5\cdot\text{ha}^{-1}$. Em todos os tratamentos, após 7 dias de reidratação (32 dias de experimento), houve recuperação na condutância estomática (Figura 2), a qual foi menor nas plantas não adubadas. Já, após 15 dias de reidratação (40 dias), a condutância alcançou valores de 234, 236, 151 e 280 $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, sem adubação ou quando essa foi de 100, 200 ou 300 kg de $\text{P}_2\text{O}_5\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente.

Após os 25 dias de estresse hídrico, verificou-se redução significativa na condutância estomática (Tabela 2), a qual chegou a cerca de 7% quando relacionada às plantas cultivadas próximo à capacidade de campo. Após serem reidratadas por 15 dias, essas plantas ainda diferiram daquelas a 100% CC, porém recuperaram em torno de 50% da condutância estomática.

Figura 2. Condutância estomática em mogno africano, cultivada sem adubação ou com 100, 200 ou 300 kg de $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ e submetida aos regimes hídricos de 25 e 100% da capacidade de campo (CC) por um período de 25 dias (estresse), seguido de reidratação por 15 dias (26° ao 40° dia). A barra corresponde ao erro padrão da média.



A interação entre doses de fósforo e regime hídrico não foi significativa ($P > 0,05$) para a potencial hídrico foliar (Ψ_{am}) em plantas de mogno após 25 dias de estresse hídrico, e após os 15 dias de reidratação (40 dias) (Tabela 3). Houve efeito do regime hídrico, reduzindo o potencial hídrico aos 25 dias de estresse, enquanto que sua recuperação após a reidratação elevou esses valores até próximo àqueles das plantas em condições hídricas de 100CC. A adubação fosfatada não influenciou essa característica.

O potencial hídrico é mantido por fatores osmóticos até 20 dias. O fechamento estomático ocorre, antecipadamente, favorecendo isso. Outras meliáceas, como a Andiroba (Gonçalves et al., 2009) e o mogno brasileiro (Cordeiro et al., 2009), além de outra espécie de mogno africano (*Khaya ivorensis*) (Albuquerque et al., 2013), atingiram valores de -2,0, -3,0 e -2,6 MPa em condições de estresse hídrico semelhantes ao regime de 25CC aplicado neste experimento, onde encontramos a média de -3,87 MPa.

O mogno, que não recebeu adubação fosfatada e foi submetido a 25% da capacidade de campo (CC), teve uma redução no potencial hídrico da folha aos 25 dias

de estresse, chegando à $-2,32$ MPa. As plantas tiveram uma recuperação das taxas de potencial hídrico durante a reidratação, chegando aos $-0,53$ MPa (Figura 3).

O suprimento extra de fósforo não apresentou efeito isolado no controle da queda do Ψ_{am} . As plantas de mogno adubadas com fósforo (Figura 3) apresentaram redução no Ψ_{am} , a partir do 21º dia de estresse hídrico. Essa queda está relacionada à baixa disponibilidade de água no regime de 25CC. Contudo, ao alterar o regime hídrico de 25CC para 100CC durante a reidratação, esse Ψ_{am} é reestabelecido.

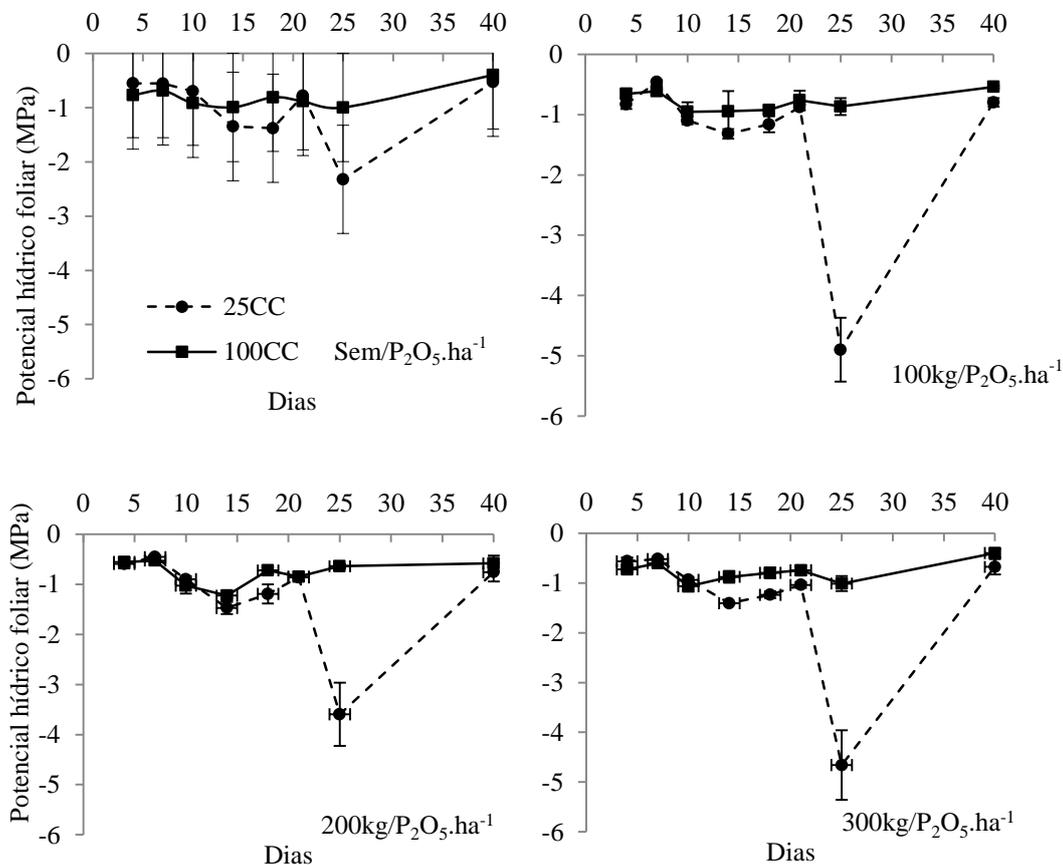
O fósforo apresenta forte interação com o solo (fixação), o que reduz a eficiência da adubação fosfatada. Já nas folhas, o seu transporte no xilema ocorre principalmente na forma tal como foi absorvido (H_2PO_4), podendo ainda aparecer na seiva do xilema como fosforil colina ou ésteres de carboidrato. Dada a fácil redistribuição do fósforo na planta, os sintomas de deficiência manifestam-se inicialmente nas folhas mais velhas (FAQUIN, 2005).

Após o período de reidratação no regime 25CC, as plantas não adubadas também apresentaram maiores valores de potencial hídrico, sem grandes mudanças quanto à influência da adubação.

Lima et al. (2015), ao estudarem o efeito do estresse hídrico em Andiroba, consideraram que a suspensão da irrigação durante 25 dias do período experimental promoveu uma redução considerável do potencial hídrico nas plantas cultivadas sob déficit hídrico. A condutância estomática e a taxa de transpiração também não apresentaram diminuição em plantas não irrigadas, com o aumento do período de déficit hídrico.

A diminuição do potencial hídrico foliar (Ψ_{am}) pode estar atrelada ao acúmulo de substâncias osmoticamente ativas, como a prolina e os açúcares solúveis totais, o que aumenta a capacidade de absorção de água das plantas e atenua os efeitos do déficit hídrico no conteúdo relativo de água da planta (PAGTER et al., 2005).

Figura 3- Potencial hídrico foliar de antemanhã em mogno africano, cultivado sem adubação ou com 100, 200 ou 300 kg de P_2O_5 .ha⁻¹ e submetido aos regimes hídricos de 25 e 100% da capacidade de campo (CC) por um período de 25 dias (estresse), seguido de reidratação por 15 dias (26° ao 40° dia). A barra corresponde ao erro padrão da média.

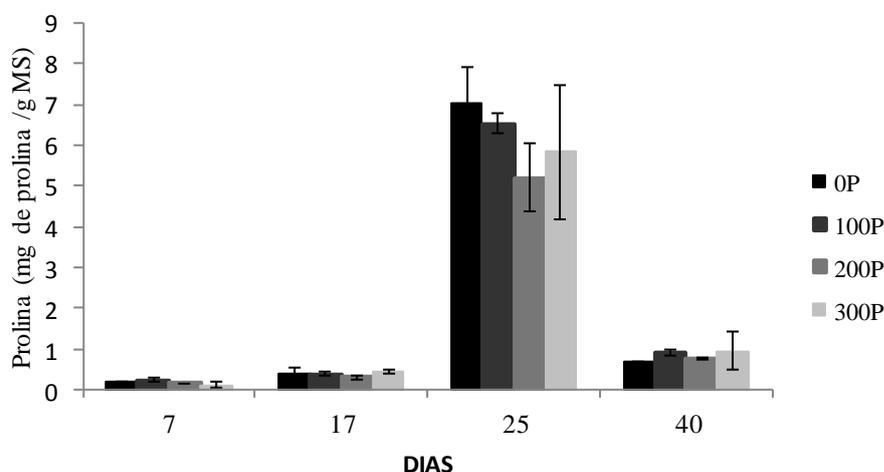


Não houve interação significativa ($P>0,05$) entre regime hídrico e adubação fosfatada para concentração de prolina no mogno após os 25 dias de estresse, ou após a reidratação por 15 dias (25° ao 40° dia) (Figura 4). Houve efeito do regime hídrico ($P<0,05$), tendo o regime de 25 CC uma diferença significativa apenas ao final do estresse hídrico. Após a reidratação, a concentração de prolina não teve efeito do regime hídrico ($P>0,05$). Até o 17° dia não foi necessários outros mecanismo de tolerância ao estresse hídrico, além do fechamento estomático.

Houve aumento na concentração de prolina ao final do estresse nas plantas não adubadas (Figura 4), chegando a valores de 7,01 mg de prolina/g MS no 25° dia. A prolina é um aminoácido que se apresenta em maiores concentrações quando a planta está em situação de estresse abiótico, quando tem uma função osmoprotetora. A concentração de prolina foi influenciada pelo regime hídrico e, após a reidratação, a

concentração de prolina diminuiu, chegando a 0,7mg de prolina/g MS no regime 25CC (Figura 4). Em algumas plantas que apresentam fortes reduções em condutância estomática e na transpiração, quando são expostas ao déficit hídrico, a ascensão de seiva via xilema é favorecida pela síntese ou pelo acúmulo de solutos (orgânicos e inorgânicos) osmoticamente ativos no citosol celular, como a prolina (NEPOMUCENO et al., 2001).

Figura 4-Concentração de Prolina (mg/g) em mogno africano, adubados com 0, 100, 200 e 300 kg P₂O₅.ha⁻¹, submetida ao regime hídrico de 25% da capacidade de campo (CC) por um período de 25 dias (estresse), seguido de reidratação por 15 dias (25° ao 40° dia). A barra corresponde ao erro padrão da média.

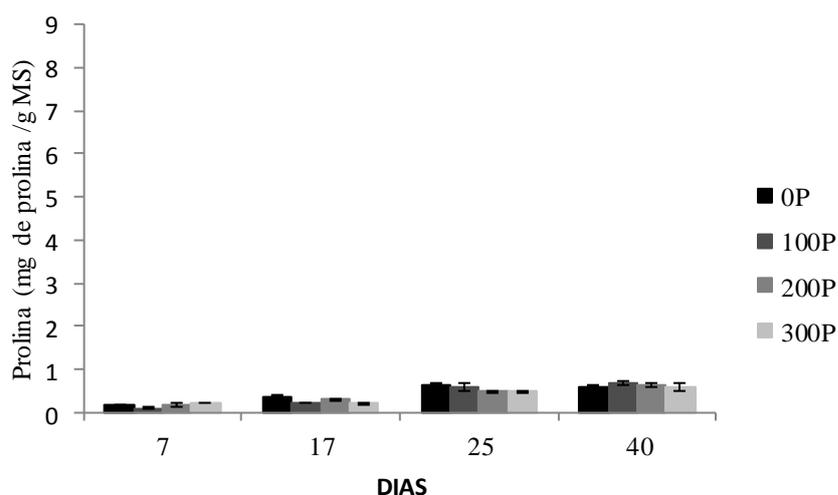


Nas plantas jovens de mogno africano, que foram submetidas a 100% da capacidade de campo (CC) (Figura 5), apresentaram aumento na concentração de prolina ao final do período de 25 dias, chegando a valores de 0,94 mg de prolina/g MS após 40 dias.

Cunha et al. (2013), ao compararem a fisiologia de plantas jovens de *Swietenia macrophylla* com *Khaya ivorensis* em condições de estresse hídrico, observaram que as trocas gasosas, o teor relativo de água e o conteúdo de osmólitos orgânicos, como a prolina, foram afetados de forma semelhante pelo período seco em ambas as espécies. Entretanto, *Khaya ivorensis* teve as maiores taxas de transpiração e condutância estomática, fato atrelado pelos autores à diferença de conformação de copa e tamanho de folhas de ambas as espécies. Habba et al. (2013), ao estudarem o efeito de diferentes doses de gesso e condições de salinidade, apontou para elevações na concentração de prolina em *Khaya senegalensis*, atreladas à redução na absorção de P. Ao se considerar

a possibilidade de o mogno realizar ajustamento osmótico, a manutenção de uma maior concentração foliar de prolina após o estresse hídrico pode ter contribuído para sua rápida recuperação do potencial hídrico.

Figura 5-Concentração de prolina em mogno africano, adubados com 0, 100, 200 e 300 kg P₂O₅.ha⁻¹, submetida ao regime hídrico de 100% da capacidade de campo (CC) por um período de 25 dias (estresse), seguido de reidratação por 15 dias (25° ao 40° dia). A barra corresponde ao erro padrão da média.



Diferentes espécies florestais sob condições de estresse hídrico apresentaram um aumento no acúmulo de substâncias osmoticamente ativas nas células, para posterior redução do potencial osmótico. Lima et al. (2015), ao pesquisarem a Andiroba sob déficit hídrico, encontrou um aumento nas concentrações de sacarose, prolina livre e glicina-betaína, bem como nos carboidratos solúveis totais, tanto nas folhas como nas raízes. Albuquerque et al. (2013) apresentaram resultados com *Khaya ivorensis* que são indicativos de que o mogno-africano pode, em um curto espaço de tempo, retomar seu metabolismo fotossintético e, com isso, recuperar a síntese de fotoassimilados, o que foi confirmado pelos valores encontrados para carboidratos solúveis, tanto como para prolina.

Para a concentração de açúcares redutores (mg.g/MF) em mogno, cultivado sem adubação (0) ou com 100, 200 ou 300 kg P₂O₅.ha⁻¹ e submetido aos regimes hídricos de 25 e 100% da capacidade de campo (CC) após o período de estresse (25 dias) e após 15 dias de reidratação, a interação não foi significativa (P<0,05), bem como não houve efeito significativo da dose de fósforo nem do regime hídrico.

Tabela 2. Condutância estomática ($\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) (CE), potencial hídrico foliar de antemanhã (Mpa) (POT), prolina (mg de prolina/g MS) (PRO), açúcares solúveis totais (mg.g/MF) (AST) e açúcares redutores (mg.g/MF) AR em mogno africano cultivado sem adubação (0) ou com 100, 200 ou 300 kg de $\text{P}_2\text{O}_5.\text{ha}^{-1}$ e submetido aos regimes hídricos de 25 e 100% da capacidade de campo (CC) após o período de estresse (25 dias) e após 15 dias de reidratação.

	CC (%)		kg/ha de P_2O_5			CV%	P			
	25	100	0	100	200		300	CC	P_2O_5	CCxP_2O_5
Estresse hídrico (25 dias)										
CE ¹	37,9	518,9	278,4	271,0	247,8	211,8	23,9	<0,001	0,259	0,143
POT ²	-3,8	0,8	-1,6	-2,8	-2,1	-2,8	61,7	<0,001	0,429	0,418
PRO ³	6,1	0,5	3,8	3,5	2,8	3,1	37,7	<0,001	0,561	0,704
AST ⁴	79,3	107,8	89,2	93,9	97,9	93,2	24,9	0,001	0,893	0,514
AR	590,0	660,4	598,2	518,5	682,7	701,4	21,8	0,177	0,065	0,070
Reidratação (40 dias)										
CE ⁵	225,3	451,0	331,8	376,2	286,7	357,9	45,7	<0,001	0,337	0,537
POT ⁶	-0,6	-0,4	-0,4	-0,6	-0,6	-0,5	32,3	0,014	0,192	0,894
PRO	0,8	0,6	0,6	0,8	0,7	0,7	40,4	0,124	0,817	0,878
AST	72,9	73,3	69,2	69,1	74,3	79,9	14,8	0,915	0,179	0,002
AR	121,9	108,1	108,8	111,4	109,8	130,0	25,1	0,162	0,376	0,130

CV: Coeficiente de variação. R^2 = Coeficiente de determinação. Equação de regressão:

$$^1\hat{Y}=Y=278,4$$

$$^2\hat{Y}=Y=-2,3$$

$$^3\hat{Y}=Y=3,35$$

$$^4\hat{Y}=Y=93,5$$

$$^5\hat{Y}=Y=338,21$$

$$^6\hat{Y}=Y=-0,5$$

Após o período de reidratação, a interação foi significativa ($P<0,05$) com efeito quadrático sob a concentração de AST para plantas mantidas a 25CC. As maiores concentrações de (62 mg.g/MF) foram encontradas nas adubações com 60 kg $\text{P}_2\text{O}_5.\text{ha}^{-1}$ (Tabela 5). As plantas mantidas a 100CC também tiveram efeito quadrático com concentração máxima de 71 mg.g/MF com 191 kg de $\text{P}_2\text{O}_5.\text{ha}^{-1}$. A adubação fosfatada apresentou relação direta com o aumento da concentração de AST no mogno.

Tabela 3- Concentração de açúcares solúveis totais em mogno africano, cultivado sem adubação ou com 100, 200 ou 300 kg $\text{P}_2\text{O}_5.\text{ha}^{-1}$ e submetido aos regimes hídricos de 25 e 100% da capacidade de campo (CC) após o período de 15 dias de reidratação.

CC (%)	kg/ha de P_2O_5				Média
	0	100	200	300	
Açúcares solúveis totais (mg.g/MF)					
25 ¹	59,8a	77,5a	65,1b	89,2a	72,9
100 ²	78,5a	60,8b	83,4a	70,6b	73,3
Média	69,24	69,17	74,30	79,99	73,17

CV (%)	14,8
--------	------

CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas por letras diferentes diferem na coluna (P < 0,05) pelo teste F. R² = Coeficiente de determinação. Equação de regressão:
¹Y=62,19-0,599x+1,63x², (R²=0,572)
²Y=79,87-6,332x+1,24x², (R²=0,021)

As plantas jovens de mogno submetidas à 25% e 100% da capacidade de campo (CC) e cultivadas sem adubação (0) ou com 100, 200 ou 300 kg P₂O₅.ha⁻¹ não apresentaram interação significativa (P<0,05) até o final de 25 dias de estresse hídrico para clorofila *a*, clorofila *b*, carotenóides, clorofilas totais e razão clorofila *a/b* (Tabela 4).

A concentração de carotenóides teve efeito significativo para regime hídrico (P<0,05), de forma que as plantas submetidas a 25CC apresentaram maiores taxas de carotenóides (Tabela 4). Isso corrobora com a tese de que o excesso de energia absorvida pela folha é drenado para carotenóides do ciclo da xantofila, que a dissipa na forma de calor, o que protege o fotossistema II contra possíveis danos oxidativos causados pela radiação solar plena (DIAS & MARENCO, 2007). A recuperação dos níveis de clorofila após a reidratação aponta para a adaptação do mogno em relação a seu desempenho fotossintético. Para LARCHER (2004), as alterações na biossíntese de clorofilas pelas variações espectrais podem proporcionar vantagens quanto ao crescimento e sucesso reprodutivo das espécies vegetais.

Tabela 4: Concentração de clorofila *a*, clorofila *b*, carotenóides, clorofilas totais e razão clorofila *a/b* (mg/g de matéria fresca) em *Khaya senegalensis*, cultivada sem adubação (0) ou com 100, 200 ou 300 kg P₂O₅.ha⁻¹ e submetida aos regimes hídricos de 25 e 100% da capacidade de campo (CC) após o período de estresse (25 dias).

	CC(%)		kg/ha de P ₂ O ₅				CV%	CC	Valor P	
	25	100	0	100	200	300			P ₂ O ₅	CCxP ₂ O ₅
Estresse hídrico (25 dias)										
CLO a¹	1,12	1,14	1,24	1,18	1,10	1,01	27,1	0,901	0,587	0,451
CLO b	0,48	0,47	0,46	0,44	0,46	0,53	23,7	0,726	0,837	0,074
CAROT²	0,28	0,20	0,28	0,27	0,20	0,22	36,6	0,032	0,411	0,149
CLO T³	1,59	1,62	1,69	1,69	1,55	1,49	24,7	0,820	0,763	0,863
RZ a/b⁴	3,51	2,49	4,80	2,45	2,59	2,15	28,3	0,427	0,445	0,231
Reidratação (40 dias)										
CLO A⁵	1,11	0,86	0,94	0,99	0,85	1,17	21,4	0,011	0,112	0,099
CLO b	0,45	0,33	0,32	0,42	0,41	0,41	23,2	0,006	0,242	0,007
CAROT⁶	0,27	0,17	0,22	0,26	0,16	0,24	23,2	0,005	0,131	0,188
CLO T⁷	1,57	1,19	1,28	1,41	1,26	1,57	22,4	0,007	0,241	0,058
RZ a/b	2,55	2,71	2,94	2,43	2,28	2,87	11,5	0,229	0,060	0,005

CV: Coeficiente de variação. R^2 = Coeficiente de determinação. Equação de regressão:

$$^1\hat{Y}=Y=1,14$$

$$^2\hat{Y}=Y=0,23$$

$$^3\hat{Y}=Y=1,60$$

$$^4\hat{Y}=Y=3,14$$

$$^5\hat{Y}=Y=0,89$$

$$^6\hat{Y}=Y=0,17$$

$$^7\hat{Y}=2,015+0,216x, (R^2=0,777)$$

Após a reidratação (Tabela 5), houve interação significativa ($P<0,05$) com efeito linear para os teores de clorofila *b* nas plantas de mogno mantidas a 100CC. O desdobramento mostrou que para clorofila *b*, no regime hídrico de 100CC, e as maiores concentrações (0,44mg/g de massa fresca) foram para adubação de 100 kg P_2O_5 .ha⁻¹. A razão clorofila *a/b* também teve interação significativa ($P<0,05$) com efeito quadrático para as plantas mantidas a 25 e 100CC.

Tabela 5: Concentração de clorofila *b*, e razão clorofila *a/b* (mg/g de matéria fresca) em *Khaya senegalensis*, cultivada sem adubação (0) ou com 100, 200 ou 300 kg P_2O_5 .ha⁻¹ e submetida aos regimes hídricos de 25 e 100% da capacidade de campo (CC) após o período de reidratação (15 dias).

CC (%)	kg/ha de P_2O_5				Média
	0	100	200	300	
Clorofila <i>b</i> (mg/g de matéria fresca)					
25 ¹	0,31a	0,40a	0,57b	0,51a	0,45
100 ²	0,33a	0,44a	0,25a	0,30b	0,33
Média	0,32	0,42	0,41	0,41	0,39
CV (%)	23,7				
Razão Clorofila <i>a/b</i> (mg/g de matéria fresca)					
25 ³	2,89a	2,69a	1,80b	2,83a	2,55
100 ⁴	3,00a	2,17b	2,77a	2,91a	2,71
Média	2,94	2,43	2,28	2,87	2,63
CV (%)	11,5				

CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas por letras diferentes diferem na coluna ($P<0,05$) pelo teste F. R^2 = Coeficiente de determinação. Equação de regressão:

$$^1\hat{Y}=Y=0,45.$$

$$^2\hat{Y}=Y=0,371-0,0003x, (R^2=0,199).$$

$$^3\hat{Y}=Y= 3,035- 0,0104x +3E-05x^2 (R^2 = 0,566).$$

$$^4\hat{Y}=3,832-1,173x+0,241x^2 (R^2=0,572)$$

A interação entre regime hídrico e adubação fosfatada não foi significativa ($P>0,05$), para as variáveis de crescimento, avaliadas aos 25 dias de estresse hídrico (Tabela 6). Entretanto, houve efeito do regime hídrico para altura, sendo que as plantas cresceram mais a 100CC, o que representou um crescimento de 15% a mais. Respostas

semelhantes foram verificadas para o diâmetro, número de folhas vivas, massa fresca e massa seca das folhas ($P < 0,05$) (Tabela 6). A massa fresca das folhas foi 63% menor no regime de 25CC, demonstrando a desidratação nessas plantas, ocasionadas pelo estresse hídrico. Ao mesmo tempo, a redução do crescimento ocasionado pelo estresse foi observada na massa seca das folhas.

As plantas jovens de mogno africano (*Khaya senegalensis*) submetidas a 25% e 100% da capacidade de campo (CC) e cultivadas sem adubação (0) ou com 100, 200 ou 300 kg $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ não tiveram interação significativa ($P > 0,05$) após o período de reidratação para as variáveis de altura, diâmetro, número de folhas vivas, número de folhas mortas, massa fresca de folhas e massa seca de folhas. Houve efeito do regime hídrico para o diâmetro, o número de folhas vivas, número de folhas mortas e massa fresca e massa seca das folhas (Tabela 6).

Tabela 6: Altura (cm) (ALT), diâmetro (mm) (DIAM), número de folhas vivas (NFV), número de folhas mortas (NFM), massa fresca das folhas (g) (MFF) e massa seca das folhas (g) (MSF) de plantas jovens de mogno aos 25 dias de estresse hídrico:

	CC (%)		kg/ha de P_2O_5				CV%	P		
	25	100	0	100	200	300		CC	P_2O_5	CCx P_2O_5
Estresse hídrico (25 dias)										
ALT ¹	47,5	54,5	50,0	54,7	49,1	50,2	21,3	0,050	0,667	0,622
DIÂ ²	17,6	21,8	17,2	22,1	21,3	21,7	23,7	<0,001	0,512	0,700
NFV ³	14,0	18,3	15,6	16,8	15,4	17,0	30,2	0,009	0,841	0,900
NFM	0,7	0,7	0,8	0,6	0,9	0,70	36,2	1,000	0,941	0,364
MFF ⁴	4,2	11,4	8,2	6,9	7,0	9,0	32,5	<0,001	0,216	0,266
MSF ⁵	2,6	3,9	3,3	2,9	3,2	3,7	38,8	0,003	0,682	0,373
Reidratação (40 dias)										
ALT	50,3	55,5	51,8	57,1	51,4	51,2	19,8	0,131	0,542	0,707
DIÂ ⁶	21,2	23,2	23,0	21,4	21,9	22,6	8,4	0,001	0,262	0,584
NFV ⁷	11,2	14,4	14,8	10,6	13,4	12,5	33,3	0,026	0,188	0,701
NFM ⁸	16,1	8,9	12,5	12,6	13,4	11,7	28,7	<0,001	0,744	0,376
MFF ⁹	8,8	11,7	11,1	8,5	9,9	11,4	23,9	0,001	0,057	0,075
MSF ¹⁰	2,4	3,9	3,5	2,7	2,9	3,6	29,2	<0,001	0,109	0,256

CV: Coeficiente de variação. R^2 = Coeficiente de determinação. Equação de regressão:

$$^1 \hat{Y} = Y = 51,0$$

$$^2 \hat{Y} = Y = 19,7$$

$$^3 \hat{Y} = Y = 17,50$$

$$^4 \hat{Y} = Y = 7,8$$

$$^5 \hat{Y} = Y = 3,25$$

$$^6 \hat{Y} = Y = 22,2$$

$$^7 \hat{Y} = Y = 12,8$$

$$^8 \hat{Y} = Y = 12,5$$

$$^9 \hat{Y} = Y = 10,25$$

$$^{10}\hat{Y}=Y=3,15$$

O déficit hídrico influencia negativamente o crescimento e o metabolismo de muitas plantas. Para Pagter et al (2005), essa resposta depende da gravidade e da duração do estresse, além do genótipo da planta, do estágio de crescimento e de fatores ambientais. Assim, outras adaptações fisiológicas podem ser encontradas como a abscisão foliar, que leva à diminuição da perda de água. Martins et al. (2010), ao avaliarem o crescimento de plantas jovens de Nim-Indiano (*Azadirachta indica* A. Juss.) sob diferentes regimes hídricos, apontaram que níveis de água abaixo de 60% da CC reduzem, significativamente, o crescimento e a produção de matéria seca do nim-indiano. Sob baixa disponibilidade hídrica, ocorreu redução da matéria seca das folhas e da área foliar, a recuperação das plantas reirrigadas foi evidenciada por meio da emissão de novas folhas, confirmada, principalmente, pelo aumento na alocação de biomassa para as folhas destas plantas.

Após o período de reidratação no mogno, constatou-se que houve diminuição do diâmetro, número de folhas vivas e peso fresco das folhas no regime de 25CC. O potencial hídrico mostrou que controla a fotossíntese e o crescimento celular. Os efeitos do estresse também foram observados na redução do peso seco das folhas e número de folhas mortas. Isso mostra que a taxa de crescimento de uma espécie é determinada, não apenas pela capacidade de assimilação de carbono, mas por uma série de outros fatores, como a taxa de respiração, a eficiência na translocação de assimilados e a superfície foliar da planta, que interagem de forma complexa, e cujo resultado final é o acúmulo de biomassa (MARENCO & LOPES, 2005).

Souza et al., (2010) consideraram que o crescimento em altura e diâmetro, e a produção de matéria seca da parte aérea, raiz e total das mudas de mogno foram limitados quando não se realizou a correção conjunta da acidez e da fertilidade do solo com macro e micronutrientes. Plantas adaptadas a solos de baixa fertilidade apresentam, em geral, altas concentrações de fósforo e de outros nutrientes na parte aérea. Isso está normalmente associado à menor suscetibilidade dessas espécies a condições de estresse nutricional (OSTERTAG, 2010). Para Valadares et al, (2015), as espécies *Astronium fraxinifolium* e *Stryphnodendron adstringens*, nativas do Cerrado, responderam positivamente à fertilização com fósforo durante seu crescimento inicial.

O crescimento de plantas jovens de *Khaya senegalensis* foi comprometido com o estresse hídrico e, para quase todas as variáveis estudadas, houve influência do regime hídrico. As plantas mantidas próximas a 100CC tiveram pouca variação para os períodos de estresse hídrico e reidratação. Sob condições naturais, o desenvolvimento da deficiência hídrica geralmente dá-se de maneira gradual, enquanto em ensaios de plantas em vasos a imposição do déficit geralmente é muito rápida, em razão do espaço radicular restrito. Em razão disso, alguns mecanismos adaptativos, como o acúmulo de substâncias osmoticamente ativas nas células e posterior, abaixamento do potencial osmótico, ou não, ocorrem ou se manifestam com menor intensidade (CARVALHO, 2005).

Para Souza *et. al.*, (2010), o conhecimento das exigências nutricionais em espécies florestais é de grande importância, pois é imprescindível no crescimento e na distribuição de biomassa. Além disso, o conhecimento das exigências nutricionais em espécies florestais permite a identificação e correção de deficiências que podem ocorrer em exemplares plantados em diferentes substratos degradados, possibilitando, dessa maneira, intervenções corretas, sem desperdícios e de menor impacto ambiental.

A omissão de P, na presença ou ausência de calagem, limitou o crescimento em altura, diâmetro e a produção de matéria seca da parte aérea, raiz e total das mudas de mogno SOUZA *et. al.*, (2010). Para Perez *et. al.* (2016), a espécie *Khaya senegalensis* não demanda altas doses de potássio, aumentando a eficiência do uso de água sob condições de estresse hídrico.

Ao estudar as respostas do mogno à doses crescentes de fósforo aplicadas, conseguiu-se ajustar os dados a modelos de regressão. Verificou-se que houve resposta linear e positiva em função das doses crescentes de fósforo, verificando-se que o incremento em crescimento da parte aérea, bem como a produção de biomassa acompanhou o aumento na absorção. Isso sugere que as plantas de mogno possuam eficiência de utilização do fósforo.

As menores concentrações de AST encontradas no estresse hídrico mais intenso (25% CC) indicam sua utilização para a manutenção da planta nessas condições. Isso pode favorecer sua recuperação pós-estresse. O acúmulo de açúcares solúveis e prolina tem sido extensamente relatado em resposta a deficiência hídrica, contribuindo para o processo de ajustamento osmótico nas plantas.

Conclusão

O mogno africano (*Khaya senegalensis*) apresenta alta sensibilidade estomática à deficiência hídrica, o que, aliado à expressiva acumulação de prolina e açúcares solúveis totais, faz com que a espécie seja tolerante a estresses hídricos moderados de até 25 dias.

Essa espécie mostrou capacidade de retomada do crescimento após o período de estresse hídrico de 25 dias, vindo a restabelecer seu potencial hídrico e condutância estomática após o período de 15 dias sob reidratação.

A adubação fosfatada com 200 Kg de P_2O_5 .ha⁻¹ influenciou na concentração de teores de clorofila, principalmente na clorofila *b* e clorofilas totais.

Referências

- ALBUQUERQUE, M.P.F.; MORAES, F.K.C.; SANTOS, R.I.N.; CASTRO, G.L.S.; RAMOS, M.L.S.E.; PINHEIRO, H.A. Ecofisiologia de plantas jovens de mogno africano submetidas a déficit hídrico e reidratação. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.48, n.1, p.9-16, 2013.
- ALVAREZ, V.H.; RIBEIRO, A.C. Calagem. In: Comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais (CFSMG). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª aproximação, Viçosa, 1999, p.41-60.
- AWOHOUEDJIA, D.Y.G.; BABATOUNDEC, S.; ADOUNKPEB, J.G.; HOUINATO, M.; HOUNZANGBE-ADOTE, S. Supplementing *Panicum maximum* with two medicinal forages in the diet of Djallonke sheep at the Benin national sheep center. **Science Journal Animal Science**, v.2, n.11, p.285–295, 2013.
- BATES, L.S. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v.39, n.1, p.205-207, 1973.
- CARVALHO, C.J.R. Respostas de plantas de *Schizolobium amazonicum* [*S. Parahyba* var. *Amazonicum*] e *Schizolobium parahyba* [*Schizolobium parahybum*] à deficiência hídrica. **Revista Árvore**, v.29, n.6, p.907-914, 2005.
- COSTA, G.F.; MARENCO, R.A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazonica**, v.37, n.2, p.229-234, 2007.
- CORDEIRO, Y.E.M.; PINHEIRO, H.A.; SANTOSFILHO, B.G.; CORRÊA, S.S.; DIAS FILHO, M.B. Physiological and morphological responses of young mahogany (*Swietenia macrophylla* King.) plants to drought. **Forest Ecology and Management**, v.258, n.7, p.1449-1455, 2009.
- CUNHA, R.L.M.; FILHO, B.G.S.; COSTA, R.C.L.; VIÉGAS, I.J.M. Physiological assessment in young Brazilian and African mahogany plants during the dry and rainy seasons in northeastern Para state, Brazil. **Revista de Ciências Agrárias**, v.56, n.3, p.255-260, 2013.
- DANTHU, D.P.; DIAITÉ-SANOGO, D.; SAGNA, M.; SAGNA, P.; DIA-GASSAMA, Y.K. Micropropagation of *Khaya senegalensis*, an African mahogany from dry tropical zones **Journal of Tropical Forest Science**. v.15, n.1, p.164-175, 2003.
- 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.
- DISCHE, Z. General color reactions. In: WHISTLER, R.L.; WOLFRAM, M.L. **Carbohydrate chemistry**. New York: Academic Press, p.477-520. 1962.
- FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005.

GONÇALVES, J.F.; 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**, v.44, n.1, p.14, 2009.

HABBA, I.E.; AZIZ, N.G.A.; METWALLY, S.A.; MAZHAR, A.A.M. Response of growth and chemical constituents in *Khaya senegalensis* to salinity and gypsum under calcareous soil conditions. **World Applied Sciences Journal**, v.22, n.2, p.447-452, 2013.

HISCOX, J.D.; ISRAELSTAM, G. F. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. **Canadian Journal of Botany**, v.57, n.12, p.1332-1334, 1979.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**, São Carlos: Rima Artes e Textos, 531p. 2000.

LIMA, E.G.S.; OLIVEIRA, T.B.; CONCEIÇÃO, S.S.; ATAÍDE, W.L.S.; MALTAROLO, B.M.; NOGUEIRA, G.A.S.; CANDIDO, F.O.N.; COSTA, R.C.L.; OKUMURA, R.S.; Biochemical and physiological responses of andiroba (*Carapa guianensis*, Aubl.) seedlings subjected to water deficit. **Australian Journal of Crop Science**, v.9, n.6, p.517-522, 2015.

MARENCO, R.A.; LOPES, N.F. **Fisiologia Vegetal: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Editora da UFV. Viçosa: MG. 451pp. 2005.

MARTINS, M.O.; NOGUEIRA, R.J.M.C.; NETO, A.D.A.; SANTOS, M.G. Crescimento de plantas jovens de nim-indiano (*Azadirachta indica* a. Juss. -meliaceae) sob diferentes regimes hídricos. **Revista Árvore**, v.34, n.5, p.771-779, 2010.

MILLER, G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, v.31, n.3, p.426-428, 1959.

NASCIMENTO, 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**, v.35, n.3, p.617-626. 2011.

NEPOMUCENO, A.L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; OYA, T. Tolerância à seca em plantas: mecanismos fisiológicos e moleculares. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, v.23, n.4, p.12-18, 2001.

OSTERTAG, R. Foliar nitrogen and phosphorus accumulation responses after fertilization: an example from nutrient limited Hawaiian forests. **Plant and Soil**, v.334, n.1, p.85-98, 2010.

PAGTER, M.; BRAGATO, G.; BRIX, H. Tolerance and physiological responses of *Phragmites australis* to water deficit. **Aquatic Botany**, v.81, n.4, p.285-299, 2005.

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**, v.21, n.4, p. 655-662, 2011.

SCHOLANDER, P.F.; HAMMEL, H.T.; BRASDTREET, E.D.; HEMMINGSEN, E.A. *Sap pressure in vascular plants*. **Science**, v.148, n.3668, p.339-346, 1965.

SOUZA, C.A.S.; TUCCI, C.A.F.; SILVA, J.F.; RIBEIRO, W.O. Exigências nutricionais e crescimento de plantas de mogno (*Swietenia macrophylla* King.) **Acta amazonica**, v.40, n.3, p.515-522, 2010.

VALADARES, S.V.; SILVA, L.F.; VALADARES, R.V.; FERNANDES, L.A.; NEVES, J.C.; SAMPAIO, R.A. Plasticidade fenotípica e frações fosfatadas em espécies florestais como resposta à aplicação de fósforo. **Revista Árvore**, v.39, n.2, p.225-232, 2015.

VASCONCELOS, R.T.; VALERI, S.V.; MARTINS, A.B.G.; BIAGIOTTI, G.; PEREZ, B.A.P. Rooting of African mahogany (*Khaya senegalensis* A. Juss.) leafy stem cuttings under different concentrations of indole-3-butyric acid. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, n.23, p.2050-2057, 2016.

WELLBURN, A.R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal Plant Physiology**, v.144, n.3, p. 307-313, 1994.

IV – CAPÍTULO II

MOGNO AFRICANO SUBMETIDO A QUATRO REGIMES HÍDRICOS COM OU SEM ADUBAÇÃO FOSFATADA

RESUMO: O mogno africano (*Khaya senegalensis*) é uma das espécies florestais mais valiosas do mundo. No Brasil, seu cultivo ganhou destaque em sistemas silvipastoris porque é resistente a estresses ambientais, como a deficiência de água. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de quatro regimes de água (25, 50, 75, 100% da capacidade de campo) nas características fisiológicas e produtivas e estruturais de *Khaya senegalensis* fertilizadas, ou não, com fósforo. O experimento foi conduzido em um esquema fatorial 2 x 4, com duas doses de fósforo (0 e 200 kg P₂O₅.ha⁻¹) e quatro regimes hídricos (25, 50, 75 e 100% da capacidade de campo), sem delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições. Plantas de mogno africano com aproximadamente 180 dias de idade e 45 cm de altura, aclimatadas na casa de vegetação para transferências para vasos de polietileno. Após 30 dias transplantio, receberam como doses de (0 e 31,2) g de P₂O₅ / vaso, respectivamente, de superfosfato simples sendo mantidas em regime hídrico de 25, 50, 75 e 100CC. Foi medido o potencial hídrico foliar de antemanhã (Ψ_{am}), condutância estomática, os teores de clorofilas e carotenóides e os teores de açúcares solúveis e açúcares redutores, bem como uma concentração de prolina. As análises de crescimento e produção foram realizadas durante o período de estresse hídrico, que durou 25 dias, e de reidratação de 15 dias. O mogno africano apresentou sensibilidade estomática à deficiência hídrica, o que, aliado a expressiva acumulação de prolina e açúcares livres, faz com que seja tolerante a estresses hídricos moderados. Essa espécie mostrou a capacidade de retomada do crescimento após o período de estresse hídrico, com reestabelecimento de seu potencial hídrico e condutância estomática após o período de reidratação. A adubação fosfatada com 200 kg de P₂O₅.ha⁻¹ aumentou a concentração de teores de clorofila, principalmente na clorofila e clorofilas totais.

Palavras-chave: adubação fosfatada, açúcares solúveis totais, capacidade de campo, clorofila, *Khaya senegalensis*

IV – CHAPTER II

AFRICAN MAHOGANY SUBMITTED TO FOUR WATER REGIMES WITH OR WITHOUT PHOSPHATE FERTILIZATION

ABSTRACT: African mahogany (*Khaya senegalensis*) is one of the most valuable forest species in the world. In Brazil, its cultivation has gained prominence in silvopastoral systems because it is resistant to environmental stresses, such as water deficiency. The objective of this work was to evaluate the effect of four water regimes (25, 50, 75, 100% of field capacity) on the physiological and productive and structural characteristics of *Khaya senegalensis* fertilized or not with phosphorus. The experiment was conducted in a 2 x 4 factorial scheme with two doses of phosphorus (0 and 200 kg P₂O₅.ha⁻¹) and four water regimes (25, 50, 75 and 100% of field capacity), without a completely with five repetitions. African mahogany plants with approximately 180 days of age and 45 cm of height, acclimatized in the greenhouse for transfers to polyethylene vases. After 30 days transplant received as doses of (0 and 31.2) g of P₂O₅/pot, respectively of single superphosphate being maintained in water regime of 25, 50, 75 and 100CC. Leaf water potential (Ψ_{am}), stomatal conductance, chlorophyll and carotenoid contents, and soluble sugar and reducing sugars content, as well as a proline concentration, were measured. Growth and yield analyzes were performed during the 25-day water stress period and 15-day rehydration period. African mahogany presented stomatal sensitivity to water deficit, which, together with the expressive accumulation of proline and free sugars, makes it tolerant to moderate water stresses. This species showed the capacity of resumption of growth after the period of water stress with reestablishment of its water potential and stomatal conductance after the rehydration period. Phosphate fertilization with 200 kg of P₂O₅.ha⁻¹ increased the concentration of chlorophyll content, mainly in chlorophyll and total chlorophyll.

Key words: phosphate fertilization, total soluble sugars, field capacity, chlorophyll, *Khaya senegalensis*

Introdução

O mogno africano (*Khaya senegalensis*) é uma das espécies madeireiras mais valiosas do mundo. A sua madeira é muito valorizada por carpintaria, marcenaria, móveis, marcenaria, construção de navios e lâminas decorativas. É apropriado para a construção, pisos, acabamentos interiores, carroçarias de veículos, brinquedos, dormentes, torneados e celulose. Ele também é usado como lenha e para a produção de carvão. A casca de sabor amargo é altamente valorizada na medicina tradicional. (NIKIEMA & PASTERNAK, 2008; ARNOLD, 2004).

Recentemente foi introduzida na América do Sul e em outras partes do mundo, tendo sido observada uma boa adaptabilidade da espécie a diferentes condições climáticas, podendo ser uma boa alternativa para satisfazer a demanda de madeira nobre no mercado nacional e internacional. O alto valor comercial da sua madeira tem levado produtores brasileiros a investir no seu plantio puro, ou através de consórcios agrossilvipastoris.

Essa meliácea possui propriedades medicinais na prevenção e cura de doenças helmínticas no gado, sendo usada pura principalmente, no final da estação seca, ou em misturas com outros alimentos. No Brasil, seu plantio tem como finalidade a madeira, que é amplamente valorizada no mercado internacional, sendo utilizado para carpintaria, marcenaria, mobiliário, construção naval e reconhecida pela sua durabilidade (FRANÇA, 2016).

A introdução dessa espécie arbórea em sistemas silvipastoris vem ganhando destaque pela sua capacidade de rebrota e reprodução por estaquia, além da micro propagação vegetativa (VASCONCELLOS et. al. 2016; DANTHU et. al., 2003). A espécie tem boa adaptabilidade a índices pluviométricos mínimos de até 700mm e apresenta baixa incidência de pragas, como a *Hypsipyla grandella*, conhecida como broca das meliáceas ou broca do ponteiro (ARNOLD, 2004). Como planta forrageira, destaca-se pela utilização de suas folhas na estação seca, associada a outros alimentos, quando usada como suplementação de ovelhas, as folhas de *Khaya senegalensis* melhoraram significativamente o ganho de peso dos animais. AWOHOUEJIA et. al., (2013).

Muito embora grandes avanços tecnológicos tenham sido conseguidos na silvicultura nos últimos anos, a necessidade de água e a quantidade de adubação necessária constituem, ainda, como fatores importantes para a produção. Em virtude da baixa disponibilidade do P nos solos tropicais, essa carência tem sido apontada como fator limitante para o crescimento de espécies florestais e exóticas. O principal fator a considerar na adubação fosfatada (além da dose e do tipo de adubo) é o fenômeno da fixação, o que faz com que o elemento “caminhe” pouco no solo por difusão, até encontrar a raiz (Malavolta, 1980). O fósforo é um componente estrutural de macromoléculas, como ácidos nucleicos e fosfolipídios, e também do adenosina trifosfato (ATP), sendo um elemento-chave de várias vias metabólicas e reações bioquímicas, tais como inúmeras etapas das vias fotossintéticas C3 e C4 e da glicólise (HOLFORD, 1997).

Alguns autores investigaram o efeito da adubação fosfatada em mudas de espécies florestais. Schumacher et. al., (2004) constataram que houve influência positiva da utilização do fósforo no crescimento das mudas de Angico vermelho (*Parapiptadenia rigida*). Fernandes, et. al., (2007) consideraram que o fósforo promoveu aumento no crescimento das mudas de Freijó (*Cordia goeldiana*). Santos et. al., (2008) encontraram respostas positivas a dose de 200 kg.ha⁻¹ de fósforo para todas as características de crescimento no mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla*). Para Souza et. al., (2012), houve maior acúmulo de micronutriente em mudas de canafístula (*Peltophorum dubium*), quando adubadas com fósforo. Mendes et al., (2013) apontaram um aumento da eficiência fotossintética das folhas de 10 espécies amazônicas, submetidas à adubação com P.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de quatro regimes hídricos (25, 50, 75, 100% da capacidade de campo) sobre características fisiológicas e produtivas e estruturais de *Khaya senegalensis* adubada, ou não, com fosforo.

Materiais e Métodos

O experimento foi instalado na casa de vegetação pertencente ao laboratório de Forragicultura e Pastagem da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, UESB, Campus “Juvino Oliveira”, no município de Itapetinga-BA, no período de setembro a Dezembro de 2015. O ensaio foi conduzido em um esquema fatorial 4 x 2, com quatro regimes hídricos (25, 50, 75, 100% da capacidade de campo) e duas doses de fósforo (0 e 200 kg de P₂O₅.ha⁻¹), no delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições, totalizando 40 vasos plásticos com capacidade para 10 dm⁻³ de solo.

Plantas jovens de *Khaya senegalensis* (mogno africano), com aproximadamente 180 dias de idade e altura média de 45 cm, produzidas em tubetes plásticos, foram selecionadas a partir de viveiro florestal certificado, localizado no município de Teixeira de Freitas, BA. As mudas ficaram sete dias em aclimatação na casa de vegetação, depois foram transferidas para os vasos.

Foi utilizado um solo classificado como neossolo quartzarênico órtico, de textura franco-arenosa, coletado na camada de 0-20 cm de profundidade, no Campus da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, UESB. Depois de ser destorroado e passado em peneira com malha de 4 mm, foi posto para secar ao ar, coletada a amostra para análise de solo e realizado o enchimento dos vasos.

De acordo com a análise química do solo (Tabela 1), realizada no Laboratório de Solos, Departamento de Engenharia Agrícola e Solos, UESB, e conforme as recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (ALVAREZ & RIBEIRO, 1999), não houve necessidade de calagem, nem adubação potássica, uma vez que se optou por um baixo nível tecnológico e o valor de saturação por base se encontrava em 70%. Para o cálculo da adubação com P, considerou-se a concentração encontrada na análise química de 11 cmol/dm³ de solo como parâmetro inicial.

Tabela 1. Análise química do solo

pH	*mg/dm ³		*cmol/dm ³ de solo							%			g/dm ³
(H ₂ O)	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺	Na ⁺	S.B ¹	t ²	T ³	V ⁴	m ⁵	M.O. ⁶
5,5	11	0,87	1,8	2,0	0	2,0	-	4,7	4,7	6,7	70	0	10

¹Soma de bases. ²CTC efetiva. ³CTC pH 7. ⁴Saturação por bases. ⁵Saturação por Al³⁺. ⁶Matéria orgânica. Fonte: Laboratório de solos da UESB.

Para determinação da capacidade de campo, todos os vasos com solo seco foram pesados, saturados com água e, após escoamento total da água, pesados novamente. Pela diferença de peso úmido e peso seco, foi determinada a máxima capacidade de retenção de água, que correspondeu a 18%. A determinação da reposição de água para cada regime hídrico foi calculada de acordo com o peso correspondente aos 18% de retenção de água, sendo calculado o proporcional a 25, 50 e 100% desse peso.

Após 30 dias do transplante das mudas para os vasos, foram feitas as adubações fosfatadas equivalentes a 0, 200 kg de $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$, que foram correspondentes às quantidades de 0; e 31,24 gramas de P_2O_5 /vaso, respectivamente. Sendo usado na forma de superfosfato simples em pó, que foram parceladas em duas aplicações, levando-se em consideração o intervalo de 20 dias. O controle da vegetação invasora foi feito manualmente, e para a pesagem dos vasos para a reposição de água até atingirem o regime hídrico correspondente, utilizou-se uma balança digital.

Por volta de 40 dias após a adubação fosfatada, as plantas foram submetidas aos regimes hídricos de 25, 50, 75 e 100% da capacidade de campo, permanecendo por 25 dias. Esse período compreendeu o estresse hídrico (dia 0 até o dia 25). O período de estresse foi determinado pela redução na condutância estomática e perda de vigor das plantas submetidas ao regime de 25% da CC. Após o estresse, as plantas foram reidratadas por 15 dias, até atingirem as condições normais, denominado período de reidratação (dia 26 até o dia 40).

O clima da região conforme Köppen é classificado como Aw e a temperatura média anual é 23.6 °C. Durante o período do experimento, as temperaturas máxima e mínima e a umidade relativa do ar máxima e mínima foram registradas por meio de termohigrômetro instalado dentro da casa da vegetação. A temperatura máxima registrada dentro da casa de vegetação chegou aos 44°C durante o período de experimento, sendo que as temperaturas mínimas chegaram até 20° C durante o período experimental. Os valores de umidade mínima, máxima foram registrados no período, e apresentaram valores mínimos de 20% e valores máximos de até 86% respectivamente, durante todo período experimental.

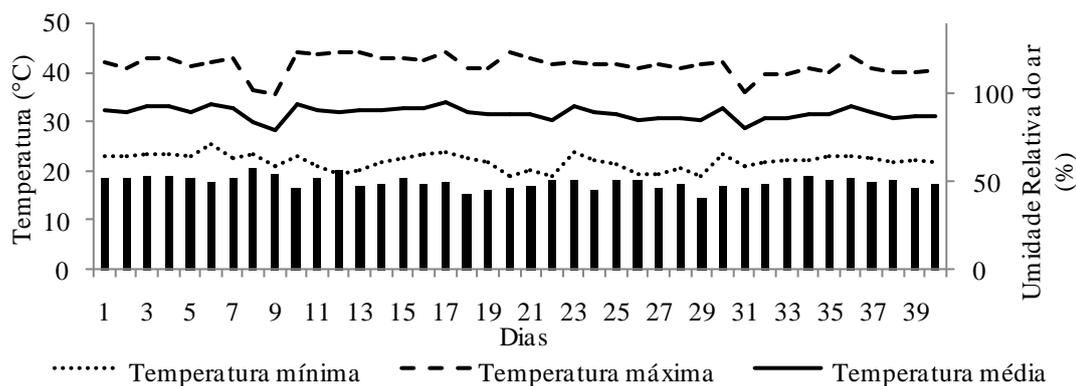


Figura 1: Temperatura máxima, média e mínima e umidade relativa do ar média durante o experimento.

O potencial hídrico foliar de antemanhã (Ψ_{am}) foi realizado em folhas sadias e completamente expandidas com o auxílio de uma câmara de pressão tipo Scholander. A observação da exsudação da seiva foi feita com auxílio de uma lupa, em resposta a pressão exercida na superfície da folha no interior da câmara. Uma válvula permitiu o controle do fluxo de Nitrogênio comprimido (N_2) para a câmara, enquanto o manômetro, acoplado ao sistema, permitiu a medição da pressão exercida durante todo o processo em bares (BAR), convertida para Megapascal (MPa). A condutância estomática foi medida com um porômetro foliar modelo Decagon Devices, SC-1, entre 09:00 e 11:00 horas da manhã, no intervalo de 3 em 3 dias.

A extração das clorofilas e carotenóides foi realizada ao final do período de estresse hídrico e após a reidratação. Folíolos de folhas completamente expandidas foram coletados às 10:00 horas da manhã, acondicionados em embalagens de papel alumínio em caixas de isopor com gelo, para serem imediatamente seccionados, pesados e colocados em frascos de vidro com 5 mL de Dimetilsulfóxido (DMSO) e envolvidos com papel alumínio (HISCOX & ISRAELSTAM, 1979). Após 72 horas, no escuro, foram realizadas as leituras no espectrofotômetro em comprimentos de onda de 665, 649 e 480 nm e os pigmentos quantificados, de acordo com Wellburn (1994): [Clorofila *a*] ($\mu\text{g mL}^{-1}$) = $12,19A_{665} - 3,45A_{649}$, [Clorofila *b*] ($\mu\text{g mL}^{-1}$) = $21,99A_{649} - 5,32A_{665}$, [Carotenóides] ($\mu\text{g mL}^{-1}$) = $(1000A_{480} - 2,14 \text{ Clorofila } a - 70,16 \text{ Clorofila } b) / 220$.

Para a quantificação de prolina, açúcares solúveis totais (AST) e açúcares redutores (AR), foram feitas duas coletas de material final do período de estresse hídrico (25 dias) e após a reidratação (40 dias). Foram coletadas 2 folhas

completamente expandidas, as quais foram retiradas a nervura central, pesadas e secas em estufa de ventilação forçada à 60°C, por 72 horas, e depois moídas em moinho do tipo "bola" e acondicionadas em embalagens plásticas.

A prolina foi extraída de 200 mg de massa seca, com 10 mL de Ácido Sulfosalicílico a 3%, mantidos sob agitação em temperatura ambiente por 60 minutos, seguido de filtragem. A quantificação se procedeu segundo o método colorimétrico de BATES et. al., (1973).

Os carboidratos solúveis foram extraídos pela homogeneização de 300 mg de massa seca de folhas, em 4 mL de tampão fosfato de potássio 200 mM (pH 7,0), acrescido de 20 mM de ácido ascórbico, seguido de centrifugação a 4.000 rpm por 20 minutos e coleta do sobrenadante. O procedimento foi realizado mais duas vezes e os sobrenadantes combinados. Os açúcares solúveis totais (AST) foram quantificados pelo método da Antrona (Dische, 1962) e os açúcares redutores (AR) pelo método do ácido dinitrosalicílico (DNS) (MILLER, 1959).

A medição da altura da planta e diâmetro do caule foi realizada no início do experimento (dia 0), ao final do período de estresse hídrico (25 dias) e após do período de reidratação (40 dias), com auxílio de uma régua graduada de madeira de 1m e de um paquímetro digital.

Os resultados foram submetidos à análise de variância, considerando como fontes de variação as capacidades de campo (25, 50, 75 e 100%), e as doses de fósforo (0 e 200 kg P₂O₅.ha⁻¹) e a interação capacidade de campo e dose de fósforo. A interação foi desdobrada, ou não, de acordo com a significância. O efeito da capacidade de campo foi estudado por meio do teste F e o efeito do fósforo, por meio da decomposição ortogonal da respectiva soma de quadrados em efeito linear, quadrático e cúbico. Adotou-se $\alpha = 0,05$.

Resultados e Discussão

As plantas de *Khaya senegalensis* que não receberam adubação fosfatada e foram submetidas a 25% da capacidade de campo (CC) apresentaram redução na condutância estomática a partir do 4º dia de indução do estresse, a partir de 18 dias a redução na condutância estomática foi mais expressiva, chegando a atingir valores próximos aos $38 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ao final de 25 dias de estresse, o que demonstra o fechamento dos estômatos em função da baixa disponibilidade hídrica. Após 15 dias de reidratação (40 dias de experimento), as plantas com 25% CC mostram uma recuperação na abertura estomática, elevando seus valores a $233 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Figura 2).

Nas mudas de mogno africano sem adubação fosfatada e submetidas a 50%, houve uma queda na condutância estomática do 7º ao 14º dia, subindo até o 21º dia, e novamente caindo, chegando a $457 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ após o período de estresse (25 dias) e que no final do período de reidratação, atingiu $377 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (Figura 2).

As plantas submetidas ao regime de 75% CC e sem adubação tiveram elevação dos valores de condutância estomática a partir do 7º dia, tendo uma queda no 18º dia e uma rápida elevação até o 25º dia, quando chegou aos $579 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (Figura 2). Entretanto, a partir desse dia, houve queda na condutância estomática, fechando o período de 40 dias com $504 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, o valor mais elevado encontrado para plantas sem adubação fosfatada.

Já as plantas de mogno que não receberam adubação fosfatada e foram submetidas a 100% da capacidade de campo (CC), apresentaram pouca flutuação entre os valores de condutância estomática durante o experimento (Figura2). Houve redução na condutância estomática a partir do 11º dia de indução do estresse, com elevação a partir do 14º dia, chegando a $518 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ no final do 25º dia. Cabe destacar que o regime de 100CC não foi o que apresentou os maiores valores de condutância estomática no final do período experimental, chegando a $430 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$.

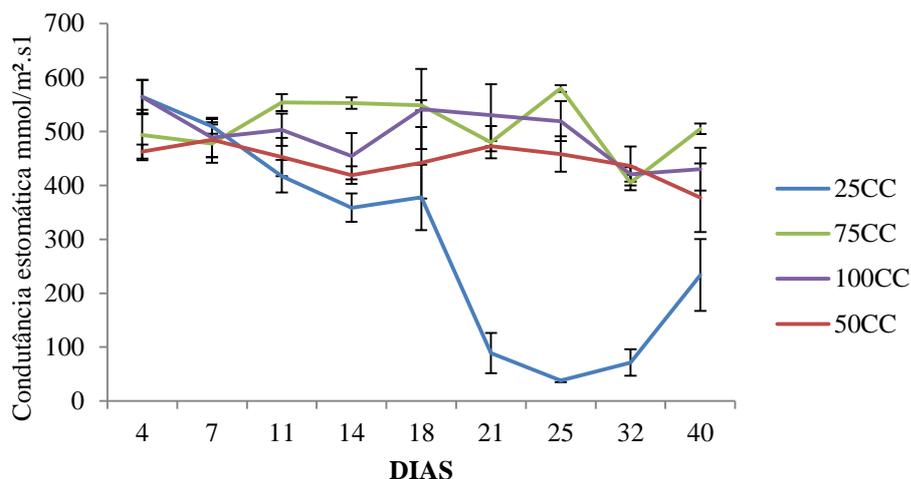


Figura 2. Condutância estomática em plantas jovens de Mogno sem adubação fosfatada submetidas a 25, 50, 75 e 100% da capacidade de campo. A barra corresponde ao erro padrão da média.

As mudas de *Khaya senegalensis* que receberam adubação fosfatada de 200 kg $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ e foram submetidas a 25% da capacidade de campo (CC) apresentaram queda na condutância estomática a partir do 11º dia de indução do estresse (Figura 3). Essa redução foi acentuada até o 25º dia, período final do estresse, quando a condutância chegou a 34 $mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$. Durante a reidratação, a condutância estomática subiu até 151 $mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$. Essa recuperação na condutância estomática foi menor nas plantas que foram adubadas do que nas plantas sem adubação.

O regime de 50% da capacidade de campo em plantas jovens de mogno africano apresentou queda desde o dia 4 até o 11º dia, quando teve elevação na condutância estomática e mantendo-se assim até o final do estresse, quando atingiu 403 $mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$. Durante a reidratação, houve queda nos valores de condutância estomática, finalizando o experimento com 382 $mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ (Figura 3).

As plantas de mogno africano adubadas com fósforo e mantidas no regime de 75% da capacidade de campo tiveram queda da condutância estomática do 4º ao 21º dia, quando houve um aumento até 508 $mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ no 25º dia (Figura 3). Após o período de reidratação, esse regime hídrico apresentou uma condutância estomática de 427 $mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$. Os valores de condutância estomática encontradas no regime 75% CC foram os mais elevados durante o período experimental.

A condutância estomática verificada nas plantas que receberam 200 kg $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ e foram submetidas a 100% da capacidade de campo, teve queda até o 7º dia e um

aumento a partir do 14º dia, chegando até $560 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Esses valores caíram até atingir $381 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ no 32º dia de experimento. Ao final do período de reidratação, a condutância estomática elevou-se até $422 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (Figura 3).

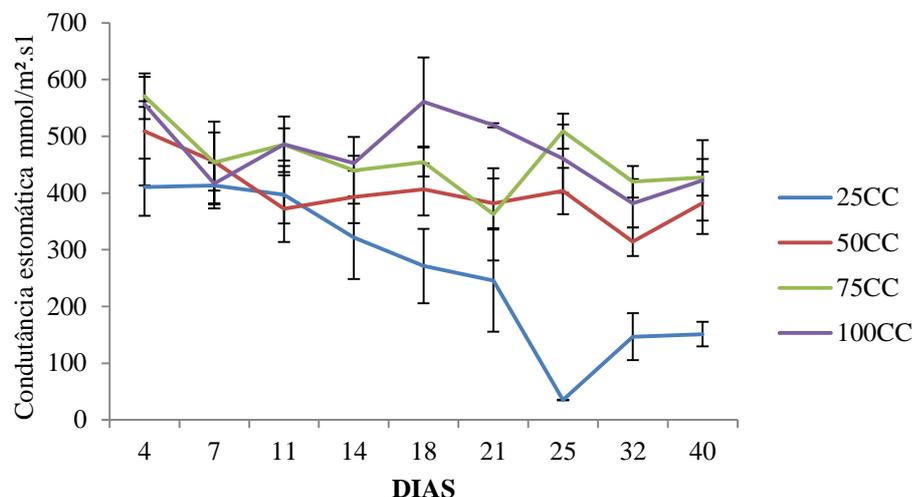


Figura 3. Condutância estomática em plantas jovens de *Khaya senegalensis* com adubação fosfatada submetidas a 25, 50, 75 e 100% da capacidade de campo. A barra corresponde ao erro padrão da média.

As mudas de *Khaya senegalensis* que não receberam adubação fosfatada e foram submetidas a 25% da capacidade de campo (CC) apresentaram aumento no potencial hídrico foliar a partir do 10º dia de indução do estresse (Figura 4). Esses valores diminuem no 18º dia, e voltam a aumentar no dia 25, chegando a atingir -2,32 MPa. Após a reidratação, esse valor torna a baixar, atingindo -0,53 MPa. O mogno africano, submetido a 50% da capacidade campo e sem adubação fosfatada, teve aumento no 10º dia, com queda entre o 18º e 21º dia e, ao final do estresse, atingiu um valor de -1,19 MPa. Esses valores diminuíram ao final da reidratação, alcançando os -0,59 MPa (Figura 4).

Já para as plantas submetidas a 75% da capacidade de campo e sem adubação fosfatada, o potencial hídrico foliar teve aumento a partir do 7º, com queda no 18º dia, atingindo -0,73 MPa ao final do estresse hídrico (Figura 4). Esse valor foi o menor registrado ao final do estresse hídrico, indicando a melhor adaptação ao regime 75CC. Após a reidratação, os valores caem, atingindo os -0,47 MPa.

As plantas de mogno africano não adubadas com fósforo, e mantidas no regime de 100% da capacidade de campo, tiveram pouca oscilação durante o período de

avaliação, tendo queda do potencial hídrico foliar do 7º dia ao 14º dia, quando ocorre uma diminuição até o 21º dia. Esses valores aumentam até o final do estresse, chegando a -1,0 Mpa e após a reidratação o potencial hídrico foliar, teve queda até chegar aos -0,40 MPa (Figura 4).

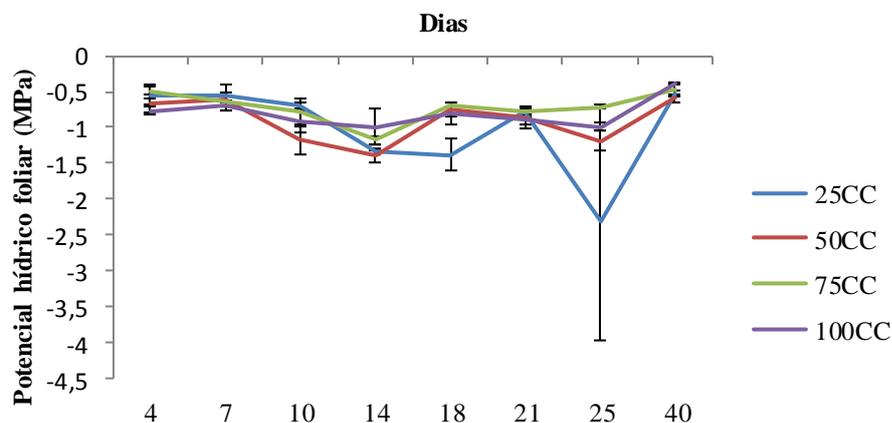


Figura 4. Potencial hídrico foliar nas plantas jovens de *Khaya senegalensis* sem adubação fosfatada, submetidas a 25, 50, 75 e 100% da capacidade de campo. A barra corresponde ao erro padrão da média.

As plantas de *Khaya senegalensis* que receberam adubação fosfatada de 200 kg $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ e foram submetidas a 25% da capacidade de campo (CC), apresentaram aumento no potencial hídrico foliar a partir do 7º dia de indução do estresse. Houve uma pequena queda depois do 14º dia, passando de -1,4 MPa para menos de -0,9 MPa no 21º dia. Aos 25 dias, as mudas ultrapassam os -3,6 Mpa, atingindo os maiores valores de potencial hídrico foliar durante o experimento. Após a reidratação, o regime 25CC consegue normalizar o potencial hídrico foliar, chegando aos -0,76 MPa (Figura 5).

As mudas adubadas com 200 kg $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ e mantidas a 50% da capacidade campo tiveram um aumento no potencial hídrico foliar, chegando a -0,79 MPa aos 25 dias de estresse hídrico. Após o período de reidratação, esse potencial retorna a valores próximos dos -0,59 MPa (Figura 5).

Nas plantas adubadas com 200 kg $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ e mantidas a 75% da capacidade de campo, houve aumento do potencial hídrico foliar até os -0,94 MPa (Figura 5). Depois do período de reidratação, esse potencial atinge -0,48 MPa. A adubação de 200 kg $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ e a manutenção do regime de 100% da capacidade de campo não afetou o

potencial hídrico foliar. Aos 25 dias de estresse, esse regime atingiu -0,64 Mpa e, após mais 15 dias, esses valores oscilaram para -0,58MPa (Figura 5).

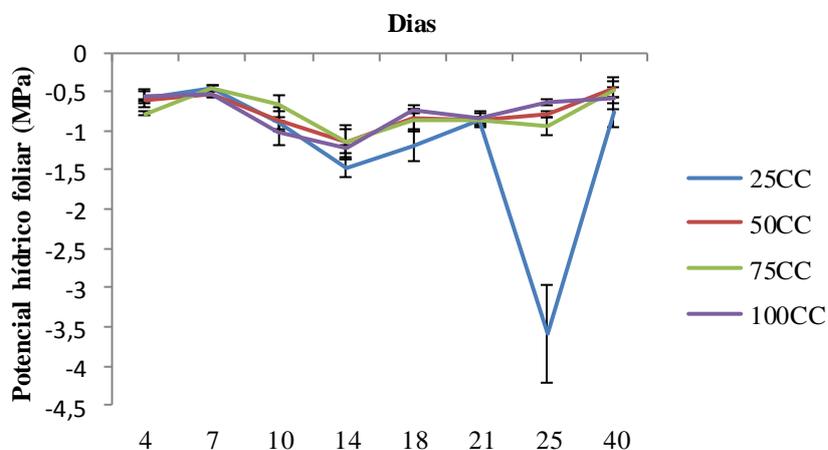


Figura 5. Potencial hídrico foliar nas plantas jovens de *Khaya senegalensis* com adubação fosfatada de 200 kg P₂O₅.ha⁻¹ e submetidas a 25, 50, 75 e 100% da capacidade de campo. A barra corresponde ao erro padrão da média.

A interação entre os regimes hídricos e a adubação fosfatada não foi significativa ($P>0,05$) para a condutância estomática em plantas de *Khaya senegalensis* após 25 dias de estresse hídrico e após os 15 dias de reidratação (40 dias) (Tabela 2). Houve efeito quadrático do regime hídrico ($P<0,05$) para condutância estomática aos 25 dias de estresse hídrico, com condutância estomática máxima obtida de 563 mmol.m⁻².s⁻¹ obtida com 53% de capacidade de campo. Da mesma forma, houve efeito quadrático do regime hídrico ($P<0,05$) após o período de reidratação, sendo a máxima condutância estomática de 464 mmol.m⁻².s⁻¹ obtida com 54% da capacidade campo.

Para as plantas submetidas à reidratação, não houve interação significativa ($P>0,05$) entre fósforo e regime hídrico no potencial hídrico foliar. Houve efeito quadrático do regime hídrico isoladamente ($P<0,05$). O valor máximo de Ψ_{am} foi de -0,79 Mpa em 55% de capacidade de campo. Isso representa a eficiência e as propriedades morfofisiológicas que o mogno possui, sendo capaz de reduzir a perda de água através da transpiração e do crescimento do sistema radicular (MATOS *et. al.*, 2016).

A interação não foi significativa ($P>0,05$) entre adubação fosfatada e regimes hídricos nas plantas de *Khaya senegalensis* para açúcares solúveis totais, após 25 dias de estresse hídrico. No entanto, houve efeito linear crescente ($P<0,05$) do regime

hídrico, contribuindo para o menor acúmulo de AST nas plantas com 25% da capacidade de campo. Essas menores concentrações encontradas no estresse hídrico mais intenso podem indicar a sua utilização para a manutenção da planta nessas condições. Isso pode favorecer sua recuperação pós-estresse. O acúmulo de açúcares solúveis, como a sacarose e seus produtos de hidrólise (glicose e frutose), tem sido extensamente relatado em resposta a deficiência hídrica, contribuindo para o processo de ajustamento osmótico nas plantas (BAJJI *et al.*, 2001; HARE *et al.*, 1998).

Tabela 2. Efeito do regime hídrico e do fósforo sobre a condutância estomática, potencial hídrico foliar, açúcares solúveis totais, açúcares redutores e prolina em folhas de mogno africano aos 25 dias de estresse

Item	kg/ha de P ₂ O ₅						CV%	P		
	0	200	25	50	75	100		P ₂ O ₅	CC	P ₂ O ₅ x CC
Estresse hídrico (25 dias)										
CE ¹	398,5	352,0	36,45	430,7	544,1	489,8	15,3	0,064	<0,001	0,753
POT ²	-1,31	-1,49	-2,96	-0,99	-0,84	-0,82	29,2	0,700	0,012	0,566
AST ³	91,6	96,2	76,60	96,61	91,47	110,55	15,0	0,374	0,003	0,054
AR ⁴	606,1	682,5	558,3	571,0	722,2	725,7	21,1	0,187	0,024	0,413
PRO ⁵	2,19	1,67	6,11	0,56	0,52	0,54	39,1	0,107	<0,001	0,170
Reidratação (40 dias)										
CE ⁶	386,4	345,8	192,3	379,8	466,1	426,2	28,0	0,263	0,001	0,740
POT	-0,50	-0,57	-0,64	-0,53	-0,48	-0,49	36,9	0,362	0,472	0,404
AST	67,8	78,8	62,50	74,40	75,28	81,04	23,2	0,104	0,338	0,513
AR	111,9	115,6	125,5	120,0	116,6	93,17	23,4	0,680	0,072	0,394
PRO	0,66	0,65	0,74	0,65	0,60	0,62	13,3	0,835	0,088	0,313

CV: Coeficiente de variação. R² = Coeficiente de determinação. Equação de regressão:

$$^1\hat{Y}=36,443+17,628x-0,1495x^2(R^2=1);$$

$$^2\hat{Y}=-2,914+0,0776x-0,0007x^2(R^2=0,978);$$

$$^3\hat{Y}=69,636+0,3867x(R^2=0,793);$$

$$^4\hat{Y}=480,95+2,6136x(R^2=0,838);$$

$$^5\hat{Y}=5,9482-2,142x+0,0019x^2(R^2=0,962);$$

$$^6\hat{Y}=189,1+9,0672x-0,0758x^2(R^2=0,991)$$

Na tabela 2 acima, para os açúcares redutores, não houve efeito significativo da interação (P>0,05) entre fósforo e regime hídrico. Houve efeito linear crescente (P<0,05) do regime hídrico na concentração de AR. O baixo acúmulo dos açúcares redutores em 25CC pode ser decorrente da restrição à síntese de proteínas e da hidrólise das reservas de amido, bem como de distúrbios causados pela deficiência de água nos tecidos do floema, reduzindo a sua translocação para outros órgãos (SUBBARAO *et al.*, 2000).

Para a concentração de prolina, não houve efeito significativo da interação ($P>0,05$) entre fósforo e regime hídrico. Houve efeito quadrático do regime hídrico ($P<0,05$) na concentração de prolina ao final do estresse. O valor mínimo encontrado foi de 0,08 mg.g/MF em 56% de capacidade de campo (Tabela 2 acima).

Após o período de reidratação, não houve efeito significativo da interação ($P>0,05$) entre fósforo e regime hídrico para POT, AST, AR, e PRO. O regime hídrico teve efeito quadrático ($P<0,05$) na condutância estomática aos 40 dias. A condutância máxima foi de 460 mmol.m⁻².s⁻¹ em 59% da capacidade de campo (Tabela 2).

Algumas espécies criam condições para tolerar e crescerem em ambientes mais secos e com restrições ou excesso de água no solo. O mogno africano apresentou tolerância ao regime hídrico de até 60% na condutância estomática. Ao considerarmos que em condições de aumento na condutância estomática estará havendo aumento na entrada de CO₂, conseqüentemente haverá maior crescimento, não precisando o solo estar com 100% da capacidade de campo.

Na Tabela 3, pode-se verificar que não houve interação significativa ($P>0,05$) para o teor de clorofila *a*, *b* e clorofilas totais após 15 dias de reidratação. Para o teor de carotenóides, houve efeito da adubação fosfatada ($P<0,05$), que apresentou valores 20% menor que a não adubada. Para razão clorofila *a/b*, houve efeito linear crescente ($P<0,05$) do regime hídrico, e efeito isolado da adubação fosfatada.

Tabela 3. Efeito do regime hídrico e do fósforo sobre os teores de clorofila *a*, clorofila *b*, Clorofilas totais, carotenóides e razão clorofilas *a/b* em folhas de mogno africano aos 25 e 40 dias.

Item	kg/ha de P ₂ O ₅		CC %					P		
	0	200	25	50	75	100	CV%	P ₂ O ₅	CC	P ₂ O ₅ xCC
Estresse hídrico (25 dias)										
CLOA ¹	1,10	1,17	1,21	0,97	1,23	1,13	29,0	0,585	0,526	0,094
CLOB	0,38	0,52	0,46	0,50	0,40	0,44	30,2	0,024	0,599	0,002
CARO ²	0,24	0,21	0,29	0,16	0,27	0,18	42,8	0,549	0,078	0,211
CLOT	1,48	1,69	1,67	1,48	1,63	1,57	26,2	0,236	0,862	0,033
RZA/B ³	3,80	2,47	4,67	2,04	3,12	2,72	28,3	0,309	0,523	0,277
Reidratação (40 dias)										
CLOA ⁴	0,94	0,84	0,96	0,86	0,89	0,83	29,7	0,383	0,848	0,601
CLOB ⁵	0,33	0,39	0,44	0,40	0,32	0,29	28,9	0,129	0,090	0,072
CARO ⁶	0,20	0,15	0,21	0,14	0,18	0,17	24,1	0,005	0,070	0,690
CLOT ⁷	1,26	1,23	1,40	1,25	1,22	1,12	28,9	0,820	0,621	0,376
RZA/B ⁸	2,89	2,23	2,35	2,24	2,77	2,88	15,4	0,009	0,031	0,224

CV: Coeficiente de variação. R^2 = Coeficiente de determinação. Equação de regressão:

$$^1\hat{Y}=Y=1,14$$

$$^2\hat{Y}=Y=0,23$$

$$^3\hat{Y}=Y=3,14$$

$$^4\hat{Y}=Y=0,89$$

$$^5\hat{Y}=Y=0,36$$

$$^6\hat{Y}=Y=0,17$$

$$^7\hat{Y}=Y=1,25$$

$$^8\hat{Y}=2,015+0,216x \text{ (} R^2=0,777 \text{)}$$

Durante o 25º dia de estresse hídrico, houve interação significativa ($P<0,05$) para o teor de clorofilas *b* (Tabela 4), tendo efeito linear decrescente, e acumulando mais clorofila *b*, algo em torno de 0,76 mg/g de matéria fresca no regime de 50%CC. Para o teor de clorofilas totais, houve interação significativa ($P<0,05$) com efeito cúbico para o regime de 50% da capacidade campo (Tabela 4). As plantas jovens de mogno submetidas a 25%, 50, 75 e 100% da capacidade de campo (CC) e cultivadas sem adubação (0) ou com 200 kg de P_2O_5 .ha⁻¹ não tiveram interação significativa ($P>0,05$) até o final de 25 dias de estresse hídrico para a concentração de clorofila *a*, carotenóides e razão clorofila *a/b*.

Tabela 4. Efeito do regime hídrico e do fósforo sobre os teores de clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila totais, carotenóides e razão clorofilas *a/b* em folhas de mogno africano aos 25 dias de estresse.

Kg/ha de P_2O_5	CC				Média
	25	50	75	100	
Clorofila <i>b</i> (mg/g de matéria fresca)					
0 ¹	0,35a	0,24b	0,40a	0,53a	0,38
200 ²	0,57a	0,76a	0,40a	0,34a	0,52
Média	0,46	0,50	0,40	0,44	0,45
CV (%)	30,2				
Clorofilas totais (mg/g de matéria fresca)					
0 ³	1,72a	0,88b	1,67a	1,65a	1,48
200 ⁴	1,62a	2,07a	1,59a	1,49a	1,69
Média	1,67	1,48	1,63	1,57	1,59
CV (%)	26,2				

CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas por letras diferentes diferem na coluna ($P < 0,05$) pelo teste F. R^2 = Coeficiente de determinação. Equação de regressão:

$$^1\hat{Y}=Y=0,38.$$

$$^2\hat{Y}=Y=0,7777+-0,0041x \text{ (} R^2=0,498 \text{)};$$

$$^3\hat{Y}=Y=1,726+0,029x-0,40x^2-0,006x^3, \text{ (} R^2=1 \text{)}.$$

$$^4\hat{Y}=Y=1,69.$$

Não houve interação significativa ($P>0,05$) entre a adubação fosfatada e o regime hídrico para altura, diâmetro, folha vivas, folhas mortas após o período de estresse hídrico (Tabela 5). O regime hídrico teve efeito quadrático ($P<0,05$) para o diâmetro, atingindo o valor máximo de 22,2 mm com uma capacidade de campo de 56%. O regime hídrico também teve efeito quadrático no número de folhas vivas ($P<0,05$), com uma quantidade máxima de 19 folhas vivas em uma capacidade de campo de 49%.

Após a reidratação, não houve interação significativa ($P>0,05$) entre a adubação fosfatada e o regime hídrico para altura, diâmetro, folha vivas e folhas mortas. O regime hídrico teve efeito quadrático ($P<0,05$) no número de folhas mortas, com a queda de 9 folhas em 58% de capacidade de campo.

O mecanismo de recuperação encontrado pelo mogno africano para suprir a queda das folhas velhas foi o crescimento de folhas menores, menos espessas e mais leves. Houve efeito quadrático do regime hídrico na massa seca das folhas de mogno africano, com produção máxima de 4,57g com 55% da capacidade de campo.

Tabela 5. Efeito do regime hídrico e do fósforo sobre a altura, diâmetro, número de folhas vivas, número de folhas mortas, massa fresca de folhas e massa seca de folhas de plantas jovens de mogno africano aos 25 dias de estresse hídrico.

Item	kg/ha de P ₂ O ₅		CC %				CV %	P ₂ O ₅	P	
	0	200	25	50	75	100			CC	P ₂ O ₅ xCC
Estresse hídrico (25 dias)										
ALT	52,1	52,0	45,9	55,6	53,4	53,2	19,5	0,160	0,121	0,331
DIA ¹	20,7	20,5	17,2	22,1	21,3	21,7	9,5	0,766	<0,001	0,530
NFV ²	17,6	17,3	13,2	19,3	19,7	17,8	26,6	0,840	0,014	0,969
NFM	0,5	0,8	0,8	0,3	0,7	0,9	15,2	0,459	0,606	0,933
MFF	12,2	11,1	9,1	13,0	12,5	11,9	25,7	0,172	<0,001	0,041
MSF	3,7	3,3	2,8	3,5	4,0	3,7	29,2	0,174	0,082	0,027
Reidratação (40 dias)										
ALT	54,3	53,9	48,6	59,4	53,8	54,6	19,6	0,907	0,187	0,743
DIÂ	23,3	22,1	21,4	23,5	22,6	23,5	10,1	0,118	0,173	0,707
NFV	15,1	14,5	13,0	16,8	14,2	15,2	26,7	0,634	0,196	0,488
NFM ³	10,9	11,5	17,3	9,0	9,9	8,6	29,7	0,573	<0,001	0,905
MFF	9,8	10,8	9,1	11,9	8,8	11,5	28,2	0,341	0,124	0,147
MSF ⁴	3,1	3,3	2,4	4,0	2,6	3,8	33,7	0,192	0,027	0,153

CV: Coeficiente de variação. R² = Coeficiente de determinação. Equação de regressão:

$$^1\hat{Y}=17,46+0,1697x-0,0015x^2(R^2=0,880);$$

$$^2\hat{Y}=13,288+0,2686x-0,0027x^2(R^2=0,990);$$

$$^3\hat{Y}=16,938-0,2864x+0,0023x^2(R^2=0,911)$$

$${}^4\hat{Y} = Y = 2,6165 + 0,0239x - 0,0001x^2 \quad (R^2 = 0,278)$$

Houve interação significativa ($P < 0,05$) entre adubação fosfatada e regimes hídricos com efeito linear nas plantas não adubadas, e com efeito cúbico para massa fresca de folhas adubadas com fósforo, e houve interação significativa ($P < 0,05$) entre adubação fosfatada e regimes hídricos, com efeito linear para massa seca de folhas mantidas sem adubação (Tabela 6).

Tabela 6. Efeito do regime hídrico e do fósforo sobre a massa fresca e seca das folhas de mogno africano aos 25 dias de estresse:

Kg/ha de P	CC				Média
	25	50	75	100	
Massa fresca das folhas (g)					
0 ¹	11,4a	14,5a	11,9b	10,9a	12,2
200 ²	6,9a	11,6a	13,0a	12,9a	11,1
Média	9,1	13,0	12,5	11,9	11,6
CV (%)	25,7				
Massa seca de folhas(g)					
0 ³	2,4a	3,4a	4,9a	4,2a	3,7
200 ⁴	3,2a	3,7a	3,0b	3,2a	3,3
Média	2,8	3,5	4,0	3,7	3,5
CV (%)	29,2				

CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas por letras diferentes diferem na coluna ($P < 0,05$) pelo teste F. R^2 = Coeficiente de determinação. Equação de regressão:

$${}^1\hat{Y} = 12,7 - 0,0135x \quad (R^2 = 0,807)$$

$${}^2\hat{Y} = 7,666 + 2,806x + 0,055x^2 - 0,163x^3 \quad (R^2 = 1);$$

$${}^3\hat{Y} = Y = 2,701 + 0,0256x \quad (R^2 = 0,642)$$

$${}^4\hat{Y} = Y = 3,32$$

O desenvolvimento da deficiência hídrica geralmente dá-se de maneira gradual, enquanto, em ensaios de plantas em vasos, a imposição do déficit geralmente é muito rápida em razão do espaço radicular restrito. Em razão disso, alguns mecanismos adaptativos, como o acúmulo de substâncias osmoticamente ativas nas células e posterior abaixamento do potencial osmótico, ou não, ocorrem ou se manifestam com menor intensidade (CARVALHO, 2005).

O acúmulo de carboidratos é o principal mecanismo utilizado pelas plantas para sustentar seu desenvolvimento e promover a manutenção de seu metabolismo durante períodos de estresse (FAUST, 1989). De qualquer forma, esse acúmulo varia com as

espécies e ele pode ser proveniente da hidrólise do amido, podendo ser utilizado tanto para a manutenção da planta, quanto para o ajuste osmótico.

As exigências nutricionais das espécies florestais são de grande importância, pois é imprescindível no crescimento e na distribuição de biomassa. (Souza *et. al.*, 2010). Além disso, o conhecimento das exigências nutricionais em espécies florestais permite a identificação e correção de deficiências que podem ocorrer em exemplares plantados em diferentes substratos degradados, possibilitando, dessa maneira, intervenções corretas, sem desperdícios e de menor impacto ambiental.

A omissão de fósforo limita o crescimento em altura, diâmetro e a produção de matéria seca da parte aérea, raiz e total das mudas de mogno (SOUZA *et. al.*, 2010). No entanto, o mesmo não demanda altas doses de potássio, aumentando sua eficiência no uso de água sob condições de estresse hídrico (PEREZ *et. al.*, 2016)

Santos *et. al.*, (2008) conseguiram ajustar os dados da adubação fosfatada em mogno brasileiro e, com modelos de regressão, conseguiram uma resposta linearmente positiva às características de crescimento que foram avaliadas. Em Quaruba (*Vochysia maxima*), o fósforo também foi considerado um elemento limitante para o desenvolvimento inicial das mudas (CHU *et. al.*, 2004).

Plantas sob deficiência hídrica moderada frequentemente apresentam um aumento na eficiência do uso da água, uma vez que uma redução apenas parcial da abertura estomática limita mais fortemente a transpiração do que a entrada de CO² (CHAVES *et al.*, 2002; KRON *et al.*, 2008).

A queda na condutância estomática nas mudas de *Khaya senegalensis* pode ser atribuída à diminuição do potencial hídrico da folha ou ao efeito combinado de ambos os fatores, sem excluir o efeito da irradiância. Para Albuquerque *et. al.*, (2013), o mogno africano (*Khaya ivorensis*) controla eficientemente a perda de água via transpiração, regulando a abertura estomática. Isso também foi observado em plantas jovens de mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla*) (CORDEIRO *et al.*, 2009) e Andiroba (*Carapa guianensis*) (GONÇALVES *et al.*, 2009), ambas da mesma família botânica que *Khaya senegalensis* (Meliaceae).

Para Dias & Marengo (2007), uma hora de exposição à alta temperatura (38°C) e alta irradiância, causa diminuição na taxa de assimilação de carbono, sobretudo em mogno, em parte, em razão da diminuição da condutância estomática. A queda na fotossíntese nos horários de meio dia está associada à variação dos valores de

condutância estomática encontrada em *Carapa guianensis* durante o dia. A deficiência de P e a baixa irradiância, podem afetar intensa e negativamente a fotossíntese, o acúmulo de biomassa e o crescimento inicial, como em plantas jovens de Pau de balsa (*Ochroma pyramidale*) (CUNHA *et al.*, 2016).

Em condições de restrição hídrica, a absorção de fósforo que é dependente da disponibilidade de água no solo é afetada e, nesse momento, podem ocorrer déficits de fósforo no tecido das plantas, sendo necessária a manutenção de um estoque do nutriente no vacúolo das mesmas para manutenção das taxas fotossintéticas. O fluxo de água nas plantas é mediado por proteínas intrínsecas das membranas plasmáticas denominadas aquaporinas (SILVA, *et al.*, 2010). A atividade dessas proteínas, responsáveis pelo aumento e redução da resistência ao fluxo da água na planta, regula a absorção de água do solo e também a condutância hidráulica da planta (KRAMER & BOYER, 1995). Considerando-se que as aquaporinas precisam ser fosforiladas para ficarem ativas, espera-se que, em condições de melhor nutrição de fósforo na planta, a atividade das aquaporinas seja acentuada (SILVA, *et al.*, 2010).

As plantas adubadas com fósforo apresentaram as menores taxas médias de condutância estomática ao final do período de estresse hídrico, comprovando a correlação existente entre a adubação fosfatada e a maior ativação das aquaporinas em *Khaya senegalensis*.

Verificou-se que houve resposta linear e positiva em função das doses crescentes de fósforo, constatando-se que o incremento em crescimento da parte aérea, bem como a produção de biomassa, acompanhou o aumento na absorção. Isso sugere que as plantas de mogno possuam eficiência de utilização do fósforo.

Pode-se afirmar que o déficit hídrico induziu o surgimento do mecanismo de osmorregulação no mogno. Em se tratando de espécie perene, esse fato é de grande importância como mecanismo de tolerância a períodos de deficiência hídrica que, frequentemente, ocorrem no campo, pois, além da sobrevivência, a maior capacidade de adaptação dessa espécie favorece o crescimento e formação de biomassa nas épocas secas.

O mogno africano, adubado com fósforo, teve um incremento em crescimento da parte aérea, bem como na produção de biomassa. As plantas jovens de mogno tiveram eficiência na utilização da adubação fosfatada.

Conclusão

A relação entre o potencial hídrico e a adubação fosfatada mostrou que o fósforo foi importante para a recuperação do status hídrico inicial. A adubação fosfatada induziu uma resistência no mogno, quando submetidos a 25% da capacidade de campo, por isso seus valores foram maiores aos 25 dias e após a reidratação. A presença do fósforo contribuiu para que os demais regimes hídricos tivessem pouca variação nos valores de potencial hídrico foliar.

Referências

ALBUQUERQUE, M.P.F.; MORAES, F.K.C.; SANTOS, R.I.N.; CASTRO, G.L.S.; RAMOS, M.L.S.E.; PINHEIRO, H.A. Ecofisiologia de plantas jovens de mogno-africano submetidas à deficit hídrico e reidratação. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.48, n.1, p.9-16, 2013.

ALVAREZ V.H.; RIBEIRO, A.C. Calagem. In: Comissão de fertilidade do solo do estado de minas gerais (CFSMG). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**, 5ª aproximação, Viçosa, p.41-60. 1999.

ARNOLD, R. J. *Khaya senegalensis* – current use from its natural range and its potential in Sri Lanka and elsewhere in Asia, In: Workshop: Prospects for high-value hardwood timber plantations in the 'dry' tropics of northern Australia, Mareeba, Queensland, 19-21 October, 2004.

AWOHOUEDJIA, D.Y.G.; BABATOUNDEC, S.; ADOUNKPEB, J. G.; HOUINATO, M.; HOUNZANGBE-ADOTE, S. Supplementing *Panicum maximum* with two medicinal forages in the diet of Djallonke sheep at the Benin national sheep center. **Science Journal Animal Science**, v.2, n.11, p.285–295, 2013.

BAJJI, M.; LUTTS, S.; KINET, J.M. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. **Plant Science**, v.160, n.4, p.669–681, 2001.

BATES, L.S. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v.39, n.1, p.205-207, 1973.

CARVALHO, C. J. R. Respostas de plantas de *Schizolobium amazonicum* [*S. parahyba* var. *amazonicum*] E *Schizolobium parahyba* [*Schizolobium parahybum*] à deficiência hídrica. **Árvore**, v.29, n.6, p.907-914, 2005

CHAVES, M. M. How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. **Annals of Botany**, v.89, n.7, p.907-916, 2002.

CHU, E.Y.; YARED, J.A.G., MAKI, H.J.I. O. Efeitos da inoculação micorrízica e da adubação fosfatada em Mudas de *Vochysia maxima* Ducke. **Revista Árvore**, v.28, n.2, p.157-165, 2004.

CORDEIRO, Y.E.M.; PINHEIRO, H.A.; SANTOS FILHO, B.G.; CORRÊA, S.S.; DIAS FILHO, M.B. Physiological and morphological responses of young mahogany (*Swietenia macrophylla* King) plants to drought. **Forest Ecology and Management**, v.258, n.7, p.1449-1455, 2009.

COSTA, G.F.; MARENCO, R.A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazonica**, v. 37, n.2, p. 229-234, 2007.

CUNHA, H.F.V.; GONÇALVES, J.F.C.; JUNIOR, U.M.S.; FERREIRA, M.J.; PEIXOTO, P.H.P. Biomass, gas exchange and nutritional aspects of young plants of Balsa Wood (*Ochroma pyramidale*) subjected to phosphorus fertilization in contrasting irradiance environments. **Scientia Forestalis**, v.44, n.109, p.215-230, 2016.

DANTHU, D.P.; DIAITÉ-SANOOGO, D.; SAGNA, M.; SAGNA, P.; DIA-GASSAMA, Y.K. Micropropagation of *Khaya senegalensis*, an African mahogany from dry tropical zones. **Journal of Tropical Forest Science**, v.15, p.164-175, 2003.

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

DISCHE, Z. General color reactions. In: WHISTLER, R.L.; WOLFRAM, M.L. **Carbohydrate chemistry**. New York: Academic Press, p.477-520, 1962.

FAUST, M. **Physiology of temperate zone fruit trees**. New York: John Wiley & Sons, 1989. 338p.

FERNANDES, A.R.; PAIVA, H.N.; CARVALHO, J.G.; MIRANDA, J.R. P. Crescimento e absorção de nutrientes por mudas de freijó (*Cordia goeldiana*) em função de doses de fósforo e de zinco. **Revista Árvore**, v.31, n.4, p.599-608, 2007.

FRANÇA, T.S.F.A.; ARANTES, M.D.C.; PAES, J.B.; VIDAURRE, G.B.; OLIVEIRA, J.T.S.; BARAÚNA, E.E.P. Características anatômicas e propriedades físico-mecânicas das madeiras de duas espécies de mogno africano. **Cerne**, v.21, n.4, p. 633-640, 2016.

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**, v.44, n.1, p.9-14, 2009.

HARE, P.D.; CRESS, W.A.; VAN STANDEN, J. Proline synthesis and degradation: a model for elucidating stress related signal transduction. **Journal of Experimental Botany**, v.50, p.413-434, 1999.

HISCOX, J.D.; ISRAELSTAM, G. F. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. **Canadian Journal of Botany**, v.57, n.12, p.1332-1334, 1979.

HOLFORD, L.C.R. Soil phosphorus: its measurement and, its uptake by plants. **Australian Journal of Soil Research**, v.35, p.227-239, 1997.

KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. **Water relations of plants and soils**. San Diego, 1995. 495p.

KRON, A.P.; SOUZA, G.M.; RIBEIRO, R. Water deficiency at different developmental stages of *Glycine max* can improve drought tolerance. **Bragantia**, v.67, p.43-49, 2008.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MATOS, F.S.; SILVEIRA, P.S.; MATTOS BARRETTO, V.C.; FREITAS, I.A.S.; ARAUJO, M.S.; CALIXTO JUNIOR, J.E.D.; RIOS, J.M. Growth of *Khaya senegalensis* plant under water deficit **African Journal of Agricultural Research**, v.11, n.18, p.1623-1628, 2016.

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

MILLER, G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, v.31, n.3, p.426-428, 1959.

NIKIEMA, A.; PASTERNAK, D. *Khaya senegalensis* (Desr.) A.Juss. In: LOUPPE, D.; OTENG-AMOAKO, A.A.; BRINK, M. (Editors). **PROTA (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale)**, Wageningen, Netherlands. 2008. Acesso em 22 Março de 2017.

PEREZ, B.A.P.; VALERI, S.V.; CRUZ, M.C.P.; VASCONCELOS, R.T. Potassium doses for African mahogany plants growth under two hydric conditions. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, p.1973-1979, 2016.

SANTOS, J.Z.L.; RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A.E.; CORTE, E. F. Crescimento, acúmulo de fósforo e frações fosfatadas em mudas de sete espécies arbóreas nativas. **Revista Árvore**, v.32, n.5, p.799-807, 2008.

SCHOLANDER, P.F.; HAMMEL, H.T.; BRASDTREET, E.D.; HEMMINGSEN, E.A. Sap pressure in vascular plants. **Science**, v.148, n.3668, p.339-346, 1965.

SCHUMACHER, M.V.; CECONI, D.E.; SANTANA, C.A. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento de mudas de angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida* (Bentham) Brenan). **Revista Árvore**, v.28, n.1, p.149-155. 2004.

SILVA, L.; MARCHIORI, P.E.R.; MACIEL, C.P.; MACHADO, E.C.; RIBEIRO, E.V. Fotossíntese, relações hídricas e crescimento de cafeeiros jovens em relação à disponibilidade de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.965-972, 2010.

SOUZA, C.A.S.; TUCCI, C.A.F.; SILVA, J.F.; RIBEIRO, W.O.; Exigências nutricionais e crescimento de plantas de mogno (*Swietenia macrophylla* King.) **Acta amazonica**, v.40, p.515-522, 2010.

SOUZA, N.H.; MARCHETTI, M.E.; CARNEVALI, T.O.; RAMOS, D.D.; SCALON, S.P.Q.; SILVA, E.F. Estudo nutricional da canafístula: eficiência nutricional em função da adubação com nitrogênio e fósforo. **Revista Árvore**, v.36, n.5, p.803-812, 2012.

SUBBARAO, G.V. Osmotic adjustment, water relations and carbohydrate remobilization in pigeonpea under water stress. **Journal of Plant Physiology**, v.157, n.6, p.651-659, 2000.

VASCONCELOS, R.T.; VALERI, S.V.; MARTINS, A.B.G.; BIAGIOTTI, G.; PEREZ, B.A.P. Rooting of African mahogany (*Khaya senegalensis* A. Juss.) leafy stem cuttings

under different concentrations of indole-3-butyric acid. **African journal of agricultural research**, v.11, n.23, p.2050-2057, 2016.

WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of Plant Physiology**, v. 144, n.3, p. 307-313, 1994.

V – CAPÍTULO III

EFEITO DO SOMBREAMENTO SOBRE CARACTERÍSTICAS DO CAPIM MARANDÚ ADUBADO OU NÃO COM NITROGÊNIO

RESUMO: A arborização de pastagens com forrageiras de alta produtividade é uma opção para que os sistemas silvipastoris sejam mais eficientes de forma econômica, ambiental e social. Esses ganhos representados pelos sistemas silvipastoris decorrem da pesquisa envolvendo o crescimento de espécies forrageiras e suas adaptações ao ambiente com baixa incidência de luz solar. Além do ganho representado pelo conforto térmico, a recuperação de áreas degradadas e fontes alternativas de forragem num cenário de mudanças climáticas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do sombreamento sobre características fisiológicas, produtivas e estruturais da *Brachiaria brizantha* cv. Marandú adubada ou não com nitrogênio. O presente estudo foi conduzido no Setor de Forragicultura e Pastagem da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, BA. Foram avaliados os efeitos do sombreamento artificial de (0, 30, 50 e 80%) e de duas doses de nitrogênio (0, 150 kg.ha⁻¹ de N) no índice de área foliar, na área foliar específica, razão de peso foliar, razão de área foliar, taxa de crescimento absoluto da folha e do caule, condutância estomática, teores de clorofila *a*, *b* e totais, produção de biomassa e características estruturais da *Brachiaria brizantha* cv. Marandú, cultivadas em vasos com capacidade para 10 kg de substrato. Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x2, com cinco repetições em três ciclos de 28 dias. Houve significância entre a adubação nitrogenada e os níveis de sombreamento para o índice de área foliar, a razão de peso foliar; a razão de área foliar; a taxa de crescimento absoluto da folha e do caule; razão clorofila *a/b*; massa seca total; massa seca da folha; massa seca do caule; massa seca das folhas e caules; massa seca de raiz; volume de raiz; taxa de aparecimento foliar; filocrono; taxa de alongamento do caule; número de perfilhos vivos; comprimento final da folha e altura. Houve respostas positivas no nível de 30% de sombreamento. Já os sombreamentos de 50 e 80%, incrementaram apenas as taxas de alongamento foliar e de alongamento do caule. As respostas dessas características morfogênicas agiram diretamente sobre os atributos estruturais como: comprimento final da folha, número de perfilhos secundários e altura final. A *Brachiaria brizantha* cv. Marandú demonstrou plasticidade fenotípica, em resposta a oferta de radiação solar a que foi submetida e a adubação nitrogenada respondendo positivamente a essas condições.

Palavras-chave: adubação nitrogenada, *Brachiaria brizantha* cv. marandú, características de produção e estruturais, fisiologia vegetal, luminosidade

V - CHAPTER III

EFFECT OF SHADING ON THE DEVELOPMENT OF MARANDU CAPIM SUBMITTED TO DIFFERENT DOSES OF NITROGEN

ABSTRACT: Afforestation of high productivity forage pastures is an option for silvopastoral systems to be more economically, environmentally and socially efficient. These gains represented by the silvopastoral systems result from the research involving the growth of forage species and their adaptation to the environment with low incidence of sunlight. In addition to the gain represented by thermal comfort, the recovery of degraded areas and alternative fodder sources in a climate change scenario. The objective of this work was to evaluate the effect of shading on the physiological, productive and structural characteristics of *Brachiaria brizantha* cv. Marandú fertilized or not with nitrogen. The present study was conducted in the Forage and Pasture Sector of the State University of the Southwest of Bahia, Itapetinga, BA. The effects of artificial shading (0, 30, 50 and 80%) and two nitrogen doses (0, 150 kg.ha⁻¹ of N) on leaf area index, leaf area, weight ratio foliar area ratio, leaf and stem absolute growth rate, stomatal conductance, total chlorophyll a, total be, biomass production and structural characteristics of *Brachiaria brizantha* cv. Marandú cultivated in pots with capacity for 10 kg of substrate. The design was completely randomized, in a 4x2 factorial scheme with five replications in three 28-day cycles. There was significance between nitrogen fertilization and shade levels for leaf area index, leaf weight ratio; the leaf area ratio; the absolute growth rate of leaf and stem; chlorophyll a / b ratio; total dry mass; dry leaf mass; dry stem mass; dry mass of leaves and stems; root dry mass; root volume; leaf appearance rate; phyllochron; stem elongation rate; number of live tillers; final leaf length and height. There were positive responses at the 30% level of shading. The shades of 50 and 80% increased only the rates of leaf elongation and stem elongation. The responses of these morphogenic characteristics acted directly on the structural attributes such as: final leaf length, number of secondary tillers and final height. The *Brachiaria brizantha* cv. marandú, demonstrated phenotypic plasticity, in response to the solar radiation supply to which it was submitted and nitrogen fertilization responding positively to these conditions.

Keywords: nitrogen fertilization, *Brachiaria brizantha* cv. marandú, production and structural characteristics, vegetal physiology, luminosity

Introdução

O interesse pelo estudo de estabelecimento de forrageiras à sombra tem crescido, principalmente, quando a intenção é para associar espécies forrageiras e árvores para formação de novos sistemas silvipastoris. O metabolismo fotossintético do gênero *Brachiaria* é de plantas C4, e só atingem as taxas máximas de fotossíntese sob elevadas intensidades de radiação solar. Isso indica que o sombreamento pode interferir diretamente na produtividade dessas espécies. No Brasil, um dos capins mais cultivados é a braquiária, que é a mais usada para utilização em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), por sua resistência a concorrência com espécies agrícolas e sua boa adaptação ao sub-bosque de árvores (PACIULLO et al. 2007).

Já a adubação nitrogenada pode favorecer o estabelecimento e o consórcio entre espécies, competindo pela luz e pelos nutrientes disponíveis no solo, pois o nitrogênio se apresenta como elemento essencial para o estabelecimento das pastagens. Já o sombreamento das áreas de pastagem podem recuperar áreas de pastagens degradadas (Carvalho, 1998; Dias-Filho, 1998). No Brasil, o manejo desse sistema integrando espécies com potencial silvipastoril aparece como elemento essencial para aumentar a produtividade e desenvolvimento de condições para a sustentabilidade nas áreas ocupadas com pecuária a pasto, a fim de implantar sistemas silvipastoris.

Essas respostas podem indicar a capacidade de aclimatação dessa cultivar, para uma condição ambiental específica e para identificar traços de plantas potencialmente importantes para uma competição bem sucedida sob reduzidos níveis de luz. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do sombreamento sobre características fisiológicas, produtivas e estruturais da *Brachiaria brizantha* cv. Marandú adubada ou não com nitrogênio.

Material e Métodos

O experimento foi realizado em casa de vegetação, localizada na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – Campus Juvino Oliveira, situada nas seguintes coordenadas: 15°38'46" de latitude sul, 40°15'24" de longitude oeste e altitude média de 280 m, no município de Itapetinga, BA.

O ensaio foi conduzido em um esquema fatorial 4x2, sendo quatro níveis de sombreamento (0%, 30%, 50%, 80%) e duas doses de nitrogênio (0 e 150 kg N.ha⁻¹), distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições, totalizando 40 vasos plásticos com capacidade para 10 dm³ e um período experimental de 84 dias, dividido em 3 cortes cada um, a cada 28 dias.

O solo utilizado no experimento foi coletado na Fazenda Bela Vista, localizada no município de Encruzilhada/BA, sendo classificado como latossolo vermelho amarelo, com textura franco argilo-arenosa, coletado a profundidade de 0-20 cm, seco ao ar e passado em peneira com porosidade de 5 mm. Posteriormente, foi retirada uma subamostra homogeneizada do solo e encaminhada para o Departamento de Engenharia Agrícola e Solos da UESB, para a realização de análises químicas, conforme os resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Análise química do solo

pH	*mg/dm ³	*cmol _c /dm ³ de solo.....										%	g/dm ³
(H ₂ O)	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺	Na ⁺	S.B ¹	t ²	T ³	V ⁴	m ⁵	M.O. ⁶
5,1	2	0,30	1,7	1,3	0,4	4,3	-	3,3	3,7	8,0	41	11	25

¹Soma de bases. ²CTC efetiva. ³CTC pH 7. ⁴Saturação por bases. ⁵Saturação por Al³⁺. ⁶Matéria orgânica.
Fonte: Laboratório de solos da UESB.

Considerando os resultados da análise de solo e seguindo as recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (Alvarez & Ribeiro, 1999), onde foi adotado o nível médio tecnológico, houve a necessidade de realizar a calagem, considerando a baixa relação cálcio/magnésio e, para elevar a saturação de bases para 50, foi aplicado o calcário calcítico na quantidade de 4,8 g por vaso, incorporado ao solo 30 dias antes do transplântio das mudas.

A adubação fosfatada considerou os baixos valores encontrados na análise química e realizada no momento do plantio, com aplicação de 90 kg P₂O₅.ha⁻¹, que equivaleu a 1,3 g de superfosfato triplo por vaso. A adubação nitrogenada foi realizada

de forma parcelada em três vezes, em um total de 150 kg N.ha^{-1} , que foi correspondente a aplicação de 1,8 g de ureia por vaso.

Para determinação da capacidade de campo, os vasos com solo seco foram pesados, sendo encharcados e pesados novamente. Pela diferença de peso seco e molhado, foi determinada a máxima capacidade de retenção de água, a qual foi em torno de 18%. A umidade do solo nos vasos foi mantida através da manutenção da capacidade de campo, durante todo período experimental. A capacidade de campo foi mantida próxima aos 100%CC, com reabastecimento e pesagem dos baldes a cada 2 dias.

A semeadura foi realizada em caixa de areia, usando sementes de *Brachiaria brizantha* cv. Marandú vendidas comercialmente. Após a germinação, foram transplantadas com aproximadamente 10 cm de altura, e após 15 dias de transplante, foram desbastadas para quatro mudas por vaso. Foram realizadas três coletas de material vegetativo, com corte a 10 cm de altura simulando um pastejo intensivo na gramínea. O 3º corte foi realizado no último dia do experimento, com o desmanche dos baldes e coleta de raízes.

As temperaturas mínimas, máximas e médias foram aferidas durante o período experimental, que compreendeu a da data de 16 de agosto a 07 de novembro de 2016, totalizando 84 dias (Figura 1).

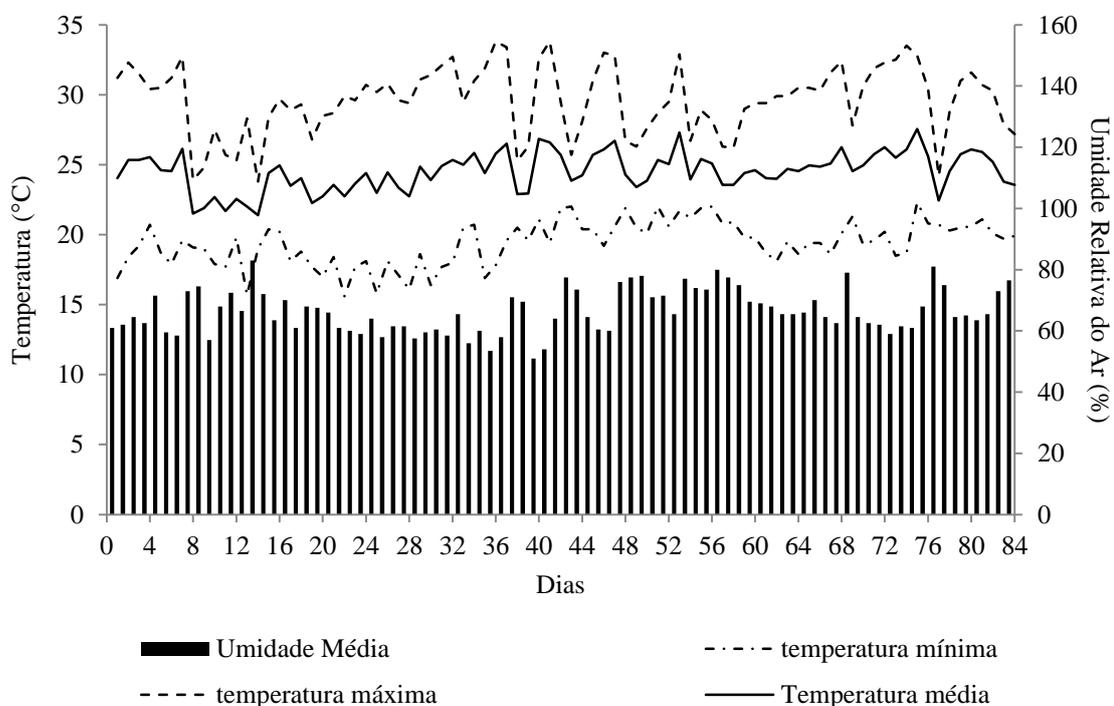


Figura 1. Temperaturas e umidades máxima, mínima e média durante o período experimental ago./nov. de 2016.

No sombreamento artificial foi utilizado sombrite de polietileno com 30, 50 e 80% de cobertura, seguindo as recomendações do fabricante. O sentido de posição das telas de náilon foi leste-oeste. As medidas da interceptação da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) pelo dossel de capim marandú foram realizadas com utilização de um ceptômetro (Accupar LP-80). Para determinar os valores de RFA, foram capturados valores em cinco pontos amostrais, por meio de leituras da irradiância fotossintética incidente sobre o dossel acima do capim e interceptada abaixo do capim no intervalo de sete dias, sempre feito em dias ensolarados no horário das 11:00 às 13:00 horas. Com base nessas leituras, foram obtidas a RFA abaixo do sombrite e acima do dossel. As médias de medições correspondentes aos níveis de 0, 30, 50 e 80% foram: 1218,2; 878; 415,7 e 334,9 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ respectivamente.

Foram marcados, em cada unidade experimental, três perfilhos com fios coloridos, para a realização da mensuração do aparecimento do ápice, do comprimento das lâminas foliares em expansão e expandidas, comprimento do caule, contagem do número de folhas senescentes, contagem do número de folhas vivas e das ramificações secundárias da planta. Essas mensurações permitiram que fossem realizados os seguintes cálculos:

- Taxa de aparecimento de folhas (TApF, folhas/perfilho/dia ou folhas/ramificação/dia): número de folhas surgidas por perfilho/ramificação, dividido pelo número de dias do período de avaliação;
- Filocrono (dias/folha/perfilho ou dias/folha/ramificação): inverso matemático da taxa de aparecimento de folhas;
- Taxa de alongamento de folha e de colmo (TAIF, cm/dia/perfilho) ou TAIC, cm/dia/perfilho): somatório do alongamento das lâminas foliares e colmos do perfilho, respectivamente, dividido pelo número de dias do período de avaliação;
- Número de folhas vivas (NFV, folhas/perfilho ou folhas/ramificação): número de folhas em expansão e expandidas, descontando-se as folhas senescentes de cada perfilho/ramificação;
- Comprimento final da folha (CFF, cm): comprimento médio das lâminas foliares completamente expandidas medido do ápice foliar até a lígula;
- Largura final da folha (LFF, cm): largura média das lâminas foliares completamente expandidas medidas no meio da folha em comprimento;

- Número de perfilhos secundários (NPS, em perfilho/planta): número de brotações/perfilhos aéreos por planta.

Antes de cada corte, mediram-se a altura de planta, largura da folha, aparecimento de ápice foliar. Após o corte, realizou-se a área foliar scaneada de cada vaso; em seguida as plantas foram separadas em lâmina, colmo + bainha e material morto para determinação da produção de massa seca. Para produção de massa seca total, calcularam-se a produção média em cada um dos cortes e a produção total. No último corte, avaliou-se a massa seca de raízes. Foram calculadas a massa seca total, a massa seca das folhas (MSF), a massa seca do caule (MSC), a massa seca de raiz (MSR) e a massa seca de folhas e caule (MSFC). Foi determinado o volume de raiz (mL), com uso de proveta volumétrica, e a massa seca de raiz, folhas e caules por vaso, por meio de secagem em estufa a 65°C por 72 horas.

A determinação do índice de área foliar (IAF) foi através do escaneamento de todo material vegetal e calculados com auxílio do software IMAGE J. Foram realizadas, também, análises de crescimento, verificando-se a Taxa de Crescimento Absoluto (TCA) na folha e no caule, Razão de Área Foliar (RAF), Razão de Peso Foliar (RPF) e Área Foliar Específica (AFE).

A determinação da concentração de clorofila foi efetuada pelo método da acetona, com as lâminas de folhas completamente expandidas em cada vaso, os quais foram acondicionados em papel alumínio e mantidos em caixa térmica com gelo. Em seguida, as amostras foram retiradas e pesadas na faixa das 200 ug e maceradas, com a adição de 15 mL de acetona 80%. Transferiu-se o líquido filtrado em algodão para tubos de ensaio e realizou-se a leitura de absorbância, que foi realizada no espectrofotômetro, nos comprimentos de onda de 663 e 645 nm e a quantidade total de clorofila foi determinada segundo metodologia de Arnon (1949).

A condutância estomática foi obtida através da utilização de porômetro foliar modelo: Decagon Devices SC-1 coletada às 09:00 horas da manhã, a cada 7 dias de intervalo.

Os resultados foram submetidos à análise de variância, considerando, como fontes de variação, as doses de nitrogênio (0 e 150 kg.ha⁻¹), os níveis de sombreamento (0, 30, 50 e 80 %) e a interação sombreamento e dose de nitrogênio. A interação foi desdobrada, ou não, de acordo com a significância. O efeito do nitrogênio foi estudado por meio do teste F e o efeito do sombreamento, por meio da decomposição ortogonal

da respectiva soma de quadrados em efeito linear, quadrático e cúbico. Adotou-se $\alpha = 0,05$.

Resultados e Discussão

Não houve interação significativa ($P>0,05$) para a condutância estomática (CE) aos 28, 56 e 84 dias de crescimento (Tabela 2). Houve efeito isolado do nitrogênio ($P<0,05$) com efeito linear decrescente na CE. Não houve interação significativa para área foliar específica (AFE) ($P>0,05$) nem efeito isolado nitrogênio e do sombreamento aos 56 e 84 dias.

Tabela 2. Condutância estomática (CE) ($\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), área foliar específica (cm^2/g), razão de peso foliar (RPF)(cm^2/g), razão de área foliar (RAF) (cm^2/g) e índice de área foliar (IAF) em capim marandú, em função do sombreamento (0, 30, 50 e 80%) e da adubação nitrogenada no período de 28, 56 e 84 dias

	kg/ha de N		Sombreamento (%)				CV%	P		
	0	150	0	30	50	80		N	SO	NxSO
28 Dias										
CE¹	167,3	167,8	252,0	187,1	123,6	107,6	27,2	0,986	0,003	0,613
IAF	7,6	11,4	10,9	11,9	9,0	6,3	20,9	<0,001	<0,001	<0,001
AFE	711,8	588,6	553,9	665,4	688,6	692,8	15,8	0,001	0,017	0,007
RPF	0,69	0,70	0,80	0,67	0,64	0,67	5,2	0,125	<0,001	0,007
RAF	475,1	412,2	440,7	445,9	434,4	453,7	15,1	0,011	0,964	0,006
TCF	0,29	0,49	0,51	0,45	0,35	0,24	17,6	<0,001	<0,001	<0,001
TCC	0,14	0,20	0,14	0,22	0,19	0,12	23,8	<0,001	<0,001	<0,001
56 Dias										
CE²	147,4	150,7	221,2	140,7	125,1	109,3	29,0	0,879	0,009	0,072
IAF	2,29	7,61	6,27	6,00	5,47	2,05	54,2	<0,001	0,004	0,002
AFE³	549,7	671,3	483,0	547,2	697,0	714,9	63,2	0,240	0,372	0,206
RPF⁴	0,89	0,82	0,97	0,84	0,81	0,81	10,0	0,002	0,001	0,278
RAF⁵	504,9	553,5	465,7	455,5	593,0	602,5	60,6	0,653	0,631	0,386
TCF	0,11	0,29	0,28	0,27	0,18	0,07	25,0	<0,001	<0,001	<0,001
TCA	0,12	0,33	0,08	0,32	0,34	0,14	30,2	<0,001	<0,001	<0,001
84 Dias										
CE⁶	176,5	165,7	235,7	197,3	130,9	120,6	27,5	0,139	0,004	0,598
IAF⁷	1,15	2,51	1,91	2,22	1,96	1,21	81,3	0,009	0,496	0,587
AFE⁸	196,7	306,0	175,9	293,3	298,5	237,6	77,7	0,064	0,382	0,436
RPF⁹	0,43	0,44	0,38	0,40	0,42	0,53	22,2	0,692	0,010	0,661
RAF¹⁰	87,8	138,2	67,7	119,7	137,0	127,5	85,3	0,090	0,348	0,341
TCF	0,29	0,49	0,51	0,45	0,35	0,24	22,9	<0,001	<0,001	<0,001
TCA	0,21	0,32	0,45	0,30	0,22	0,10	37,7	0,001	<0,001	<0,001

CV: Coeficiente de variação. R^2 = Coeficiente de determinação. Equação de regressão:

$$^1\hat{Y}=243,07-1,8862x, (R^2=0,927)$$

$$^2\hat{Y}=203,5-1,3614x (R^2 = 0,849)$$

$$^3\hat{Y}=Y=610,5$$

$$^4\hat{Y}=0,9344-0,0019x,(R^2=0,725)$$

$$^5\hat{Y}=Y=529,2$$

$$^6\hat{Y}=233,11-1,5486x, (R^2 = 0,904)$$

$${}^7\hat{Y}=Y=1,83$$

$${}^8\hat{Y}=Y=251,3$$

$${}^9\hat{Y}=0,3653+0,0018x, (R^2=0,844)$$

$${}^{10}\hat{Y}=Y=113$$

Na tabela 2 acima, podemos constatar que não houve interação significativa ($P>0,05$) para a razão de peso foliar (RPF); houve efeito isolado do nitrogênio ($P<0,05$) e do sombreamento com efeito linear ($P<0,05$) decrescente aos 56 dias na RPF. Já a RPF, aos 84 dias, teve efeito isolado do sombreamento ($P<0,05$) com efeito linear crescente. Não houve interação significativa para RAF ($P>0,05$) nem efeito isolado ($P>0,05$) da adubação nitrogenada e do sombreamento aos 56 e 84 dias. O IAF, aos 84 dias, não teve interação significativa ($P>0,05$) entre adubação nitrogenada e sombreamento (Tabela 2).

O índice de área foliar foi maior na presença de nitrogênio, e apresentou efeito quadrático ($P<0,05$) para o sombreamento, o que resultou num valor máximo de IAF de 16,1 em um sombreamento de 30% (Tabela 3). A adubação nitrogenada teve efeito ($P<0,05$) sobre as plantas com os maiores valores encontradas a 0% e 30% de sombreamento artificial. O menor IAF, aos 28 dias, foi encontrado nas plantas adubadas e submetidas a 80% de sombreamento, em torno de 4,6.

As plantas sombreadas investem, relativamente, maior proporção de fotoassimilados no aumento da área foliar, para maximizar a captação da luz disponível (GOBBI et al. 2011). Desse modo, houve interação significativa ($P<0,05$) com efeito linear crescente na área foliar específica do capim marandú não adubado. Já nas plantas adubadas, houve interação significativa com efeito quadrático para adubação nitrogenada aos 28 dias, alcançando 674,8 cm^2/g de AFE, com 28 dias de crescimento.

Aos 28 dias de crescimento, houve interação significativa ($P<0,05$), com efeito quadrático para a adubação nitrogenada e os níveis de sombreamento com maior razão de peso foliar (RPF) sem sombreamento artificial.

Houve interação significativa ($P<0,05$) para a razão de área foliar com efeito quadrático nas plantas não adubadas para a razão de área foliar (RAF). O capim Marandú, mantido a 80%, apresentou a maior RAF, chegando a 557,1 cm^2/g .

Houve interação significativa ($P<0,05$) para a taxa de crescimento absoluto da folha com efeito linear decrescente para o capim marandú, com adubação nitrogenada aos 28 dias. A TCA encontrada no nível de 0% de sombra foi de 0,72 e no nível de 80%

de 0,25 cm²/g. Essa taxa elevada é 66% maior do que a taxa de crescimento das plantas mantidas no nível de sombreamento máximo, que foi de 80%. O nitrogênio melhorou a taxa de crescimento absoluto nas folhas sem sombreamento artificial.

Outra resposta encontrada foi na taxa de crescimento absoluto do caule com a interação significativa (P<0,05), entre adubação nitrogenada e sombreamento nas plantas não adubadas, que tiveram maior TCA caule com 50% de sombreamento e nas adubadas uma TCA caule de 0,30 cm²/g com 30% de sombreamento artificial.

Tabela 3. Índice de área foliar, área foliar específica, razão de peso foliar, razão de área foliar, taxa de crescimento absoluto do caule e da folha em capim marandú, em função do sombreamento (0, 30, 50 e 80%) e da adubação nitrogenada aos 28 dias.

kg/ha de N	Sombreamento (%)				Média
	0	30	50	80	
Índice de área foliar (28 dias)					
0 ¹	6,8b	7,6b	8,2a	7,9a	7,6
150 ²	15,1a	16,1a	9,7a	4,6b	11,4
Média	10,9	11,9	9,0	6,3	9,5
CV (%)	20,9				
Área foliar específica (cm²/g) (28 dias)					
0 ³	575,3a	655,9a	724,9a	890,9a	711,8
150 ⁴	532,6a	674,8a	652,3a	494,7b	588,6
Média	553,9	665,4	688,6	692,8	
CV (%)	15,8				
Razão de peso foliar (28 dias)					
0 ⁵	0,81a	0,67a	0,63a	0,63b	0,69
150 ⁶	0,78a	0,67a	0,66a	0,71a	0,70
Média	0,80	0,67	0,64	0,67	0,69
CV (%)	5,2				
Razão de área foliar (cm²/g) (28 dias)					
0 ⁷	465,9a	440,7a	436,8a	557,1a	475,1
150 ⁸	415,5a	451,0a	432,0a	350,3b	412,2
Média	440,7	445,9	434,4	453,7	443,7
CV (%)	15,2				
Taxa de crescimento absoluto da folha (cm²/g) (28 dias)					
0 ⁹	0,30b	0,30b	0,33a	0,22a	0,29
150 ¹⁰	0,72a	0,61a	0,37a	0,25a	0,49
Média	0,51	0,45	0,35	0,24	0,39
CV (%)	17,6				
Taxa de crescimento absoluto do caule (cm²/g) (28 dias)					
0 ¹¹	0,07b	0,14b	0,19a	0,14a	0,14
150 ¹²	0,21a	0,30a	0,19a	0,11a	0,20
Média	0,14	0,22	0,19	0,12	0,17
CV (%)	23,8				

CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas por letras diferentes diferem na coluna (P<0,05) pelo teste F. R² = Coeficiente de determinação. Equação de regressão:

$$^1\hat{Y}=Y=9,55$$

$$^2\hat{Y}=15,549+0,0218x-0,002x^2 (R^2 = 0,917)$$

$$^3\hat{Y}=555,16+3,916x (R^2=0,965)$$

$$^4\hat{Y}=534,18+ 7,4841x-0,1x^2 (R^2 = 0,996)$$

$$^5\hat{Y}=0,8138- 0,006x+5E-05x^2 (R^2 = 1)$$

$$^6\hat{Y}= 0,7774- 0,005x+5E-05x^2 (R^2 = 0,995)$$

$$^7\hat{Y}=469,07-2,8152x+0,0485x^2 (R^2 = 0,964)$$

$$^8\hat{Y}=Y=443,7$$

$$^9\hat{Y}=Y=0,39$$

$$^{10}\hat{Y}=0,491 -0,005x (R^2 = 0,906)$$

$$^{11}\hat{Y}= 0,0663+ 0,0044x-4E-05x^2 (R^2 = 0,934)$$

$$^{12}\hat{Y}=0,2155+ 0,0033x-6E-05x^2(R^2 = 0,830)$$

Aos 56 dias de crescimento, houve interação significativa ($P<0,05$) com efeito linear decrescente para a adubação nitrogenada, e os níveis de sombreamento com maior IAF no tratamento sem sombra (Tabela 4). A adubação nitrogenada também apresentou efeito significativo ($P<0,05$). Cabe ressaltar que nas plantas que não tiveram adubação o maior valor de IAF foi encontrado no nível de 30% de sombreamento.

Houve interação significativa ($P<0,05$) entre a adubação nitrogenada e o sombreamento com efeito linear decrescente para a taxa de crescimento absoluto (TCA) da folha nas plantas adubadas. Indicando que, mesmo com adubação nitrogenada, a falta de luminosidade impediu o capim marandú de elevar sua taxa de crescimento absoluto nas folhas. A TCA da folha com 0% de sombreamento foi 87% maior do que o encontrado nas plantas a 80% de sombra.

A interação foi significativa ($P<0,05$) entre adubação nitrogenada e sombreamento com efeito quadrático nas plantas não adubadas e adubadas para a taxa de crescimento absoluto do caule de capim marandú. A TCA do caule teve influência da adubação nitrogenada até o nível de 50% de sombra, quando atingiu $0,51\text{cm}^2/\text{g}$.

Tabela 4. Índice de área foliar, taxa de crescimento da folha e do caule em capim marandú, em função do sombreamento (0, 30, 50 e 80%) e da adubação nitrogenada aos 56 dias.

kg/ha de N	Sombreamento (%)				Média
	0	30	50	80	
	Índice de área foliar (56 dias)				
0 ¹	1,75b	2,66b	2,42b	2,33b	2,29
150 ²	10,79a	9,35a	8,53a	1,77a	7,61
Média	6,27	6,00	5,47	2,05	4,95
CV (%)	54,2				

Taxa de crescimento absoluto da folha (cm²/g) (56 dias)					
0 ³	0,12b	0,12b	0,12b	0,07a	0,11
150 ⁴	0,44a	0,42a	0,23a	0,06a	0,29
Média	0,28	0,27	0,18	0,07	0,20
CV (%)	25,0				
Taxa de crescimento absoluto do caule (cm²/g) (56 dias)					
0 ⁵	0,02b	0,15b	0,17b	0,13a	0,12
150 ⁶	0,14a	0,50a	0,51a	0,15a	0,33
Média	0,08	0,32	0,34	0,14	0,22
CV (%)	30,2				

CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas por letras diferentes diferem na coluna (P<0,05) pelo teste F. R² = Coeficiente de determinação. Equação de regressão:

$$^1\hat{Y}=Y=4,95$$

$$^2\hat{Y}= 11,948-0,1085x \text{ (R}^2=0,832)$$

$$^3\hat{Y}=Y=0,20$$

$$^4\hat{Y}=0,491-0,005x, \text{ (R}^2=0,906)$$

$$^5\hat{Y}=0,0241+ 0,0057x-6E-05x^2 \text{ (R}^2= 0,999)$$

$$^6\hat{Y}=0,1389+ 0,0194x -0,0002x^2, \text{ (R}^2= 0,999)$$

Aos 84 dias de crescimento (Tabela 5), houve interação significativa (P<0,05) para adubação nitrogenada na taxa de crescimento absoluto da folha, com efeito linear nas plantas adubadas com nitrogênio. A TCA da folha com 80% de sombra foi 65% menor do que o encontrado sem sombra. A interação foi significativa (P<0,05) para a adubação nitrogenada e o sombreamento para a taxa de crescimento absoluto do caule com efeito linear decrescente.

Tabela 5. Taxa de crescimento absoluto da folha e do caule em capim marandú, em função do sombreamento (0, 30, 50 e 80%) e da adubação nitrogenada aos 84 dias.

kg/ha de N	Sombreamento (%)				Média
	0	30	50	80	
Taxa de crescimento absoluto da folha (cm²/g) (84 dias)					
0 ¹	0,30b	0,30b	0,33a	0,22a	0,29
150 ²	0,72a	0,61a	0,37a	0,25a	0,49
Média	0,51	0,45	0,35	0,24	0,39
CV (%)	22,9				
Taxa de crescimento absoluto do caule (cm²/g) (84 dias)					
0 ³	0,24b	0,24a	0,23a	0,12a	0,21
150 ⁴	0,66a	0,35a	0,21a	0,07a	0,32
Média	0,45	0,30	0,22	0,10	0,27
CV (%)	37,7				

CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas por letras diferentes diferem na coluna (P<0,05) pelo teste F. R² = Coeficiente de determinação. Equação de regressão:

$$^1\hat{Y}=Y=0,39$$

$$^2\hat{Y}=0,6177+-0,0074x, \text{ (R}^2=0,960)$$

$$^3\hat{Y}=Y=0,27$$

$${}^4\hat{Y}=0,234+0,017x \text{ (R}^2 = 0,981)$$

Não houve interação significativa ($P>0,05$) para o teor de clorofilas *a*, *b*, totais e razão *a/b* aos 28 dias, e para o teor de clorofilas *a*, *b*, e totais aos 56 e 84 dias (Tabela 6). Houve efeito linear crescente do sombreamento e efeito isolado da adubação nitrogenada ($P<0,05$) para o teor de clorofila *a*, teor de clorofila *b* e clorofilas totais aos 28 dias. A razão clorofila *a/b* teve efeito cúbico ($P<0,05$) para o nível de sombreamento.

Ao final de 56 dias, houve efeito linear crescente do sombreamento ($P<0,05$) para o teor de clorofila *a*, clorofila *b* e clorofilas totais. A adubação nitrogenada não influenciou os teores de clorofila *a*, clorofila *b* e clorofilas totais aos 56 dias.

Ao final de 84 dias, a concentração de clorofila *a*, clorofila *b*, e clorofilas totais do capim aumentou linearmente devido ao sombreamento ($P<0,05$). A adubação nitrogenada não teve efeito isolado ($P<0,05$) no teor de clorofilas *a*, clorofila *b* e clorofilas totais aos 84 dias. Costa et al. (2009), ao avaliarem os efeitos da nutrição nitrogenada de cultivares de *Brachiaria brizantha*, constataram que as doses de N influenciaram nos teores de clorofila *a*, especialmente no cultivar marandú. Quando Martuscello et al. (2009) avaliaram a produção de *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria brizantha*, cultivares Marandú e Xaraés, sob diferentes níveis de sombreamento, também consideraram que o sombreamento aumentou o teor de clorofilas. Esses resultados confirmam a tese de que o nitrogênio em maior quantidade na planta eleva sua taxa fotossintética, corroborando com os resultados encontrados nesse experimento.

Tabela 6. Teores de clorofila *a* (CLOA), clorofila *b*(CLOB), clorofilas totais (CLOT) e razão clorofila *a/b*(RA/B) em (mg/g de MF) no capim marandú, em função do sombreamento (0, 30, 50 e 80%) e da adubação nitrogenada no período de 28, 56 e 84 dias.

	kg/ha de N		Sombreamento				CV%	P		
	0	150	0	30	50	80		N	SO	NxSO
28 Dias										
CLO A ¹	2,04	1,30	1,23	1,51	1,85	2,09	25,6	<0,001	0,004	0,115
CLO B ²	1,10	0,71	0,71	0,84	0,91	1,16	25,5	<0,001	0,002	0,386
CLO T ³	3,13	2,01	1,94	2,35	2,75	3,26	25,2	<0,001	0,006	0,185
RZ A/B ⁴	1,88	1,83	1,72	1,80	2,07	1,83	15,0	0,382	0,022	0,291
56 Dias										
CLO A ⁵	1,47	1,86	1,03	1,39	1,95	2,30	26,4	0,009	<0,001	0,155
CLO B ⁶	0,78	1,03	0,49	0,75	1,03	1,35	33,8	0,015	<0,001	0,282
CLO T ⁷	2,25	2,89	1,53	2,14	2,98	3,65	28,3	0,010	<0,001	0,196

RZ A/B	2,17	1,86	2,48	1,90	1,95	1,73	25,6	0,071	0,017	0,037
84 Dias										
CLO A⁸	1,81	2,30	1,37	1,73	2,40	2,73	24,2	0,003	<0,001	0,105
CLO B⁹	0,36	0,53	0,31	0,35	0,47	0,64	32,8	0,001	<0,001	0,186
CLOT¹⁰	2,17	2,83	1,68	2,07	2,87	3,38	23,2	0,001	<0,001	0,117
RZ A/B	5,15	4,55	4,53	5,18	5,10	4,59	14,6	0,022	0,064	0,034

CV: Coeficiente de variação. R^2 = Coeficiente de determinação. Equação de regressão:

$$^1\hat{Y}=0,938+0,292x, (R^2=0,997)$$

$$^2\hat{Y}=0,548+0,142x, (R^2=0,933)$$

$$^3\hat{Y}=1,487+0,435x, (R^2 = 0,996)$$

$$^4\hat{Y}= 2,516-1,454x+0,776x^2-0,113x^3 (R^2=1)$$

$$^5\hat{Y}=0,582+0,434x, (R^2=0,991)$$

$$^6\hat{Y}=0,190+0,285x, (R^2=0,997)$$

$$^7\hat{Y}=0,772+0,720x, (R^2=0,996)$$

$$^8\hat{Y}=0,869+0,475x, (R^2=0,980)$$

$$^9\hat{Y}=0,162+0,112x, (R^2=0,933)$$

$$^{10}\hat{Y}=1,032+0,587x, (R^2=0,984)$$

A interação foi significativa ($P<0,05$) entre adubação nitrogenada e sombreamento com efeito quadrático nas plantas não adubadas, para a razão clorofila a/b ao final de 56 dias. A maior razão clorofila a/b foi encontrada nas plantas sem sombreamento, entretanto o efeito quadrático promoveu um valor mínimo de 1,67, com 66% de sombreamento (Tabela 7).

Em condições de estresse abiótico, como o ocasionado pela deficiência de radiação solar, as plantas podem alterar as suas concentrações de clorofilas e carotenóides, criando um indicador de suscetibilidade das plantas à intensidade da luz. A maior quantidade de pigmentos fotossintéticos de clorofila a presentes e a sua abundância variam de acordo com a espécie. A clorofila a está presente em todos os organismos que realizam fotossíntese oxigênica. Como a clorofila a é o pigmento utilizado para realizar a etapa fotoquímica da fotossíntese, a diminuição da luminosidade causada pelo sombreamento artificial reduziu a razão clorofila a/b .

Ao final de 84 dias, houve interação significativa ($P<0,05$) entre adubação nitrogenada e sombreamento com efeito cúbico para as plantas adubadas na razão clorofila a/b (Tabela 7).

Tabela 7. Razão clorofila a/b em *Brachiaria brizantha* cv. marandú, em função do sombreamento (0, 30, 50 e 80%) e da adubação nitrogenada no período de 56 e 84 dias.

kg/ha de N	Sombreamento (%)				Média
	0	30	50	80	
Razão clorofila a/b (mg/g de MF) (56 dias)					

0 ¹	3,06a	1,86a	2,01a	1,74a	2,17
150 ²	1,89b	1,95a	1,89a	1,72a	1,86
Média	2,48	1,90	1,95	1,73	2,02
CV (%)	25,6				
Razão clorofila a/b (mg/g de MF) (84 dias)					
0 ³	4,84a	5,78a	4,89a	5,08a	5,15
150 ⁴	4,21a	4,59b	5,31a	4,09b	4,55
Média	4,53	5,18	5,10	4,59	4,85
CV (%)	14,6				

CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas por letras diferentes diferem na coluna (P<0,05) pelo teste F. R² = Coeficiente de determinação. Equação de regressão:

$$^1\hat{Y}=3,0035-0,0399x + 0,0003x^2, (R^2 = 0,901)$$

$$^2\hat{Y}=Y=2,17$$

$$^3\hat{Y}=Y=5,15$$

$$^4\hat{Y}=6,479-4,357x+ 2,471x^2-0,382x^3, (R^2=1)$$

A interação foi significativa (P<0,05) entre adubação nitrogenada e o sombreamento sobre a produção de massa seca total aos 28 dias (Tabela 8). A produção de massa seca teve efeito quadrático nas plantas não adubadas, chegando à produção máxima de 13,71g, com 41% de sombreamento. No capim marandú adubado com 150 kg N.ha⁻¹ a interação teve efeito cúbico. Na produção de massa seca das folhas, a interação foi significativa (P<0,05) entre adubação nitrogenada e o sombreamento, decrescendo linearmente nas plantas adubadas com nitrogênio aos 28 dias de experimento. As plantas sem sombreamento adubadas produziram 2,5 vezes mais massa seca de folhas do que nas plantas não adubadas.

Houve interação significativa (P<0,05) entre a adubação nitrogenada e o sombreamento, com efeito quadrático para as plantas não adubadas na produção de massa seca do caule (MSC), com a produção máxima de 5,0 g com 51% de sombreamento. Nas plantas adubadas, a interação entre a adubação nitrogenada e os níveis de sombreamento teve efeito cúbico sobre a produção de MSC, aos 28 dias de efeito do sombreamento (Tabela 8).

A produção de massa seca total (MST) teve maiores resultados, ao considerarmos que até os 50% de sombreamento houve aumento na produtividade. Quando observamos as plantas adubadas, nota-se que até 30% de sombra houve pouca diferença na produção de MST; esses dados indicam que, em termos de produção, os níveis de 30 e 50% podem ser viáveis a produção de forragem na sombra de árvores.

Tabela 8. Massa seca total, massa seca das folhas, massa seca do caule no capim marandú, em função do sombreamento (0, 30, 50 e 80%) e da adubação nitrogenada no período de 28 dias

kg/ha de N	Sombreamento (%)				Média
	0	30	50	80	
Massa seca total (g/vaso) (28 dias)					
0 ¹	10,30b	12,31b	14,66a	10,05a	11,83
150 ²	25,96a	25,31a	15,82a	10,05a	19,28
Média	18,13	18,81	15,24	10,05	15,56
CV (%)	17,7				
Massa seca das folhas (g/vaso) (28 dias)					
0 ³	8,34b	8,29b	9,28a	6,25a	8,04
150 ⁴	20,20a	16,96a	10,45a	7,07a	13,67
Média	14,27	12,62	9,86	6,66	10,85
CV (%)	17,6				
Massa seca do caule (g/vaso) (28 dias)					
0 ⁵	1,96b	4,02b	5,39a	3,79a	3,79
150 ⁶	5,76a	8,35a	5,37a	2,98a	5,61
Média	3,86	6,19	5,38	3,39	4,70
CV (%)	23,8				

CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas por letras diferentes diferem na coluna (P < 0,05) pelo teste F. R² = Coeficiente de determinação. Equação de regressão:

$$^1\hat{Y}=3,155+8,436x-1,655x^2, (R^2=0,805)$$

$$^2\hat{Y}= 5,23+35,61x-16,97x^2+2,092x^3, (R^2=1)$$

$$^3\hat{Y}=Y=8,04$$

$$^4\hat{Y}=25,14-4,590x, (R^2=0,980)$$

$$^5\hat{Y}=-2,486+5,249x-0,913x^2, (R^2=0,956)$$

$$^6\hat{Y}=-8,542+ 22,21x- 8,939x^2+1,026x^3, (R^2=1)$$

A interação entre adubação nitrogenada e sombreamento foi significativa (P<0,05) com efeito cúbico nas plantas adubadas para a produção de massa seca total aos 56 dias de efeito do sombreamento (Tabela 9). A produção no nível de 30% sombreamento foi cerca de seis vezes maior, quando comparada ao nível de 80%. O nível de sombreamento de 50% sem adubação nitrogenada produziu a maior quantidade de massa seca, cerca de 43% a mais do que no nível de 80% de sombreamento.

A produção de massa seca das folhas (MSF) teve interação significativa (P<0,05) entre adubação nitrogenada e sombreamento com efeito cúbico para as plantas adubadas aos 56 dias. As plantas adubadas e mantidas no nível de 0% de sombreamento produziram a maior quantidade de MSF. A produção foi sete vezes maior do que nas plantas submetidas ao nível de 80% de sombreamento.

A interação foi significativa ($P < 0,05$) entre adubação nitrogenada e sombreamento, a produção de massa seca do caule (MSC) apresentou efeito quadrático ($P < 0,05$) para as plantas não adubadas aos 56 dias de efeito do sombreamento. O valor máximo de produção esperado foi de 0,59 g, com 43% de sombreamento. Nas plantas adubadas, o valor de máximo a ser encontrado foi de 2,31g com 37% de sombreamento.

Tabela 9: Massa seca total, massa seca das folhas e massa seca do caule de capim marandú, em função do sombreamento (0, 30, 50 e 80%) e da adubação nitrogenada no período de 56 dias

kg/ha de N	Sombreamento (%)				Média
	0	30	50	80	
Massa seca total (g/vaso) (56 dias)					
0 ¹	3,53b	3,83b	3,95b	2,29a	3,40
150 ²	13,13a	14,24a	8,53a	2,37a	9,57
Média	8,33	9,03	6,24	2,33	6,48
CV (%)	22,3				
Massa seca das folhas (g/vaso) (56 dias)					
0 ³	3,50b	3,27b	3,35b	2,02a	3,04
150 ⁴	12,45a	11,70a	6,57a	1,77a	8,12
Média	7,97	7,48	4,96	1,90	5,58
CV (%)	25,0				
Massa seca do caule (g/vaso) (56 dias)					
0 ⁵	0,03a	0,56b	0,60b	0,27a	0,37
150 ⁶	0,68a	2,54a	1,96a	0,60a	1,45
Média	0,36	1,55	1,28	0,44	0,91
CV (%)	46,1				

CV: coeficiente de variação. Médias seguidas por letras diferentes diferem na coluna ($P < 0,05$) pelo teste F. R^2 = Coeficiente de determinação. Equação de regressão:

$$^1\hat{Y}=Y=3,40$$

$$^2\hat{Y}=-1,154+22,9x-9,763x^2+1,059x^3, (R^2=1)$$

$$^3\hat{Y}=Y=3,04$$

$$^4\hat{Y}=4,126+14,42x-6,887x^2+0,783x^3, (R^2=1)$$

$$^5\hat{Y}=-0,898+1,152x-0,215x^2, (R^2=0,996)$$

$$^6\hat{Y}=-2,381+3,947x-0,805x^2, (R^2=0,950)$$

Sem adubação nitrogenada, o capim marandú teve maior produtividade com 50% de sombreamento, indicando uma adaptação às condições de estresse por falta de luminosidade. A adubação nitrogenada teve importância na maior produção de massa seca total aos 56 dias, indicando que até 30% de sombreamento consegue atingir níveis de produtividade três vezes maiores que sem adubação. Ao nível de 30% de

sombreamento, o capim marandú apresenta respostas positivas a disponibilidade de nitrogênio no solo e também a redução da fototoxicidade.

Na tabela 10, as plantas de *Brachiaria brizantha* cv. Marandú, após 84 dias de acompanhamento, tiveram interação entre doses de nitrogênio e níveis de sombreamento significativos ($P < 0,05$), com efeito linear decrescente para a massa seca das folhas e dos caules nas plantas não adubadas. A produção de massa seca de folhas e do caule apresentou efeito quadrático nas plantas adubadas após 84 dias de acompanhamento. Houve efeito da adubação nitrogenada ($P < 0,05$) e dos níveis de sombreamento para os tratamentos com 0 e 30% de sombreamento artificial.

Houve efeito da interação entre adubação nitrogenada e sombreamento ($P < 0,05$) para a massa seca do caule, com efeito linear decrescente para o capim marandú adubado. As menores taxas foram encontradas no nível de 80 % e as maiores no nível de 0%. Houve efeito da adubação nitrogenada ($P < 0,05$) e do nível de sombreamento ($P < 0,05$), tendo o nível de 30% acumulado mais massa seca do caule entre as plantas não adubadas, e o 0% acumulado nas plantas adubadas. A massa seca de raiz (MSR) teve interação significativa ($P < 0,05$) entre adubação nitrogenada e sombreamento. As plantas não adubadas tiveram efeito linear decrescente na produção de MSR. O capim marandú adubado teve efeito quadrático com produção máxima estimada em 12,25 g, com 74% de sombreamento.

Houve interação significativa ($P < 0,05$) entre adubação nitrogenada e sombreamento com efeito linear decrescente nas plantas não adubadas para o volume de raiz. As plantas de capim marandú adubadas com $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N tiveram efeito quadrático ($P < 0,05$) para o volume de raiz. A produção máxima esperada foi de 94 mL de raiz, com 82% de sombreamento.

A interação foi significativa ($P < 0,05$) entre adubação nitrogenada e sombreamento com efeito cúbico para as plantas não adubadas na quantidade de material morto (Tabela 10). O capim marandú adubado teve efeito quadrático nas plantas adubadas, com produção de 4,36g com 72% de sombreamento. As plantas adubadas e mantidas sem sombreamento acumularam mais material morto, devido ao seu crescimento normal sem restrição de luminosidade.

Tabela 10. Massa seca da folha e do caule, massa seca das folhas, massa seca do caule e massa seca de raiz, volume de raiz e material morto de capim marandú, em função do sombreamento (0, 30, 50 e 80%) e da adubação nitrogenada no período de 84 dias.

kg/ha de N	Sombreamento (%)				Média
	0	30	50	80	
Massa seca da folha e do caule (g/vaso) (84 dias)					
0 ³	11,1b	10,7b	10,0a	7,0a	9,7
150 ⁴	28,9a	16,2a	10,7a	4,4a	15,1
Média	20,0	13,49	10,3	5,7	12,4
CV (%)	26,5				
Massa seca das folhas (g/vaso) (84 dias)					
0 ⁵	4,5b	3,9b	3,5 ^a	3,6a	3,9
150 ⁶	10,4a	6,4a	4,8a	2,4a	6,0
Média	7,5	5,2	4,1	3,0	4,9
CV (%)	23,0				
Massa seca do caule (g/vaso) (84 dias)					
0 ⁷	6,6b	6,7a	6,5a	3,4a	5,8
150 ⁸	18,5a	9,8a	5,8a	2,0a	9,0
Média	12,5	8,2	6,1	2,7	7,4
CV (%)	37,7				
Massa seca de raiz (g/vaso) (84 dias)					
0 ⁹	87,6b	60,9a	35,7a	21,5a	51,4
150 ¹⁰	207,9a	91,7a	25,8a	15,1a	85,1
Média	147,7	76,3	30,7	18,3	68,3
CV (%)	49,1				
Volume de raiz (mL/vaso) (84 dias)					
0 ¹¹	288,0b	222,0b	164,0a	120,0a	198,5
150 ¹²	546,0a	294,0a	150,0a	98,0a	272,0
Média	417,0	258,0	157,0	109,0	235,2
CV (%)	23,6				
Material morto (g/vaso) (84 dias)					
0 ¹³	6,8b	11,9a	6,2a	4,8a	7,4
150 ¹⁴	30,9a	14,8a	6,3a	5,4a	14,3
Média	18,8	13,3	6,2	5,14	10,9
CV (%)	33,2				

CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas por letras diferentes diferem na coluna (P<0,05) pelo teste F. R² = Coeficiente de determinação. Equação de regressão:

$$^1\hat{Y}=120,3-23,64x, (R^2=0,990)$$

$$^2\hat{Y}=421,1-212,3x+28,0x^2, (R^2=1)$$

$$^3\hat{Y}=Y=9,74$$

$$^4\hat{Y}=42,9-15,98x+1,61x^2, (R^2=,990)$$

$$^5\hat{Y}=Y=3,91$$

$$^6\hat{Y}=12,45-2,565x, (R^2=0,966)$$

$$^7\hat{Y}=Y=5,83$$

$$^8\hat{Y}=28,5-11,41x+1,214x^2, (R^2=0,992)$$

$$^9\hat{Y}=107,2-22,32x, (R^2=0,982)$$

$$^{10}\hat{Y}=378,1-96,3x+26,3x^2, (R^2=0,999)$$

$$^{11}\hat{Y}=339-56,2x, (R^2=0,992)$$

$$^{12}\hat{Y}=894-398,8x+50x^2, (R^2=0,999)$$

$$^{13}\hat{Y} = -24,04 + 48,88x - 20,48x^2 + 2,518x^3, (R^2=1)$$

$$^{14}\hat{Y} = 54,53 - 27,41x + 3,78x^2, (R^2=1)$$

Não houve interação significativa ($P > 0,05$) entre adubação nitrogenada e nível de sombreamento para as variáveis: taxa de alongamento foliar; largura final da folha; e número de perfilhos secundários no capim marandú, com 28 dias de crescimento (Tabela 11). O sombreamento influenciou ($P < 0,05$) na taxa de alongamento foliar aos 28 dias de crescimento com efeito quadrático. A maior taxa estimada foi 2,09 cm em 78% de sombreamento.

O número de perfilhos secundários também teve efeito quadrático do sombreamento ($P < 0,05$), com a quantidade mínima estimada de 0,16 com 47% de sombreamento. Houve efeito da adubação nitrogenada ($P < 0,05$) para a taxa de alongamento foliar.

Tabela 11. Taxa de aparecimento foliar, taxa de alongamento foliar (TAIF) (cm/dia/perfilho); Filocrono, taxa de alongamento do caule, número de folhas vivas, comprimento final da folha, largura final da folha, número de perfilhos secundários e altura final de *Brachiaria brizantha* cv. marandú, em função do sombreamento (0, 30, 50 e 80%) e da adubação nitrogenada no período de 28 dias

	kg/ha de N		Sombreamento (%)				CV%	P		
	0	150	0	30	50	80		N	SO	NxSO
	28 dias									
TApF	0,11	0,13	0,12	0,12	0,12	0,13	9,8	<0,001	0,480	0,007
FILO	9,15	7,76	8,67	8,74	8,40	8,00	11,2	<0,001	0,311	0,002
TAIF¹	1,67	1,89	1,50	1,78	1,99	1,87	8,5	<0,001	<0,001	0,183
TAIC	0,44	0,68	0,18	0,54	0,79	0,72	18,5	<0,001	<0,001	0,009
NFV	2,51	3,56	3,20	3,00	3,26	3,30	9,3	<0,001	0,101	0,006
CFE	46,2	53,3	41,9	48,4	56,1	52,4	9,8	0,002	<0,001	0,036
LFF	1,81	1,81	1,85	1,80	1,77	1,80	6,6	0,979	0,494	0,986
NPS²	0,25	0,39	0,63	0,13	0,22	0,30	85,8	0,128	0,001	0,443
ALT	71,9	82,5	58,6	76,4	88,7	85,1	8,0	<0,001	<0,001	0,031

CV: Coeficiente de variação. R^2 =Coeficiente de determinação. Equação de regressão:

$$^1\hat{Y} = 0,946 + 0,637x - 0,100x^2, (R^2=0,976)$$

$$^2\hat{Y} = 1,26 - 0,80x + 0,14x^2, (R^2 = 0,870)$$

A interação entre adubação nitrogenada e nível de sombreamento foi significativa ($P < 0,05$), com efeito linear crescente nas plantas não adubadas para a taxa de aparecimento foliar (TApF) aos 28 dias (Tabela 12). A maior TApF foi encontrada com nível de 30% de sombreamento e com adubação de $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N. Esse valor foi próximo ao descrito em Santos et al. (2009), que encontraram um valor de TApF em *Brachiaria brizantha* de (0,12 folhas/dia/perfilho) com diferentes doses de adubação nitrogenada.

A interação foi significativa ($P < 0,05$) entre adubação nitrogenada e sombreamento com efeito linear decrescente para o filocrono ($P < 0,05$) aos 28 dias. As plantas mantidas a 30% de sombreamento e sem adubação nitrogenada tiveram o maior filocrono (Tabela 12).

A interação foi significativa ($P < 0,05$) entre a adubação nitrogenada e o sombreamento para a taxa de alongamento do caule (TAIC), apresentando efeito cúbico nas plantas não adubadas de capim marandú, aos 28 dias (Tabela 12). Houve efeito quadrático no capim adubado, com uma taxa máxima de 0,89, com 56% de sombreamento. O crescimento do caule no nível 50% nas plantas adubadas foi 82% maior do que nas plantas sem sombreamento.

Houve interação significativa ($P < 0,05$) entre a adubação nitrogenada e o sombreamento, com efeito quadrático para as plantas não adubadas com nitrogênio no número de folhas vivas, aos 28 dias de crescimento (Tabela 12). A produção máxima estimada ficou em 2,52 folhas/perfilho, com 34% de sombreamento.

O comprimento final da folha apresentou interação significativa ($P < 0,05$) entre a adubação nitrogenada e sombreamento, com efeito cúbico nas plantas não adubadas. No capim marandú adubado, o efeito foi quadrático com altura máxima de 58 cm em sombreamento de 57% (Tabela 12).

A interação foi significativa ($P < 0,05$) entre adubação nitrogenada e sombreamento para a altura, com efeito quadrático nas plantas não adubadas, nas quais a altura máxima estimada foi de 83,9 cm, no sombreamento de 83%. No capim marandú adubado o efeito também foi quadrático com a altura máxima de 93,1cm, encontrada no sombreamento de 55%, com 28 dias de crescimento.

Tabela 12. Taxa de aparecimento foliar, filocrono, taxa de alongamento do caule, número de folhas vivas, comprimento final da folha e altura final da planta de *Brachiaria brizantha* cv. marandú, em função do sombreamento (0, 30, 50 e 80%) e da adubação nitrogenada no período de 28 dias

kg/ha de N	Sombreamento (%)				Média
	0	30	50	80	
Taxa de aparecimento foliar (folhas/perfilho/dia) (28 dias)					
0 ¹	0,10b	0,10b	0,11a	0,13a	0,11
150 ²	0,13a	0,14a	0,13a	0,12a	0,13
Média	0,12	0,12	0,12	0,13	0,12
CV (%)	9,80				
Filocrono (dias/folha/perfilho) (28 dias)					
0 ³	9,76a	10,17a	8,92a	7,74a	9,15
150 ⁴	7,57b	7,30b	7,89a	8,26a	7,76
Média	8,67	8,74	8,40	8,00	8,45
CV (%)	11,26				
Taxa de alongamento do caule (cm/dia/perfilho) (28 dias)					
0 ⁵	0,11b	0,31b	0,68b	0,65b	0,44
150 ⁶	0,26a	0,76a	0,89a	0,79a	0,68
Média	0,18	0,54	0,79	0,72	0,56
CV (%)	18,51				
Número de folhas vivas (folhas/perfilho) (28 dias)					
0 ⁷	2,80b	2,40b	2,86b	3,20a	2,81
150 ⁸	3,60a	3,60a	3,66a	3,40a	3,56
Média	3,20	3,00	3,26	3,30	3,19
CV (%)	9,34				
Comprimento final da folha (cm) (28 dias)					
0 ⁹	40,76a	41,73b	53,83a	48,48b	46,20
150 ¹⁰	43,11a	55,13a	58,46a	56,50a	53,30
Média	41,94	48,43	56,14	52,49	49,75
CV (%)	9,86				
Altura final (cm) (28 dias)					
0 ¹¹	54,20b	65,67b	85,23b	82,74a	71,96
150 ¹²	63,03a	87,20a	92,33a	87,65a	82,55
Média	58,61	76,43	88,78	85,19	77,26
CV (%)	8,08				

CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas por letras diferentes diferem na coluna (P<0,05) pelo teste F. R²=Coeficiente de determinação. Equação de regressão:

$$^1\hat{Y}=0,089+0,009x, (R=0,771)$$

$$^2\hat{Y}=Y=0,13$$

$$^3\hat{Y}=10,97-0,731x, (R^2=0,773)$$

$$^4\hat{Y}=Y=7,76$$

$$^5\hat{Y}=0,636-1,089x+0,654x^2-0,095x^3 (R^2=1)$$

$$^6\hat{Y}=-0,497+0,916x-0,148x^2 (R^2=0,996)$$

$$^7\hat{Y}=3,311-0,74x+0,18x^2, (R^2=0,844)$$

$$^8\hat{Y}=Y=3,48$$

$$^9\hat{Y}=79,51-68,13x+34,15x^2-4,76x^3, (R^2=1)$$

$$^{10}\hat{Y}=24,95+21,82x-3,495x^2, (R^2=0,996)$$

$$^{11}\hat{Y}=28,20+27,97x-3,49x^2, (R^2=0,929)$$

$$^{12} \hat{Y} = 26,74 + 43,96x - 7,21x^2 \quad (R^2 = 0,991)$$

Não houve interação significativa ($P > 0,05$) entre adubação nitrogenada e níveis de sombreamento para as variáveis: taxa de aparecimento foliar, filocrono, taxa de alongamento foliar; número de folhas vivas; duração de vida das folhas; comprimento final da folha; largura final da folha; número de perfilhos secundários e altura de plantas de capim marandú com 56 dias de crescimento (Tabela 13). Houve efeito linear crescente do sombreamento ($P < 0,05$) para a taxa de alongamento foliar com os maiores valores no nível de 80% de sombreamento (Tabela 13). Esse resultado mostra o comportamento de estiolamento no capim marandú em busca de luminosidade.

O comprimento final da folha teve efeito linear crescente do sombreamento, evidenciando o maior crescimento da folha mais sombreada em decorrência da busca pela luz. A largura final da folha teve efeito linear decrescente do sombreamento, mostrando a adaptação da cultivar marandú ao sombreamento com a folha mais comprida e mais fina no maior nível de sombreamento. Aos 56 dias, a altura final das plantas teve efeito linear crescente em decorrência do grau de sombreamento. Houve efeito isolado da adubação nitrogenada ($P < 0,05$) na taxa de aparecimento foliar, filocrono, taxa de alongamento foliar, o número de folhas vivas, o comprimento final da folha e altura final da folha.

Tabela 13: Taxa de aparecimento foliar (TApF) (cm/dia/perfilho), filocrono (FILO) (dias/folha/perfilho), taxa de alongamento foliar (TalF)(cm/dia/perfilho); taxa de alongamento do caule (TAIC)(cm/dia/perfilho); número de folhas vivas (NFV); comprimento final da folha (CFF)(cm); largura final da folha (LFF)(cm); número de perfilhos secundários (NPS) e altura (cm) de capim marandú, em função do sombreamento (0, 30, 50 e 80%) e da adubação nitrogenada no período de 56 dias.

Item	Kg/ha de N		Sombreamento (%)				CV%	P		
	0	150	0	30	50	80		N	SO	NxSO
56 dias										
TapF¹	0,14	0,16	0,15	0,14	0,15	0,16	11,0	0,008	0,155	0,580
FILO²	7,35	6,37	7,08	7,24	6,58	6,53	12,8	0,001	0,213	0,583
TalF³	1,14	1,48	1,00	1,22	1,48	1,55	11,3	<0,001	<0,001	0,391
TAIC	0,24	0,33	0,05	0,27	0,41	0,41	20,9	<0,001	<0,001	0,006
NFV⁴	3,93	4,46	4,16	3,93	4,31	4,36	11,0	0,001	0,186	0,540
CFF⁵	31,9	41,3	27,87	34,02	41,4	43,3	11,3	<0,001	<0,001	0,391
LFF⁶	1,52	1,56	1,74	1,67	1,50	1,24	10,2	0,432	<0,001	0,334
NPS⁷	0,41	0,28	0,36	0,40	0,39	0,23	90,2	0,259	0,536	0,663
Altura⁸	47,8	61,5	37,37	50,93	64,1	66,4	9,3	<0,001	<0,001	0,125

CV: Coeficiente de variação. R²=Coeficiente de determinação. Equação de regressão:

$${}^1\hat{Y} = Y = 0,15$$

$${}^2\hat{Y} = Y = 6,86$$

$${}^3\hat{Y} = 0,828 + 0,19x, (R^2 = 0,95)$$

$${}^4\hat{Y} = Y = 4,19$$

$${}^5\hat{Y} = 23,21 + 5,38x, (R^2 = 0,954).$$

$${}^6\hat{Y} = 1,958 - 0,168x, (R^2 = 0,938).$$

$${}^7\hat{Y} = Y = 0,34$$

$${}^8\hat{Y} = 29,59 + 10,05x, (R^2 = 0,931)$$

Houve interação significativa ($P < 0,05$) entre a adubação nitrogenada e os níveis de sombreamento, com efeito quadrático para a taxa de alongamento do caule nas plantas adubadas com nitrogênio ao longo dos 56 dias de experimento. A maior taxa de alongamento caulinar estimada foi de 0,63 cm com 77% de sombreamento (Tabela 14). O sombreamento influenciou para que o capim não adubado crescesse linearmente no 2º ciclo. Aos 56 dias e mantidos a 80% de sombreamento, os caules cresceram 33 cm a mais do que o mantido sem sombreamento, indicando a procura da planta pela radiação solar embaixo do sombrite.

Tabela 14. Taxa de alongamento do caule de capim marandú, em função do sombreamento (0, 30, 50 e 80%) e da adubação nitrogenada no período de 56 dias.

kg/ha de N	Sombreamento (%)				Média
	0	30	50	80	
	Taxa de alongamento do caule (cm/dia/perfilho) (56 dias)				
0 ¹	0,06a	0,19b	0,32b	0,39a	0,24
150 ²	0,04a	0,36a	0,51a	0,44a	0,33
Média	0,05	0,27	0,41	0,41	0,29
CV (%)	20,92				

CV: Coeficiente de variação: Médias seguidas por letras diferentes diferem na coluna ($P < 0,05$) pelo teste F. R^2 =Coeficiente de determinação. Equação de regressão:

$${}^1\hat{Y} = -0,038 + 0,111x, (R^2 = 0,987)$$

$${}^2\hat{Y} = -0,489 + 0,619x - 0,096x^2, (R^2 = 0,999)$$

Não houve interação significativa ($P > 0,05$) para adubação nitrogenada e nível de sombreamento para as variáveis: taxa de aparecimento foliar, filocrono, taxa de alongamento foliar; número de folhas vivas; duração de vida das folhas; comprimento final da folha; largura final da folha; número de perfilhos secundários, número de perfilhos mortos e altura de plantas de capim marandú, com 84 dias de crescimento (Tabela 15).

A taxa de alongamento foliar e o comprimento final da folha tiveram efeito linear crescente do sombreamento ($P < 0,05$) aos 84 dias. O sombreamento teve efeito

linear decrescente ($P<0,05$) na largura final da folha do capim marandú, ao final do 3º ciclo. O maior nível de sombreamento foi determinante para o efeito linear crescente, observado no número de perfilhos mortos do capim marandú. As plantas mantidas sem sombreamento tiveram 11 vezes menos perfilhos mortos do que as plantas mantidas com 80% de sombreamento.

O sombreamento promoveu efeito linear crescente na altura final das plantas, ao final dos 84 dias. Houve efeito isolado da adubação nitrogenada ($P<0,05$) na taxa de alongamento foliar, o comprimento final da folha o número de perfilhos mortos e na altura final aos 84 dias de experimento.

A taxa de alongamento de folhas e o perfilhamento variaram com a interação entre as percentagens de sombra e as doses de nitrogênio. O sombreamento aumentou a eficiência de resposta da taxa de alongamento de folhas às doses de nitrogênio, mas reduziu para o perfilhamento, evidenciando prioridade no crescimento de perfilhos existentes em detrimento do surgimento de novos perfilhos quando há restrição de luminosidade para as plantas.

Tabela 15. Taxa de alongamento foliar (TAIF)(cm/dia/perfilho); duração de vida das folhas (DVF)(dias); comprimento final da folha (CFF)(cm); largura final da folha (LFF)(cm); número de perfilhos secundários (NPS), número de perfilhos vivos (NPV), número de perfilhos mortos (NPM) e altura (cm) de capim marandú, em função do sombreamento (0, 30, 50 e 80%) e da adubação nitrogenada no período de 84 dias.

kg/ha de N	N		Sombreamento (%)				CV%	P		
	0	150	0	30	50	80		N	SO	NxSO
	84 dias									
TApF	0,13	0,13	0,15	0,13	0,11	0,12	21,0	0,681	0,320	0,280
FILO	8,13	8,36	6,84	8,56	9,37	8,20	25,0	0,825	0,090	0,172
TaIF¹	0,90	1,00	0,59	0,73	1,08	1,41	13,8	0,014	<0,001	0,831
TAIC	0,13	0,20	0,04	0,05	0,20	0,36	29,0	<0,001	<0,001	<0,001
CFF²	25,17	28,1	16,4	20,3	30,3	39,4	13,8	0,014	<0,001	0,831
LFF³	1,38	1,39	1,66	1,43	1,25	1,19	8,7	0,757	<0,001	0,358
NPS⁴	0,38	0,45	0,46	0,50	0,33	0,36	28,3	0,574	0,707	0,917
NPV	7,3	9,9	12,1	10,8	6,9	4,7	29,5	0,003	<0,001	0,005
NPM⁵	0,60	1,50	0,23	0,43	0,94	2,60	27,2	0,003	<0,001	0,154
ALT⁶	38,2	44,1	26,1	30,6	46,0	62,1	10,8	0,002	<0,001	0,110

CV: Coeficiente de variação. R^2 =Coeficiente de determinação. Equação de regressão:

$$^1\hat{Y}=0,2467+0,2818x, (R^2=0,971)$$

$$^2\hat{Y}=6,9062+7,8912x, (R^2=0,971)$$

$$^3\hat{Y}=1,777-0,1579x, (R^2=0,9391)$$

$$^4\hat{Y}=Y=0,41$$

$$^5\hat{Y}=-0,852+0,7605x, (R^2=0,835)$$

$${}^6\hat{Y}=10,388+12,337x, (R^2=0,951)$$

Houve interação significativa ($P<0,05$) entre adubação nitrogenada e sombreamento, com efeito quadrático nas plantas não adubadas com nitrogênio na taxa de alongamento do caule, ao longo dos 84 dias de experimento (Tabela 16). O capim marandú adubado teve efeito cúbico na taxa de alongamento do caule. A maior taxa de alongamento do caule foi no nível de 80% de sombreamento.

Houve interação significativa ($P<0,05$) com efeito linear decrescente para o número de perfilhos vivos ao final de 84 dias. As plantas adubadas e mantidas sem sombreamento puderam expressar o comportamento morfogênico padrão da espécie, expondo a menor quantidade de perfilhos vivos na planta em decorrência do maior sombreamento. Essa quantidade foi 4,5 vezes maior do que nas plantas mantidas a 80%, mostrando o efeito da luminosidade no perfilhamento do capim marandú e da persistência das plantas aos cortes a cada 28 dias. O nível de 30% de sombra atingiu o mesmo número de perfilhos do que o nível de 0% de sombra sem adubação, evidenciando que esse nível de sombreamento não causa efeitos no perfilhamento de capim marandú (Tabela 16).

Tabela 16. Taxa de alongamento do caule e número de perfilhos vivos de capim marandú, em função do sombreamento (0, 30, 50 e 80%) e da adubação nitrogenada no período de 84 dias

kg/ha de N	Sombreamento (%)				Média
	0	30	50	80	
Taxa de alongamento do caule (cm/dia/perfilho) (84 dias)					
0 ¹	0,03a	0,04b	0,09b	0,35a	0,13
150 ²	0,04a	0,06a	0,31a	0,37a	0,20
Média	0,04	0,05	0,20	0,36	0,16
CV (%)	29,0				
Número de perfilhos vivos (perfilho/planta) (84 dias)					
0 ³	8,3b	8,3b	6,7a	5,8a	7,3
150 ⁴	15,8a	13,3a	7,2a	3,5a	9,9
Média	12,1	10,8	6,9	4,7	8,6
CV (%)	29,5				

CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas por letras diferentes diferem na coluna ($P<0,05$) pelo teste F. R^2 =Coeficiente de determinação. Equação de regressão:

$${}^1\hat{Y}=0,194-0,219x+0,06x^2, (R^2=0,978)$$

$${}^2\hat{Y}=0,715-1,166x+0,568x^2-0,074x^3, (R^2=1)$$

$${}^3\hat{Y}=Y=7,31$$

$${}^4\hat{Y}=20,76-4,308x, (R^2=0,977)$$

As plantas sombreadas investem, relativamente, maior proporção de fotoassimilados no aumento da área foliar, para maximizar a captação da luz disponível. Geralmente possuem folhas delgadas, maior área foliar específica (AFE) e folhas com menor densidade de massa (LAMBERS et al., 1998).

Na avaliação de Guenni et al. (2008) sobre a produção de biomassa, matéria seca e acúmulo de nutrientes em 3 espécies de *Brachiaria* (*B. brizantha*, *B. decumbens* e *B. dictyoneura*), sob 3 níveis de luminosidade e 2 níveis de N ao final de 34 e 41 dias após o corte, a sombra reduziu a produção de biomassa nas 3 espécies. No entanto, até mesmo gramíneas bastante tolerantes à sombra mostram uma redução da produção de forragem sob sombra intensa, especialmente quando o nível de tonalidade excede 50% da radiação incidente. Esses resultados sugerem que o crescimento de pastagens em sistemas silvipastoris depende da interação entre sombra e fertilidade do solo.

No trabalho de Kuwahara & Souza (2009), avaliando os possíveis mitigadores dos efeitos da deficiência hídrica sobre o crescimento e as trocas gasosas de *Brachiaria brizantha* cv. MG-5 Vitória, percebe-se que a condutância estomática foi alterada pela deficiência hídrica causando reduções significativas na assimilação líquida de CO₂. Entretanto, no trabalho de Rodrigues et al. (2012), não se encontram resultados significativos de queda na condutância estomática da cultivar Xaraés sob diferentes doses de nitrogênio.

Os fluxos de CO₂ entre a superfície e atmosfera apresentam variações para os diferentes índices de área foliar (IAF) e estações do ano dependendo, principalmente, da radiação fotossinteticamente ativa (RFA), precipitação, vento e temperatura. Dessa forma, o IAF tem relação direta com a capacidade fotossintética da planta, pois, quanto maior for o IAF, maior será a interceptação luminosa da planta. Martuscello et al. (2009) também encontraram um efeito linear sobre a área foliar das plantas de *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria brizantha*, cultivares Marandú e Xaraés, sob diferentes níveis de sombreamento: (0, 50, 70%).

Paciullo et al. (2011) também encontraram respostas nas características morfogênicas e no perfilhamento de gramíneas do gênero *Brachiaria* (*Brachiaria decumbens*, *Brachiaria ruziziensis* e *Brachiaria brizantha* cv. Marandú e cv. Xaraés), cultivadas em vasos. Os efeitos do sombreamento (0, 36 e 54%) e de quatro doses de nitrogênio (0, 50, 100 e 150 mg N/dm³ de solo) melhoraram a taxa de alongamento e

aparecimento foliar. Já, o sombreamento estimulou as respostas das plantas à aplicação de nitrogênio, no alongamento das folhas, mas reduziu o perfilhamento.

Quando se avaliam os efeitos do sombreamento sobre o crescimento e sobrevivência de plantas, um dos primeiros fatores a serem observados é a queda na condutância estomática. Como forma de mitigar a perda por evapotranspiração, as plantas fecham os estômatos durante o dia e assim conseguem evitar uma perda irreversível de capacidade osmótica. Esse fechamento causa uma queda na produção de matéria seca da planta, fator observado na menor MST encontrada no sombreamento de 80%.

O sombreamento pode promover diferenças na alocação de biomassa em capim marandú. Quando Dias Filho (2000) avaliou a capacidade de aclimatação (adaptação fenotípica) de *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria humidicola* ao ambiente de luz reduzida, constatou que em ambas as espécies, o sombreamento reduziu, significativamente, a alocação de biomassa para as raízes e aumentou a alocação de biomassa para as folhas.

Cabe destacar alguns resultados encontrados aos 28 dias com o nível de 30% de sombreamento. A condutância estomática, o Índice de Área Foliar e a produção de biomassa foram maiores do que nos outros níveis. Ao final dos três ciclos as plantas com 30% de sombreamento e adubadas com nitrogênio ficaram com a 2ª melhor produção de biomassa de capim marandú.

O sombreamento de 50 e 80% incrementou as taxas de alongamento foliar, e de alongamento do caule, as respostas dessas características morfogênicas agem diretamente sobre os atributos estruturais da *Brachiaria brizantha* cv. Marandú, tais como comprimento final da folha, número de perfilhos secundários e altura final, demonstrando que apresenta plasticidade fenotípica, em resposta a oferta de radiação solar a que é submetida, tornando-a adaptada a essas condições. Contudo, esse aumento não foi efetivo na comparação com a produção de matéria seca total, de folhas, caule e raízes.

Conclusões

O capim marandú apresenta mudanças fisiológicas, quando submetido ao sombreamento influenciando negativamente o crescimento e a produção durante os períodos de 28, 56 e 84 dias. As plantas mostraram capacidade de adaptação ao ambiente com menor exposição solar, com o aumento da AFE no nível de 80%.

Alguns resultados no nível de 30% de sombreamento indicam que esse grau de sombra foi capaz de manter a condutância estomática, elevar o IAF e a produção de matéria seca. A adubação nitrogenada proporcionou ganhos de produtividade e respostas fisiológicas diferenciadas na dose de 150 kg N.ha⁻¹, sendo indicada para cultivos em condições de sombreamento de até 50%.

A adubação com N não teve respostas satisfatórias pra condições de altas taxas de sombreamento.

Referências

ALVAREZ, V.H.; RIBEIRO, A.C. Calagem. In: Comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais (CFSMG). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª aproximação, p.41-60, 1999.

ARNON, D.I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**. v.24, n.1, p.1-15. 1949.

COELHO, J.S.; ARAÚJO, S.A.C.; VIANA, M. C. M; VILLELA, S. D. J; FREIRE, F. M; BRAZ, T. G. S. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária em sistema silvipastoril com diferentes arranjos espaciais. **Semina: Ciências Agrárias**, v.35, n.3, p.1487-1500, 2014.

COSTA, K.A.P.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I.P.; ARAÚJO, J.L.; RODRIGUES, R.B. Doses e fontes de nitrogênio em pastagem de capim-marandú. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.4, p.1601-1607, 2008.

COSTA, K.A.P.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I.P.; SEVERIANO, E.C.; OLIVEIRA, M. A. Doses e fontes de nitrogênio na nutrição mineral do capim-marandú. **Ciência Animal Brasileira**, v.10, n.1, p.115-123, 2009.

DIAS-FILHO, M.B. Growth and biomass allocation of the c4 grasses *Brachiaria brizantha* and *B. Humidicola* under shade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.12, p.2335-2341, dez. 2000.

FONTANA, D.C.; ALVES, G.M.; ROBERTI, D.; MORAES, O.L.L.E.; GERHARDT, A. Estimativa da radiação fotossinteticamente ativa absorvida pela cultura da soja através de dados do sensor Modis. **Bragantia**, v.71, p.563-571, 2012.

GOBBI, K.F.; GARCIA, R.; VENTRELLA, M.C.; NETO, A.F.G.; ROCHA, G.C. Área foliar específica e anatomia foliar quantitativa do capim-braquiária e do amendoim-forrageiro submetidos a sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.7, p.1436-1444, 2011.

GUENNI, O.; SEITER, S.; FIGUEROA, R. Growth responses of three *Brachiaria* species to light intensity and nitrogen supply **Tropical Grasslands**, v.42, p.75-87, 2008.

LICHTENTHALER, H.K.; BUSCHMANN, C. Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. **Current protocols in food analytical chemistry**, 2001.

LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D. Tissue fluxes in grazing plant communities. In: HODGSON, J. & ILLIUS, A. W. (Eds.). **The ecology and management of grazing systems**. Wallingford: CAB International, p. 3-36, 1996.

KUWAHARA, F.A.; SOUZA, G.M. Fósforo como possível mitigador dos efeitos da deficiência hídrica sobre o crescimento e as trocas gasosas de *Brachiaria brizantha* cv. MG-5 Vitória. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.31, n.2, p.261-267, 2009.

LAMBERS, H.; CHAPIM, F.S.; PONS, T.L. **Plant physiological ecology**. Nova Iorque: Springer, 1998. 540p.

MARTUSCELLO, J. A; JANK, L; NETO, M. M. G; LAURA, V. A; CUNHA, D. N. F. V. Produção de gramíneas do gênero *Brachiaria* sob níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.7, p.1183-1190, 2009.

PACIULLO, D.S.C.; CARVALHO, C.A.B.; AROEIRA, L.J.M.; MORENZ, M.J.F.; LOPES, F.C.F.; ROSSIELLO, R.O.P. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília**, v.42, n.4, p.573-579, 2007.

PACIULLO, D.S.C.; CAMPOS, N.R.; GOMIDE, C.A.M.; CASTRO, C.R.T.; TAVELA, R.C.; ROSSIELLO, R.O. P. Crescimento de capim-braquiária influenciado pelo grau de sombreamento e pela estação do ano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.7, p.917-923, 2008.

PACIULLO, D.S.C.; FERNANDES, P.B.; GOMIDE, C.A.M.; CASTRO, C.R.T.; SOBRINHO, F.S.; CARVALHO, C.A.B. The growth dynamics in *Brachiaria* species according to nitrogen dose and shade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.2, p.270-276, 2011.

PAULA, C.C.L.; EUCLIDES, V.P.B.; LEMPP, B.; BARBOSA, R.A.; MONTAGNER, D.B.; CARLOTO, M.N. Acúmulo de forragem, características morfogênicas e estruturais do capim-marandú sob alturas de pastejo. **Ciência Rural**, v.42, n.11, p.2059-2065, 2012.

PEDREIRA, B.C.; PEDREIRA, C.G.S.; SILVA, S.C. Estrutura do dossel e acúmulo de forragem de *Brachiaria brizantha* cultivar Xaraés em resposta a estratégias de pastejo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.42, n.2, p.281-287, 2007.

PETTER, F.A.; SILVA, J.A.; ZUFFO, A.M.; ANDRADE, F.R.; PACHECO, L.P.; ALMEIDA, F.A. Elevada densidade de semeadura aumenta a produtividade da soja? Respostas da radiação fotossinteticamente ativa. **Bragantia**, v.75, n.2, pp.173-183, 2016.

RODRIGUES, R.C.; LIMA, D.O.S.; CABRAL, L.S.; PLESE, L.P.M.; SCARAMUZZA, W.L.M.P.; UTSONOMYA, T.C.A.U.; SIQUEIRA, J.C.; JESUS, A. P.R. Produção e morfofisiologia do capim *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés sob doses de nitrogênio e fósforo. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.2, n.1, p.124-131, 2012.

SANTOS, L.C.; BONOMO, P.; SILVA, V.B.; PATÊS, N.M.S.; SILVA, C.C.F.; PIRES, A.J.V. Características morfogênicas de Braquiárias em resposta a diferentes adubações. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v.31, n.1, p.221-226, 2009.

SANTOS, M.V.; FERREIRA, E.A.; VALADÃO, D.; OLIVEIRA, F.L.R.; MACHADO, V.D.; SILVEIRA, R.R.; SOUZA, M.F. *Brachiaria* physiological parameters in agroforestry systems. **Ciência Rural**, v.47, n.5, 2017.

SBRISSIA, A.; SILVA, S.C. Compensação tamanho/densidade populacional de perfilhos em pastos de capim-marandú. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.1, p.35-47, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal** 5° ed. Ed: Artmed. Porto Alegre. 954 p. 2013.

VI – CAPÍTULO IV

EFEITO DO SOMBREAMENTO SOBRE CARACTERÍSTICAS DO ESTILOSANTES CAMPO GRANDE ADUBADO OU NÃO COM FÓSFORO

RESUMO: A utilização de espécies forrageiras leguminosas em sistemas silvipastoris visa ao aporte de adubação nitrogenada no solo, o ganho na qualidade do alimento oferecido aos animais e a recuperação de áreas degradadas. Entretanto, o seu cultivo em condições de menor oferta de radiação solar com respostas sobre seus processos fisiológicos podem potencializar sua utilização em consórcios com gramíneas e árvores em sistemas silvipastoris. Este trabalho avaliou o efeito do sombreamento sobre características fisiológicas, produtivas e estruturais do estilosantes Campo Grande adubado, ou não, com fósforo. O presente estudo foi conduzido no Setor de Forragicultura e Pastagem da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia campus Itapetinga. Foram avaliados os efeitos do sombreamento artificial de (0, 30, 50 e 80%) e de duas doses de adubação fosfatada (0, 150 kg P₂O₅.ha⁻¹) nas características fisiológicas, estruturais e produtivas da espécie de leguminosa: (*Stylosanthes* spp. cv. Campogrande) cultivadas em vasos com capacidade para 10 kg de substrato. Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x2, com cinco repetições. A adubação fosfatada teve efeito isolado na largura final da folha e no número de inflorescências, comprimento final da folha, o comprimento final do estolão, a taxa de alongamento do estolão, o número de ramos com crescimento secundário e na altura final das plantas, sendo uma boa indicação para o estabelecimento estilosantes Campo Grande cultivado com sombreamento. O sombreamento teve efeito sobre a produção de estilosantes Campo Grande e níveis de produção maiores com até 30% do sombreamento, apontam que essa leguminosa tolera o sombreamento, tornando-se indicada para implantação em sistemas silvipastoris.

Palavras-chave: Clorofilas, *Stylosanthes* spp. cv. Campo Grande; Índice de área Foliar, Morfogênese, Produção

VI – CHAPTER IV

RESPONSES OF *Stylosanthes* spp. CV. CAMPOGRANDE TO SHADOWIN AND FERTILIZATION PHOSPHATE

ABSTRACT: The use of leguminous forage species in silvopastoral systems aims at the contribution of nitrogen fertilization to the soil, the gain in the quality of the feed offered to the animals and the recovery of degraded areas. However, their cultivation under conditions of lower solar radiation with responses on their physiological processes may potentiate their use in consortia with grasses and trees in silvopastoral systems. This work evaluated the effect of shading on the physiological, productive and structural characteristics of the Great field modeling agents, whether or not fertilized with phosphorus. The present study was conducted in the Forage and Pasture Sector of the State University of the Southwest of Bahia Itapetinga campus. The effects of artificial shading (0, 30, 50 and 80%) and two doses of phosphate fertilization (0, 150 kg P₂O₅.ha⁻¹) on the physiological, structural and productive characteristics of the legume species were evaluated: (*Stylosanthes* spp. Cv. Campogrande) cultivated in pots with a capacity of 10 kg of substrate. The design was completely randomized, in a 4x2 factorial scheme with five replications. Phosphate fertilization had an effect on leaf width, number of inflorescences, leaf final length, stolon final length, stolon elongation rate, number of branches with secondary growth and final plant height. a good indication for the establishment of *Stylosanthes* Campo Grande cultivators grown with shade. The shading had an effect on the *Stylosanthes* Campo Grande production and higher production levels with up to 30% of the shading, indicate that this legume tolerates shading making it suitable for implantation in silvopastoral systems.

Keywords: Chlorophylls, *Stylosanthes* spp. cv. Campo Grande; Foliar Area Index, Morphogenesis, Production

Introdução

O Gênero Estilosantes (*Stylosanthes*) compreende espécies de forrageiras ricas em proteína e que desempenham um papel importante de fixação biológica de nitrogênio da atmosfera. *Stylosanthes* é o gênero com maior número de cultivares dentre as leguminosas tropicais usadas como pastagens. No Brasil, oito cultivares foram liberadas comercialmente no mercado. As espécies *Stylosanthes guianensis*, *Stylosanthes capitata* e *Stylosanthes macrocephala* são as principais espécies com potencial de uso no Brasil. Dentre as cultivares dessa leguminosa, destacam-se os cultivares Campo Grande e Mineirão. O estilosantes Campo Grande é uma cultivar lançada pela Embrapa Gado de Corte no início do século XXI (EUCLIDES et al. 2010).

Essa cultivar é uma mistura física de sementes com 80% (em peso) de linhagens de *S. capitata*, tolerantes à antracnose e 20% de linhagens de *S. macrocephala*. Segundo Silva (2004), esse cultivar tem apresentado bom desempenho em solos com textura arenosa e média, como os Latossolos textura média e Areias Quartzosas. A cultivar campo grande apresenta alto valor nutritivo, com teor de proteína bruta de 19,92 % da MS e alta digestibilidade, sendo uma boa opção para a alimentação dos rebanhos bovinos (MAGALHÃES & CORRÊA, 2012). A boa palatabilidade dessa leguminosa para bovinos, aliada ao seu valor nutritivo, confere bom desempenho animal (EMBRAPA, 2007).

Como a maioria das leguminosas, o Estilosantes Campo Grande apresenta o processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN), através da associação simbiótica de suas raízes, com bactérias do gênero *Rhizobium*. No consórcio com gramíneas, com proporção de 20% a 40% da leguminosa, o Estilosantes Campo Grande fixa, em média, 60 a 80 kg de nitrogênio/ha/ano (Embrapa, 2007), porém, no trabalho de Miranda et al. (1991), a fixação biológica situou-se em torno de 180 kg de nitrogênio por hectare por ano, enquanto que, para as cultivares Mineirão (*Stylosanthes guianensis*) e Pioneiro (S.

macrocephala, os valores foram de 95 e 88 kg de nitrogênio por hectare por ano, respectivamente.

Para Verzignassi e Fernandes (2002), o estilosantes Campo Grande apresenta um bom potencial produtivo, podendo atingir 12 a 13 toneladas de matéria seca por hectare por ano, e boa persistência sob pastejo, permanecendo por mais de cinco anos em consorciação com *Brachiaria decumbens*. A planta de estilosantes apresenta sistema radicular profundo, podendo atingir até 1,5 m.

A redução da luminosidade disponível para as forrageiras pode ser prejudicial ou favorável, dependendo de sua intensidade e de outras condições, como a fertilidade do solo, a tolerância da espécie ao sombreamento e ao manejo das pastagens. Em pastagens arborizadas, as mudanças microclimáticas e o melhoramento da fertilidade do solo que resultam em maior disponibilidade de água e incrementos na mineralização do N do solo, contribuem para estimular o crescimento das forrageiras (Carvalho et al. 2007). Conforme Dias e Souto (2008), o *Stylosanthes* spp. teve seu estabelecimento recomendado para níveis de sombreamento, respectivamente até 50 e 75%.

A consorciação entre espécies de árvores e forrageiras, com potencial para utilização em sistemas silvipastoris, necessita de estudos sobre a produção e sobrevivência dessas espécies em condições de baixa luminosidade. Avaliaram-se as características produtivas, morfogenéticas e fisiológicas de *Stylosanthes* spp. cv. Campo Grande, submetido a quatro diferentes níveis de sombreamento e em ausência ou presença de adubação fosfatada.

Material e Métodos

O experimento foi realizado em casa de vegetação, localizada na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – Campus Juvino Oliveira, situada nas seguintes coordenadas: 15°38'46" de latitude sul, 40°15'24" de longitude oeste, e altitude média de 280 m, no município de Itapetinga - BA.

O ensaio foi conduzido em um esquema fatorial 4x2 com cinco repetições consistindo de quatro níveis de sombreamento (0%, 30%, 50%, 80%) e com e sem adubação de 150 kg P₂O₅.ha⁻¹, em um delineamento inteiramente casualizado, totalizando 40 vasos plásticos com capacidade para 10 dm³ e um período experimental de 84 dias.

Foi utilizado solo coletado na Fazenda Bela Vista, localizada no município de Encruzilhada/BA, sendo classificado como latossolo vermelho amarelo (EMBRAPA, 1973), com textura franco argilo-arenosa, coletado à profundidade de 0-20 cm, seco ao ar e passado em peneira com porosidade de 5 mm. Foi retirada uma subamostra homogeneizada do solo e encaminhada para o Departamento de Engenharia Agrícola e Solos da UESB para a realização de análises químicas, conforme os resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Análise química do solo

pH	*mg/dm ³	*cmol _c /dm ³ de solo.....										%	g/dm ³
(H ₂ O)	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺	Na ⁺	S.B ¹	t ²	T ³	V ⁴	m ⁵	M.O. ⁶
5,1	2	0,30	1,7	1,3	0,4	4,3	-	3,3	3,7	8,0	41	11	25

¹Soma de bases. ²CTC efetiva. ³CTC pH 7. ⁴Saturação por bases. ⁵Saturação por Al³⁺. ⁶Matéria orgânica. Fonte: Laboratório de solos da UESB.

Considerando os resultados da análise de solo e seguindo as recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (Alvarez & Ribeiro, 1999), onde foi adotado o nível médio tecnológico, houve a necessidade de realizar a calagem, considerando a baixa relação cálcio/magnésio e, para elevar a saturação de bases para 50, foi aplicado calcário calcítico, na quantidade de 4,8 g por vaso, incorporados ao solo 30 dias antes da semeadura do estilosantes. A adubação fosfatada consistiu na aplicação de solução nutritiva de 150 kg P₂O₅.ha⁻¹, que equivaleu a 2,16g de Superfosfato Triplo por vaso.

Para determinação da capacidade de campo, os vasos com solo seco foram pesados, sendo encharcados e pesados novamente. Pela diferença de peso seco e molhado, foi determinada a máxima capacidade de retenção de água, a qual foi em torno de 18%. A umidade do solo nos vasos foi mantida através da manutenção da capacidade de campo, durante todo período experimental. A capacidade de campo foi mantida próxima aos 100%CC, com reabastecimento e pesagem dos baldes a cada dois dias.

A semeadura foi realizada diretamente nos vasos, usando sementes de estilosantes Campo Grande vendidas comercialmente, que, após germinação, foram desbastadas até ficarem quatro plântulas por vaso. Após o corte de uniformização foram realizadas três coletas de material vegetativo, a cada 28 dias, com corte a 15 cm de altura simulando um super pastejo na leguminosa. Na 3ª coleta, foi realizada o desmanche dos vasos e coletado todo o material, incluindo as raízes após o período de 84 dias de experimento.

As temperaturas mínimas, máximas e médias foram aferidas durante o período experimental, que compreende da data de 16 de agosto a 09 de novembro de 2016, totalizando 84 dias.

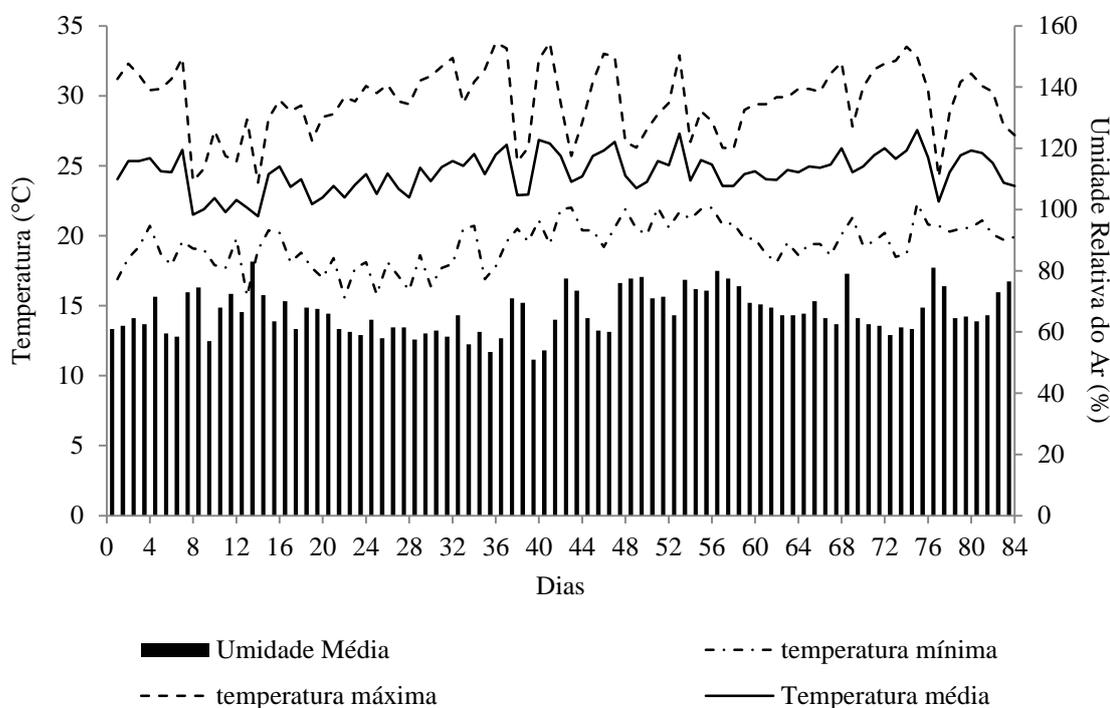


Figura 1: Temperaturas e Umidades máxima, mínima e média durante o período experimental.

Foram marcados, em cada unidade experimental, três estolões com fios coloridos, para a realização da mensuração do comprimento da ramificação e largura e comprimento das folhas completamente expandidas, contagem do número de folhas vivas e das ramificações secundárias da planta.

- Taxa de Aparecimento de Folhas (TApF, Folhas/ ramificação/dia): número de folhas surgidas por ramificação dividido pelo número de dias do período de avaliação;
- Filocrono (dias/folha/ramificação): inverso matemático da taxa de aparecimento de folhas;
- Taxa de Alongamento de Folha, de Estolão (TAIF, cm/dia/estolão) ou TAIE, cm/dia/estolão): somatório do alongamento das lâminas foliares e do estolão, respectivamente, dividido pelo número de dias do período de avaliação;
- Número de Folhas Vivas (NFV, folhas/ramificação): número de folhas em expansão e expandidas, descontando-se as folhas senescentes de cada ramificação;
- Duração de Vida das Folhas (DVF, dias): período de tempo do aparecimento da folha até sua morte, estimada a partir da equação proposta por Lemaire & Chapman (1996): $DVF = NFV \times \text{Filocrono}$.
- Comprimento Final da Folha (CFF, cm): comprimento médio das lâminas foliares completamente expandidas, medido do ápice foliar até a lígula;
- Largura Final da Folha (LFF, cm): largura média das lâminas foliares completamente expandidas, medidas no meio da folha em comprimento.
- Número de Perfilhos Secundários (NPS, número de brotações aéreas por planta).

Antes de cada corte, mediram-se a altura de planta e a área foliar de cada planta e quantificou-se o número de ramificações vivas por vaso. Após a colheita, as plantas foram separadas em lâmina, estolão e material morto para a determinação da produção de matéria seca. Para a produção de matéria seca total, calcularam-se a produção média em cada um: os cortes e a produção total. No último corte, avaliou-se a massa seca de raízes.

Foram calculados a massa seca total, a massa seca das folhas (MSF) e massa seca do caule (MSC); a massa seca de raiz (MSR), e a massa seca de folhas e caule (MSFC); além do volume de raiz (VR), com proveta volumétrica.

O sentido de posição das telas de náilon foi leste-oeste. Os percentuais de sombreamento utilizados foram de 0, 30, 50 e 80%, de acordo com o fabricante. As medidas da interceptação da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) pelo dossel de

Estilosantes Campo Grande foram realizadas com utilização de um ceptômetro (Accupar LP-80). Para determinar os valores de RFA foram tomados cinco pontos amostrais, por meio de leituras, da irradiância fotossintética incidente sobre o dossel acima do capim, e interceptada abaixo do capim no intervalo de 7 dias, em dias ensolarados das 11:00 as 13:00 horas, com 28 dias de rebrotação. As médias de medições correspondentes aos níveis de 0, 30, 50 e 80% foram: 1218,2; 878; 415,7 e 334,9 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ respectivamente.

A determinação do índice de área foliar (IAF) foi através do escaneamento de todo o material vegetal, e calculado com auxílio do software IMAGE J. Foram realizadas também análises de crescimento, verificando-se a Taxa de Crescimento Absoluto (TCA) na folha e nos caule, Razão de Área Foliar (RAF), Razão de Peso Foliar (RPF) e Área Foliar Específica (AFE).

A determinação da concentração de clorofila foi efetuada pelo método da acetona, com as lâminas de folhas completamente expandidas em cada vaso, os quais foram acondicionados em papel alumínio, e mantidos em caixa térmica com gelo. Em seguida, as amostras foram retiradas e pesadas na faixa das 200 ug e maceradas com a adição de 15 mL de acetona 80%. Transferiu-se o líquido filtrado em algodão para tubos de ensaio e realizou-se a leitura de absorbância que foi realizada no espectrofotômetro, nos comprimentos de onda de 663 e 645 nm e a quantidade total de clorofila foi determinada segundo metodologia de Arnon (1949).

A condutância estomática foi obtida através da utilização de porômetro foliar modelo: Decagon Devices SC-1, coletada às 09:00 horas da manhã.

Os resultados foram submetidos à análise de variância, considerando, como fontes de variação, as doses de adubação fosfatada (0 e 150 $\text{kg.P}_2\text{O}_5/\text{ha}^{-1}$) e os níveis de sombreamento (0, 30, 50 e 80 %) e a interação sombreamento e dose de adubação fosfatada. A interação foi desdobrada, ou não, de acordo com a significância. O efeito do fósforo foi estudado por meio do teste F, e o efeito do sombreamento, por meio da decomposição ortogonal da respectiva soma de quadrados em efeito linear, quadrático e cúbico. Adotou-se $\alpha = 0,05$.

Resultados e Discussão

Não houve interação significativa ($P>0,05$) entre adubação fosfatada e sombreamento para índice de área foliar, razão de peso foliar, razão de área foliar, taxa de crescimento absoluto da folha e do caule aos 28 dias. O nível de sombreamento teve efeito quadrático ($P<0,05$) na condutância estomática, com o valor máximo de 508 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ em 30% de sombreamento (Tabela 2).

Tabela 2. Índice de área foliar (IAF), Razão de peso foliar (RPF) (cm^2/g), Razão de área foliar (RAF) (cm^2/g), Taxa de crescimento absoluto da folha e do caule (TCF) (TCC), Área foliar específica (AFE) (cm^2/g) e condutância estomática (CE) ($\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) de estilosantes Campo Grande, cultivado com 0, 30, 50 e 80% de sombreamento e submetido à adubação ou não de 150 kg de $\text{P}_2\text{O}_5.\text{ha}^{-1}$ após o período de 28, 56 e 84 dias.

Item	kg/ha de P_2O_5		Sombreamento (%)				CV%	P		
	0	150	0	30	50	80		P_2O_5	SO	$\text{P}_2\text{O}_5 \times \text{SO}$
28 Dias										
IAF	1,44	1,53	1,30	1,72	1,31	1,60	47,4	0,681	0,451	0,894
AFE	492,0	464,3	511,5	541,0	538,8	521,3	21,6	0,058	0,931	0,016
RPF	0,72	0,71	0,67	0,75	0,69	0,75	18,6	0,773	0,478	0,880
RAF	356,8	473,9	496,5	409,7	366,3	388,9	64,5	0,177	0,718	0,345
TCF	0,07	0,07	0,07	0,08	0,06	0,08	47,3	0,925	0,699	0,685
TCC	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	66,0	0,492	0,898	0,756
CE ¹	470,8	472,5	466,6	527,9	473,9	418,1	13,0	0,931	0,004	0,503
56 Dias										
IAF ²	1,46	1,27	1,29	1,81	0,83	1,52	52,2	0,430	0,033	0,377
AFE	368,4	404,0	361,0	383,1	507,5	361,00	49,0	0,565	0,108	0,472
RPF ³	0,63	0,70	0,57	0,56	0,74	0,79	14,5	0,036	0,001	0,216
RAF ⁴	231,8	293,4	169,8	195,1	285,4	400,1	52,0	0,194	0,005	0,223
TCF ⁵	0,10	0,09	0,12	0,12	0,06	0,08	39,2	0,195	0,002	0,725
TCC ⁶	0,04	0,03	0,05	0,05	0,02	0,02	56,2	0,103	0,001	0,847
CE	439,0	457,7	489,7	466,9	428,9	407,8	5,2	0,071	0,001	0,030
84 Dias										
IAF	1,69	3,21	3,08	2,45	2,32	1,95	69,3	0,007	0,515	0,130
AFE	167,9	271,8	190,2	207,1	268,9	213,1	76,9	0,061	0,749	0,458
RPF	0,45	0,46	0,45	0,46	0,45	0,47	6,92	0,128	0,227	0,118
RAF	76,5	124,8	88,0	94,3	119,7	100,56	76,5	0,055	0,815	0,380
TCF ⁷	0,26	0,34	0,39	0,34	0,24	0,23	30,7	0,012	0,001	0,069
TCC ⁸	0,33	0,39	0,47	0,40	0,30	0,26	28,2	0,053	0,001	0,172
CE ⁹	445,5	452,4	478,1	472,8	435,7	409,3	6,7	0,587	0,003	0,640

CV: Coeficiente de variação. R^2 =Coeficiente de determinação. Equação de regressão:

$$^1\hat{Y}=471,53+2,3933x-0,039x^2 \quad (R^2=0,863)$$

$$^2\hat{Y}=-3,9359+ 8,6488x-3,9524x^2+0,5329x^3 \quad (R^2 = 1)$$

$$^3\hat{Y}= 0,4534+0,085x \quad (R^2=0,849)$$

$$^4\hat{Y}= 67,336+78,123x \quad (R^2=0,936)$$

$$^5\hat{Y}= 0,1363-0,0173x \quad (R^2=0,606)$$

$${}^6\hat{Y} = 0,0669 - 0,0134x \quad (R^2 = 0,841)$$

$${}^7\hat{Y} = 0,4443 - 0,0569x \quad (R^2 = 0,930)$$

$${}^8\hat{Y} = 0,5439 - 0,0744x \quad (R^2 = 0,973)$$

$${}^9\hat{Y} = 485,71 - 0,9179x \quad (R^2 = 0,906)$$

O IAF, aos 56 dias, teve efeito cúbico do sombreamento ($P < 0,05$). Não houve interação significativa ($P > 0,05$) entre adubação fosfatada e sombreamento para área foliar específica. A razão de peso foliar teve efeito isolado da adubação fosfatada, e efeito linear crescente do sombreamento ($P < 0,05$). Houve efeito isolado do sombreamento na razão de área foliar com efeito linear crescente ($P < 0,05$). A taxa de crescimento absoluto da folha e do caule teve efeito linear decrescente do sombreamento ($P < 0,05$) aos 56 dias.

Aos 84 dias, não houve interação significativa ($P > 0,05$) entre adubação fosfatada e sombreamento para IAF, CE, AFE, RPF, RAF, TCF, TCC. Houve efeito isolado ($P < 0,05$) da adubação fosfatada no IAF. O sombreamento teve efeito linear decrescente ($P < 0,05$) na taxa de crescimento absoluto da folha e do caule. A adubação fosfatada também influenciou na TCF ($P < 0,05$).

Moura et al.(2014) avaliaram o estilosantes Campo Grande na presença e na ausência da adubação fosfatada (50 kg/ha P_2O_5) e consideraram que houve um crescimento linear com o aumento dos intervalos de corte. A mesma situação não foi observada quando adubado com 150kg/ha(P_2O_5), pois houve um decrescimento nas taxas de crescimento absoluto da folha e do caule.

Houve interação significativa ($P < 0,05$) com efeito cúbico para as plantas de estilosantes com ou sem adubação fosfatada aos 28 dias para a área foliar específica. O nível de sombreamento de 50% apresentou diferença entre plantas adubadas e não adubadas. Ao final de 56 dias, a interação foi significativa ($P < 0,05$) para a condutância estomática com efeito linear decrescente para plantas não adubadas e adubadas (Tabela 3).

Essa condição evidencia que o estilosantes tem menor condutância estomática com os maiores sombreamentos, tornando-se uma estratégia à falta de luz e uma resposta à menor insolação. Não houve efeito isolado ($P > 0,05$) da adubação fosfatada. O nível de sombreamento influenciou para que as plantas mantidas a 30% de sombreamento elevassem a condutância estomática em relação às plantas adubadas, uma diferença de $69 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Tabela 3. Área foliar específica e condutância estomática de estilosantes Campo Grande, cultivado com 0, 30, 50 e 80% de sombreamento e submetido à adubação ou não de 150 kg de $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ após o período de 28 e 56 dias.

kg/ha de P_2O_5	Sombreamento (%)				Média
	0	30	50	80	
Área foliar específica (cm^2/g) (28 dias)					
0 ¹	497,4a	563,7a	397,1b	509,9a	492,07
150 ²	525,7a	518,4a	680,5a	532,7a	564,35
Média	511,5	541,0	538,8	521,3	528,2
CV (%)	21,6				
Condutância estomática ($mmol m^{-2}s^{-1}$) (56 dias)					
0 ³	477,4a	432,9b	427,1a	418,6a	439,0
150 ⁴	502,1a	501,0a	430,7a	397,0a	457,7
Média	489,7	466,9	428,9	407,8	448,3
CV (%)	5,2				

CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas por letras diferentes diferem na coluna ($P < 0,05$) pelo teste F. R^2 =Coeficiente de determinação. Equação de regressão:

$$^1\hat{Y} = -314,18 + 1355x - 628,82x^2 + 85,394x^3 (R^2 = 1)$$

$$^2\hat{Y} = 1181,9 - 1140,5x + 564,22x^2 - 79,914x^3 (R^2 = 1)$$

$$^3\hat{Y} = 167,5 - 8,023x (R^2 = 0,140)$$

$$^4\hat{Y} = 306,2 - 62,19x (R^2 = 0,949)$$

Não houve interação significativa ($P < 0,05$) entre a adubação fosfatada e os níveis de sombreamento para os teores de clorofilas (Tabela 4). Houve efeito da adubação fosfatada ($P < 0,05$) no teor de clorofila *b*, clorofilas totais e razão clorofila *a/b* aos 28 dias, e para os teores de clorofila *b* e clorofilas totais aos 84 dias de experimento. Já o nível de sombreamento influenciou o teor de clorofila *a*, teor de clorofila *b* e clorofilas totais de maneira linear e crescente ($P < 0,05$) aos 28 dias, indicando uma maior concentração em ambientes mais sombreados. A relação clorofila *a/b* cresceu de forma quadrática ($P < 0,05$) no estilosantes campo grande até os 28 dias de crescimento, apresentando um valor de ponto máximo de 2,02 mg/g MS aos 40,2 % de sombreamento.

O sombreamento influenciou, de maneira linear crescente, o teor de clorofilas *b* aos 56 dias ($P < 0,05$): um aumento de 28% no teor de clorofilas, o que está atrelado a sua produção, que não está diretamente atrelado ao ciclo fotoquímico da fotossíntese. Ao final de 84 dias, os teores de clorofila *a*, clorofila *b* e clorofilas totais tiveram efeito linear crescente do sombreamento ($P < 0,05$).

Tabela 4. Teores de clorofila *a*, *b*, totais e razão *a/b* de estilosantes Campo Grande, cultivado com 0, 30, 50 e 80% de sombreamento e submetido à adubação ou não de 150 kg de P₂O₅.ha⁻¹ após o período de 28, 56 e 84 dias.

Item	kg/ha de P		SO %			CV%	P			
	0	150	0	30	50		80	P ₂ O ₅	SO	P ₂ O ₅ xSO
28 Dias (mg/g MS)										
CLOA ¹	2,15	1,89	1,54	2,00	2,11	2,43	28,9	0,023	<0,001	0,354
CLOB ²	1,09	1,03	0,91	1,04	0,99	1,31	24,9	0,479	0,012	0,366
CLOT ³	3,25	2,92	2,45	3,04	3,11	3,74	32,6	0,081	0,003	0,347
RZA/B ⁴	2,00	1,88	1,72	1,98	2,15	1,91	15,6	0,200	0,028	0,298
56 Dias (mg/g MS)										
CLOA	1,41	1,45	1,30	1,46	1,41	1,57	18,5	0,663	0,165	0,533
CLOB ⁵	0,68	0,75	0,57	0,76	0,72	0,79	21,9	0,188	0,018	0,362
CLOT	2,09	2,20	1,87	2,23	2,13	2,36	18,4	0,391	0,056	0,412
RZA/B	2,48	1,93	2,28	1,92	1,99	1,92	65,3	0,233	0,273	0,483
84 Dias (mg/g MS)										
CLOA ⁶	1,61	1,46	1,32	1,28	1,73	1,80	23,2	0,180	0,003	0,402
CLOB ⁷	1,14	0,91	0,86	1,01	1,08	1,15	20,9	0,002	0,032	0,188
CLOT ⁸	2,75	2,37	2,18	2,29	2,81	2,95	17,2	0,010	0,007	0,160
RZA/B	1,47	1,60	1,55	1,37	1,61	1,60	12,5	0,159	0,228	0,913

CV: Coeficiente de variação. R²=Coeficiente de determinação. Equação de regressão:

$$^1\hat{Y}=1,324+0,279x, (R^2=0,949)$$

$$^2\hat{Y}= 0,772+0,115x, (R^2 = 0,744)$$

$$^3\hat{Y}=2,096+0,395x, (R^2 = 0,928)$$

$$^4\hat{Y}= 1,7056+ 0,0161x-0,0002x^2 (R^2 = 0,925)$$

$$^5\hat{Y}=0,556+0,062x, (R^2=0,678)$$

$$^6\hat{Y}=1,059+0,189x, (R^2=0,814)$$

$$^7\hat{Y}= 0,790+0,093x, (R^2=0,956)$$

$$^8\hat{Y}=1,849+0,282x, (R^2=0,929)$$

Não houve interação significativa (P>0,05) entre o nível de sombreamento e a adubação fosfatada, aos 28 dias, para a massa seca total (MST), a massa seca das folhas e massa seca do caule (MSC) (Tabela 5). Aos 56 dias, houve efeito isolado do sombreamento (P>0,05), com efeito linear decrescente na massa seca total (MST), massa seca das folhas (MSF), massa seca do caule (MSC) e massa seca de inflorescências (MSI) (tabela 5). A adubação fosfatada teve efeito isolado (P<0,05) na Massa seca de folhas e caules e massa seca das folhas aos 84 dias (Tabela 5). A adubação contribuiu para uma maior produção, principalmente de folha no estilosantes. O nível de sombreamento teve efeito linear decrescente (P<0,05) na massa seca de plantas de estilosantes aos 84 dias de experimento. A Massa seca de folhas e caules teve efeito linear decrescente (P<0,05) do sombreamento, o qual também influenciou,

negativamente e de forma linear ($P < 0,05$), a produção de massa seca de folhas, com uma diferença de 41% ao nível mais sombreado em comparação ao sem sombra. A massa seca do caule cresceu linearmente com o efeito do sombreamento.

A Massa seca de raízes teve efeito linear decrescente do nível de sombreamento ($P < 0,05$). O destaque se dá pela produção três vezes maior nas plantas sem sombreamento, evidenciando o acúmulo diferenciado adotado pelo regime de 80%. A massa seca de inflorescências teve efeito linear decrescente do nível de sombreamento. A massa seca dos nódulos teve efeito linear decrescente ($P < 0,05$) do grau de sombreamento, com maior produção no ambiente com maior insolação. O volume de raízes cresceu linearmente ($P < 0,05$) do maior grau de sombra para o ambiente com menor sombra. O nível de sombra influenciou ($P < 0,05$) diretamente na quantidade de nódulos nas plantas de Estilosantes aos 84 dias, crescendo de maneira linear para o ambiente sem sombra. Isso pode indicar uma influência direta na fixação biológica de N, e indicar que, na sombra, a leguminosa fixaria menos nitrogênio atmosférico.

Tabela 5: Massa seca total (MST), massa eca das folhas (MSF), Massa seca do caule (MSC), massa seca de inflorescências (MSI), massa seca de raiz (MSR) e massa seca de nódulos (MSN) em (g), volume de Raiz (VOL)(mL) e quantidade de nódulos (un.) de estilosantes Campo Grande, cultivado com 0, 30, 50 e 80% de sombreamento e submetido à adubação ou não de 150 kg de P_2O_5 .ha⁻¹ após o período de 28, 56 e 84 dias.

Item	kg/ha de Sombreamento (%)						CV %	P		
	kg/ha de P_2O_5		0	30	50	80		P_2O_5	SO	P_2O_5 xSO
28 Dias										
MST	2,88	2,84	2,75	3,10	2,60	2,99	54,0	0,913	0,886	0,900
MSF	2,06	2,09	2,04	2,28	1,79	2,19	47,4	0,917	0,697	0,684
MSC	0,83	0,97	0,87	1,03	0,82	0,90	66,3	0,486	0,896	0,762
56 Dias										
MST ¹	4,69	3,78	5,82	5,99	2,39	2,74	37,9	0,247	0,004	0,949
MSF ²	2,82	2,39	3,22	3,34	1,71	2,15	39,3	0,194	0,002	0,723
MSC ³	1,08	0,87	1,63	1,29	0,46	0,51	49,4	0,188	<0,001	0,993
84 Dias										
MST ⁴	27,1	31,5	40,8	36,4	21,6	18,2	36,4	0,197	<0,001	0,971
MSFC ⁵	16,4	20,4	24,2	20,6	15,1	13,8	28,6	0,023	0,003	0,111
MSF ⁶	7,3	9,5	10,9	9,4	6,8	6,5	30,7	0,012	0,001	0,070
MSC ⁷	9,1	10,9	13,2	11,2	8,3	7,2	28,2	0,053	0,001	0,172
MSR ⁸	9,4	9,4	14,2	13,4	5,8	4,5	57,6	0,397	<0,001	0,080
MSN ⁹	0,10	0,22	0,29	0,18	0,07	0,08	19,9	0,056	0,041	0,248
VOL ¹⁰	43,7	46,2	68,5	55,5	32,0	24,0	42,7	0,683	0,001	0,173
NOD ¹¹	335	486	632	436	228	346	47,7	0,070	0,015	0,556

Coefficiente de variação. R^2 =Coeficiente de determinação. Equação de regressão:

$$^1\hat{Y}=7,448-1,2849x \text{ (R}^2=0,734)$$

$$^2\hat{Y}=3,8165-0,4835x \text{ (R}^2=0,606)$$

$$^3\hat{Y}=2,0253-0,4207x \text{ (R}^2=0,867)$$

$$^4\hat{Y}=49,98-8,264x, \text{ (R}^2=0,934)$$

$$^5\hat{Y}=27,67-3,678x, \text{ (R}^2=0,957)$$

$$^6\hat{Y}=12,44-1,593x, \text{ (R}^2=0,930)$$

$$^7\hat{Y}=15,23-2,084x, \text{ (R}^2=0,973)$$

$$^8\hat{Y}=18,67-3,674x, \text{ (R}^2=0,886)$$

$$^9\hat{Y}=0,344-0,075x, \text{ (R}^2=0,857)$$

$$^{10}\hat{Y}=84,25-15,7x, \text{ (R}^2=0,968)$$

$$^{11}\hat{Y}=677,4-106,6x, \text{ (R}^2=0,651)$$

Na tabela 6, ainda vemos que o nível de sombreamento e a adubação fosfatada influenciaram isoladamente na largura final da folha ($P<0,05$). O nível de 50% de sombreamento apresentou diferença estatística entre plantas adubadas, ou não. Outra resposta do estilosantes cv. Campo Grande ao maior grau de sombra foi o aumento do comprimento final da folha na presença de fósforo e com efeito linear crescente ($P<0,05$) para o sombreamento, que atingiu 3,21 cm em 80 % de sombreamento.

Aos 28 dias, a adubação fosfatada teve efeito isolado ($P<0,05$) na largura final da folha e no número de inflorescências. Já, aos 56 dias somente, o comprimento final da folha teve efeito isolado da adubação. Aos 84 dias, a taxa de alongamento do estolão, o comprimento final do estolão, o número de folhas vivas, o número de ramos secundários e a altura do estilosantes tiveram influência da adubação isolada ($P<0,05$). O sombreamento teve efeito quadrático ($P<0,05$) na duração de vida da folha com o ponto máximo de 40,8 dias, em um sombreamento máximo de 35%. O sombreamento teve efeito linear crescente ($P<0,05$) sobre o comprimento final e a largura final da folha aos 28 dias. O valor encontrado para LFF no nível de 80% de sombra foi 26% superior a das plantas sem sombreamento. O pecíolo também cresceu linearmente conforme o grau de sombra ofertado. O Estilosantes sem sombra teve 0,21 cm de diferença para as plantas mais sombreadas, evidenciando a adaptação ao ambiente sem luz com crescimento do comprimento do pecíolo. A altura das plantas foi maior na presença de fósforo e apresentou efeito linear crescente ($P<0,05$) no estilosantes, mostrando o crescimento da planta em altura na busca pela luz (Tabela 6).

Aos 56 dias, o nível de sombreamento ($P<0,05$) teve efeito quadrático para o filocrono com um valor máximo de 6,1, com 53% de sombreamento. O comprimento final da folha teve efeito linear crescente do nível de sombreamento. As folhas mais

compridas foram encontradas no regime de 80% de sombra. O Sombreamento, isoladamente, teve efeito linear crescente na largura final da folha, com as folhas mais largas no regime de 80% de sombra, pois precisam de mais área para absorção de luz. O sombreamento também influenciou de maneira linear crescente ($P < 0,05$) no comprimento de pecíolo, indicando que folhas maiores e com pecíolos maiores são uma resposta morfológica do estilantes a ambientes sombreados. A altura das plantas com as maiores plantas encontradas no ambiente mais sombreado, indicando a procura de luz. O NI teve efeito linear decrescente ($P < 0,05$) indicando uma interrupção no ciclo fenológico do estilantes em maiores níveis de sombreamento, não fechando o ciclo de reprodução. A altura do estilantes aos 56 dias teve efeito quadrático ($P < 0,05$) do sombreamento, com uma altura máxima de 15,9cm, com 40% de sombreamento.

Na tabela 6, ao final de 84 dias de experimento, a taxa de alongamento e o comprimento final do estolão teve efeito linear crescente ($P < 0,05$) do sombreamento. O sombreamento também teve efeito linear crescente ($P < 0,05$) no comprimento do pecíolo.

Tabela 6. Morfogênese de estilantes Campo Grande, cultivado com 0, 30, 50 e 80% de sombreamento e submetido a adubação ou não de 150 kg de $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ após o período de 28, 56 e 84 dias.

Item	kg/ha de P_2O_5		SO %				CV%	P		
	0	150	0	30	50	80		P_2O_5	SO	$P_2O_5 \times SO$
28 Dias										
TApF	0,19	0,17	0,18	0,16	0,18	0,19	15,8	0,160	0,106	0,399
FILO	5,48	5,94	5,56	6,28	5,81	5,20	15,1	0,104	0,059	0,305
TALE	0,55	0,51	0,48	0,57	0,52	0,53	21,5	0,255	0,355	0,807
CFE	15,2	14,1	13,4	16,04	14,50	14,87	21,6	0,273	0,346	0,808
NFV	6,7	6,6	6,50	6,80	6,70	6,73	10,0	0,434	0,780	0,170
DVF¹	36,7	38,9	35,8	42,42	38,50	34,63	13,0	0,167	0,006	0,234
CFF²	2,5	2,5	2,07	2,52	2,58	3,11	14,6	0,760	0,001	0,788
LFF³	1,32	1,24	1,09	1,30	1,24	1,49	8,7	0,049	0,001	0,511
NRS	4,0	4,4	4,53	4,96	3,80	3,66	37,9	0,349	0,242	0,634
CP⁴	0,61	0,57	0,45	0,58	0,62	0,72	18,6	0,203	0,001	0,499
NI	3,1	5,0	4,1	5,60	4,20	2,30	67,9	0,036	0,084	0,109
ALT⁵	28,7	29,5	25,5	29,9	28,9	32,1	13,5	0,544	0,006	0,373
56 Dias										
TAPF	0,18	0,18	0,20	0,16	0,18	0,18	16,3	0,339	0,070	0,917
FILO⁶	5,8	5,6	5,1	6,3	5,5	5,7	16,5	0,473	0,044	0,918
TAIE	10,2	12,6	10,4	13,3	10,9	11,0	34,3	0,065	0,397	0,929
CFE	0,37	0,45	0,37	0,48	0,39	0,40	34,3	0,064	0,377	0,925

NFV	6,4	6,9	6,6	6,2	7,0	6,8	15,9	0,217	0,408	0,485
DVF	37,3	37,7	33,7	39,0	38,5	38,9	13,3	0,783	0,070	0,737
CFF⁷	2,54	2,96	2,23	2,70	2,97	3,11	16,1	0,005	0,001	0,282
LFF⁸	1,19	1,32	1,06	1,22	1,30	1,42	16,3	0,054	0,004	0,175
CP⁹	0,57	0,61	0,51	0,52	0,61	0,72	16,4	0,236	0,001	0,796
NI¹⁰	0,30	0,25	0,37	0,56	0,07	0,10	15,6	0,700	0,026	0,954
ALT¹¹	18,5	18,7	20,9	16,2	16,4	20,8	15,2	0,847	0,002	0,331
NRS	0,66	1,61	1,73	1,90	0,50	0,43	8,1	0,005	0,002	0,024
84 Dias										
TAPF	0,19	0,20	0,19	0,20	0,19	0,19	13,7	0,441	0,556	0,413
FILO	5,3	5,2	5,4	5,1	5,4	5,2	14,7	0,628	0,794	0,585
TAIE¹²	11,3	15,9	11,5	12,7	12,4	17,9	20,7	<0,001	<0,001	0,624
CFE¹³	0,41	0,57	0,41	0,46	0,44	0,64	20,7	<0,001	<0,001	0,641
NFV	6,41	7,17	6,60	7,36	6,18	7,03	11,7	0,005	0,135	0,763
DVF	34,2	37,1	35,3	37,1	33,2	36,9	13,7	0,074	0,280	0,103
CFF	2,44	2,82	2,06	2,32	2,78	3,37	7,4	<0,001	<0,001	0,013
NRS	0,70	2,58	1,93	2,16	1,10	1,36	22,9	<0,001	0,151	0,641
NI	0,12	0,32	0,36	0,37	0,13	0,00	18,7	0,129	0,138	0,632
CP¹⁴	0,49	0,53	0,40	0,46	0,56	0,62	18,3	0,160	<0,001	0,188
ALT	20,2	25,1	22,6	22,1	22,8	23,0	17,7	0,006	0,966	0,068

CV: Coeficiente de variação. R²=Coeficiente de determinação. Equação de regressão:

$$^1\hat{Y}=36,295+0,2517x-0,0035x^2 \text{ (R}^2=0,827\text{)}$$

$$^2\hat{Y}=2,0734+0,0124x \text{ (R}^2=0,960\text{)}$$

$$^3\hat{Y}=1,0996+0,0045x \text{ (R}^2=0,832\text{)}$$

$$^4\hat{Y}=0,4579+0,0033x \text{ (R}^2=0,977\text{)}$$

$$^5\hat{Y}=26,15+0,075x \text{ (R}^2=0,842\text{)}$$

$$^6\hat{Y}=5,2393+0,0322x-0,0003x^2 \text{ (R}^2=0,436\text{)}$$

$$^7\hat{Y}=0,0112x + 2,3044 \text{ (R}^2=0,938\text{)}$$

$$^8\hat{Y}=1,073+0,0044x \text{ (R}^2=0,994\text{)}$$

$$^9\hat{Y}=0,4784+0,0028x \text{ (R}^2=0,906\text{)}$$

$$^{10}\hat{Y}=20,918-0,2438x+0,003x^2 \text{ (R}^2=0,998\text{)}$$

$$^{11}\hat{Y}=0,3826+0,0027x \text{ (R}^2=0,744\text{)}$$

$$^{12}\hat{Y}=10,712+0,0744x \text{ (R}^2=0,744\text{)}$$

$$^{13}\hat{Y}=10,712+0,0744x \text{ (R}^2=0,744\text{)}$$

$$^{14}\hat{Y}=0,3939+0,0029x \text{ (R}^2=0,960\text{)}$$

A interação foi significativa (P<0,05) com efeito linear decrescente para o número de ramos secundários, nas plantas adubadas com fósforo ao final de 56 dias (Tabela 7). A adubação fosfatada teve efeito (P<0,05) na ramificação. O sombreamento teve efeito (P<0,05) direto na ramificação dos estiolantes. Por ser uma espécie de hábito rasteiro, o nível de 80% teve 11 vezes menos ramificações secundárias do que as plantas adubadas e sem sombreamento. Esse perfilhamento secundário é uma característica das leguminosas forrageiras.

Ao final de 84 dias, de experimento a interação foi significativa ($P < 0,05$) com efeito quadrático para o estilosantes não adubado e linear para as plantas adubadas na largura final da folha (Tabela 7). O maior sombreamento proporcionou uma alteração morfológica nas plantas, fazendo com que as folhas do regime de 80% de sombra fossem 33% mais largas do que as plantas sem sombreamento. Essa adaptação nas folhas do estilosantes corrobora com a ideia de adaptação da planta para melhorar a eficiência fotossintética com a maior largura das folhas.

Tabela 7. Número de ramos secundários em estilosantes Campo Grande, cultivado com 0, 30, 50 e 80% de sombreamento e submetido à adubação ou não de 150 kg de $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ após o período de 56 dias.

Kg/ha de P	Sombreamento (%)				Média
	0	30	50	80	
Número de ramos secundários (56 dias)					
0 ¹	0,46b	1,40a	0,20a	0,60a	0,66
150 ²	3,00a	2,40a	0,80a	0,27a	1,61
Média	1,73	1,90	0,50	0,43	1,14
CV (%)	87,84				
Largura Final da Folha (cm) (84 dias)					
0 ³	1,03a	1,13a	1,15b	1,50a	1,20
150 ⁴	1,08a	1,21a	1,46a	1,62a	1,34
Média	1,06	1,17	1,30	1,56	1,27
CV (%)	8,1				
Comprimento Final da Folha (cm) (84 dias)					
0 ⁵	1,97a	2,18b	2,40b	3,21b	2,44
150 ⁶	2,14a	2,45a	3,15a	3,52a	2,82
Média	2,06	2,32	2,78	3,37	2,63
CV (%)	7,4				

CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas por letras diferentes diferem na coluna ($P < 0,05$) pelo teste F. R^2 =Coeficiente de determinação. Equação de regressão:

$$^1\hat{Y}=Y=0,66$$

$$^2\hat{Y}=4,062-0,979x(R^2=0,957)$$

$$^3\hat{Y}=1,153-0,169x+0,06x^2,(R^2=0,937)$$

$$^4\hat{Y}=0,879+0,185x,(R^2=0,984)$$

$$^5\hat{Y}=1,5305+0,4391x(R^2=0,972)$$

$$^6\hat{Y}=1,607+0,483x, (R^2=0,978)$$

O maior sombreamento proporcionou uma alteração morfológica nas plantas, fazendo com que as folhas do regime de 80% de sombra fossem 33% mais largas do que as plantas sem sombreamento. Essa adaptação nas folhas do estilosantes corrobora

com a ideia de adaptação da planta, para melhorar a eficiência fotossintética com a maior largura das folhas.

Azevedo et al. (2009) definiram que a performance de plantas de estilosantes Campo Grande obtida durante estabelecimento com nível alto (75%) de sombreamento, indicava-o para implantação em sistemas silvipastoris, agrossilvipastoris ou em consorciações com plantas comerciais. O estilosantes cv. Campo Grande, ao final do experimento respondeu com um maior crescimento no caule e no pecíolo da folha em ambiente, a 80% de sombreamento. O nível de sombreamento influenciou de forma linear ($P < 0,05$) para que as plantas, submetidas a 80% de sombreamento, tivessem o maior comprimento final do estolão, em torno de 17,97 cm.

Resultados semelhantes foram encontrados em Azevedo et al. (2010) que observaram efeitos significativos do sombreamento no estabelecimento de Estilosantes Campo Grande nos percentuais de (0, 25, 50 e 75%) nas variáveis: altura de planta (AP), área foliar (AF), número de folhas (NF), massa seca de caule (MSC), massa seca de folha (MSF), massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca total (MST), área foliar específica (AFE) e razão de área foliar (RAF), e em 75% de sombra, encontraram uma altura média de 62 cm/vaso, comparado com 12 cm/vaso no tratamento a pleno sol.

Otsubo et. al. (2011) avaliaram a produção de matéria seca de *Stylosanthes capitata* com cinco doses de fósforo (0; 40; 80; 120 e 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e dois cortes e constataram que a adubação fosfatada aumentou a produção de matéria seca da parte aérea do estilosantes. Lopes et al. (2011) estudaram o *Stylosanthes guianensis* com cinco doses de P (50, 100, 200, 400 e 800 mg dm⁻³ de solo) e dois tipos de corretivo (calcário dolomítico e silicato de Ca e Mg). A adubação que esteve associada ao silicato aumentou a produção de matéria seca de raízes, a nodulação e o acúmulo dos nutrientes P, N, Ca e Zn.

Azevedo et. al. (2009) estudaram os efeitos do sombreamento no estabelecimento de Estilosantes Campo Grande nos sombreamento de (0, 25, 50 e 75%) nas variáveis, altura de planta (AP), área foliar (AF), número de folhas (NF), massa seca de caule (MSC), massa seca de folha (MSF), massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca total (MST), área foliar específica (AFE) e razão de área foliar (RAF).

Lázaro et. al. (2009) verificaram a interferência de três níveis de sombreamento (sem sombreamento; 30% e 50%) no desempenho de nove caracteres de crescimento, em cinco genótipos de *Stylosanthes guianensis*. Constataram que houve variabilidade de

resposta ao sombreamento entre os genótipos, e que houve interferência dos níveis de sombreamento no desempenho vegetativo de genótipos de *Stylosanthes guianensis*.

Lopes *et. al.* (2011), ao avaliar o efeito da aplicação de fósforo na implantação de estilosantes Mineirão em consórcio com capim-xaraés (*Brachiaria brizantha* cv. xaraés), aos 65 dias após a semeadura, aumentou o comprimento de folíolo, a largura de folíolo e a altura do estilosantes Mineirão, com a aplicação de 25 a 50 kg/ha de P_2O_5 . A adubação fosfatada de estabelecimento de 44 kg/ha de P_2O_5 garantiu a maior população inicial de plantas de estilosantes Mineirão, em consórcio com o capim-xaraés.

Moura *et. al.* (2014) avaliaram a altura das plantas, o índice de área foliar (IAF), a massa de forragem e a interceptação luminosa (IL) de plantas de estilosantes Campo Grande, em cinco intervalos de corte (30, 35, 40, 45 e 50 dias), na presença e na ausência da adubação fosfatada (50 kg/ha P_2O_5) e constataram que a adubação fosfatada não teve efeito sobre a altura, IAF, IL e massa de forragem.

Anicésio *et. al.* (2014), ao avaliar as características estruturais da cv. campo grande submetida a níveis diferentes de saturação por bases (V%) em Latossolo Vermelho de Cerrado, não encontrou diferença significativa ($p>0,05$) para o número e massa seca de nódulos, e a massa seca de raiz em função dos níveis de saturação por bases. O Estilosantes Campo Grande respondeu linearmente a saturações por bases até 60% em Latossolo Vermelho de Cerrado.

Gomes *et. al.* (2015) acompanharam a altura de plantas, o número de folhas totais e vivas, a composição química e a produção de massa seca no primeiro corte e aos 21 dias de rebrota, do Estilosantes cv. campo grande, sob diferentes níveis de potássio (K_2O), com e sem zinco (Zn). Foram utilizados quatro níveis de K_2O (0; 120; 240 e 360 mg/dm³), com e sem Zn (0 e 6 mg/dm³). Não houve efeito da interação níveis de (K_2O) e Zn, nem efeitos independentes de níveis de K_2O e de Zn sobre as características estruturais do estilosantes cv. Campo Grande.

Conclusões

A adubação fosfatada teve efeito isolado na largura final da folha e no número de inflorescências, comprimento final da folha, o comprimento final do estolão, a taxa de alongamento do estolão, o número de ramos com crescimento secundário e na altura final das plantas, sendo uma boa indicação para o estabelecimento estilosantes Campo Grande cultivado com sombreamento.

O estilosantes tolera baixos níveis de sombreamento, tornando-se indicada para implantação em sistemas silvipastoris.

Referências

- ALVAREZ, V.H.; RIBEIRO, A.C. Calagem. In: Comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais (CFSMG). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª aproximação, p. 41-60, 1999.
- ANICÉSIO, E.C.A.; SILVA, E.M.B.; OLIVEIRA, J.R.; BARBOSA, C.K.; SILVA, T.J.A. Leguminosa forrageira Estilosantes Campo Grande submetida à calagem em Latossolo do cerrado mato-grossense. **CERRADO AGROCIÊNCIAS**, v.5, p 23-32, 2014.
- AZEVEDO, B.C.; SOUTO, S.M.; DIAS, P.F.; COLOMBARI, A.L.; VIEIRA, M.S.; MATTA, P.M. Estabelecimento da leguminosa forrageira Estilosantes Campo Grande em condição de sombreamento. **Embrapa Agrobiologia**, Documentos n.206, 2009.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E AGROPECUÁRIA -EMBRAPA. [2007]. **Cultivo e uso do estilosantes-campo-grande**. Disponível em: <<http://www.cnpqg.embrapa.br/publicacoes/cot/pdf/Cot105.pdf>> Acesso em: 4/7/2017.
- EUCLIDES, V.P.V.; VALLE, C.B.; MACEDO, M.C.M.; ALMEIDA, R.G.; MONTAGNER, D.B.; BARBOSA, R.A. Brazilian scientific progress in pasture research during the first decade of XXI century **Revista Brasileira de Zootecnia**,v.39, p.151-168, 2010.
- LÁZARO, C.C.M.; RAMOS, L.M.; RODRIGUES, T.J.D.; FILHO, A.C.; MUNARI, D.P.; PATERNIANI, M.L.S. Interferência do sombreamento no desempenho de genótipos de *Stylosanthes guianensis*. **Científica**, v.37, n.1, p.1-8, 2009.
- LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D. Tissue fluxes in grazing plant communities. In: HODGSON, J. & ILLIUS, A. W. (Eds.). **The ecology and management of grazing systems**. Wallingford: CAB International, 1996. p. 3-36.
- LOPES, J.; EVANGELISTA, A.R.; PINTO, J.C.; QUEIROZ, D.S.; MUNIZ, J.A. Doses de fósforo no estabelecimento de capim-xaraés e estilosantes Mineirão em consórcio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40 n.12, p.2658-2665, 2011.
- LOPES, J.; EVANGELISTA, A.R.; FORTES, C.A.; PINTO, J.C.; NETO, A.E.F.; SOUZA, R.M. Nodulação e produção de raízes do estilosantes Mineirão sob efeito de calagem, silicatagem e doses de fósforo. **Ciência e agrotecnologia**, v.35, n.1, p. 99-107, 2011.
- MAGALHÃES, R.T.; CORRÊA, D.S. Degradabilidade in situ da matéria seca e fração fibrosa do estilosantes Campo Grande. **Arquivo brasileiro de medicina veterinária e zootecnia**, v.64, n.3, p.702- 710, 2012.
- MIRANDA, C.H.B.; FERNANDES, C.D.; CADISCH, G. Quantifying the nitrogen fixed by *Stylosanthes*. **Pasturas tropicales**, v.21, n.1, p.64-69, 1999.

MOURA, R.L.; NASCIMENTO, M.P.S.; RODRIGUES, M.R.; OLIVEIRA, M.E. LOPES, J. B. Características estruturais, interceptação de luz e massa de forragem em diferentes intervalos de corte do estilosantes Campo Grande. **Revista científica de produção animal**, v.16. n1. P.17-24, 2014.

OTSUBO, A. A; BRITO, O. R; SCHNITZER, J. A; OTSUBO, V. H. N. Produção de matéria seca de *Stylosanthes capitata* submetido à adubação fosfatada em solos com diferentes texturas. **Semina: ciências agrárias**, v.32, p.1677-1686, 2011.

SILVA, M.P. Estilosantes – *Stylosanthes* spp. **Fauna e Flora do Cerrado**, Campo Grande, Junho 2004. Disponível em: <<http://cloud.cnpqc.embrapa.br/faunaeflora/plantas-forrageiras/estilosantes-stylosanthes-spp>> Acesso em: **19, Maio de 2017**.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5ªed. Ed: Artmed. Porto Alegre. 954 p. 2013.

VERZIGNASSI, J.R.; FERNANDES, C.D. Estilosantes Campo Grande: situação atual e perspectivas. **Comunicado Técnico**, EMBRAPA-CNPQC, n.70, 2002.

IV CONSIDERAÇÕES FINAIS

A espécie florestal mogno africano mostrou capacidade de tolerar a deficiência hídrica em até 25 dias. A adubação fosfatada favoreceu uma maior tolerância ao mogno africano (*Khaya senegalensis*), quando em estresse hídrico.

O capim marandú, quando adubado, apresenta respostas positivas quanto à produção e crescimento, mesmo em condições de sombreamento.

O estilosantes Campo grande, quando adubado, resulta em maior produção de matéria seca, sendo uma boa indicação para aumentar a produção em condições de sombreamento.