



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

MARIA DA ASSUNÇÃO MACHADO ROCHA

RESPOSTAS MORFOLÓGICAS E FISIOLÓGICAS DE ESPÉCIES LENHOSAS
SOB ESTRESSE HÍDRICO, EM SOLO COM E SEM ADIÇÃO DE MATÉRIA
ORGÂNICA

FORTALEZA

2014

MARIA DA ASSUNÇÃO MACHADO ROCHA

**RESPOSTAS MORFOLÓGICAS E FISIOLÓGICAS DE ESPÉCIES LENHOSAS SOB
ESTRESSE HÍDRICO, EM SOLO COM E SEM ADIÇÃO DE MATÉRIA
ORGÂNICA**

Dissertação de mestrado apresentado a Pós-Graduação em Agronomia, Solos e Nutrição de Plantas do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará – UFC, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em agronomia, Área de concentração Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda

FORTALEZA

2014

MARIA DA ASSUNÇÃO MACHADO ROCHA

**RESPOSTAS MORFOLÓGICAS E FISIOLÓGICAS DE ESPÉCIES LENHOSAS
SOB ESTRESSE HÍDRICO, EM SOLO COM E SEM ADIÇÃO DE MATÉRIA
ORGÂNICA**

Dissertação de mestrado apresentado a Pós-Graduação em Agronomia, Solos e nutrição de plantas do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará – UFC, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em agronomia, Área de concentração Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda

Dissertação aprovado em: 30/06/2014.

BANCA EXAMINADORA

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

Dr. Carlos Henrique Carvalho de Sousa
Universidade Federal do Ceara-UFC

Dr. Marlos Alves Bezerra
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

*Aos meus pais Assis e Maria,
aos meus irmãos Rocha, Marta, Izabel, Carlos e Sérgio
e aos meus amigos pelo
apoio e dedicação.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, em primeiro lugar pela a realização desta conquista.

Ao meu orientador Prof. Claudivan Feitosa de Lacerda, por aceitar me orientar, pela dedicação, confiança, amizade, compreensão e aprendizado.

Ao Programa de Pós-Graduação em solos e nutrição de plantas, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq pela concessão da bolsa de estudos e formação profissional.

Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade – INCTSAL pelo apoio financeiro para realização deste trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas que fizeram parte da minha formação: Tiago Osório, Mirian Cristina, Paulo Furtado, Vânia Felipe, Assis Júnior, Jaedson Mota, Fernando Hernandez, Maria Eugênia, e em especial ao prof. Boanerges Aquino pelas risadas pelo aprendizado, muito obrigada.

Aos professores Fernando Felipe Ferreyra Hernandez e Enéas Gomes Filho pela disponibilização de materiais e equipamentos de seus respectivos laboratórios.

Ao Hernandes Oliveira Feitosa que me ajudou durante todo experimento, pela companhia, pela amizade e pelas risadas.

A minha amiga Francisca Edineide Lima Barbosa, sempre que precisei estava disposta a me ajudar, pela companhia, apoio e amizade.

Ao Carlos Henrique pela ajuda durante as avaliações do experimento, quando o prof. Claudivan não podia estar presente.

Ao Francisco Jardelson pela ajuda durante a montagem do experimento.

Ao Magnum de Sousa pelo auxílio nas análises estatísticas.

As minhas amigas Juciane Maria e Isabel Cristina pela amizade, companhia e apoio.

A todos que participaram de forma indireta para a realização deste trabalho.

Muito Obrigada!!!

*“Dizem que a vida é para quem sabe viver,
mas ninguém nasce sabendo.
A vida é para quem é corajoso o suficiente para se arrisca
e humilde o bastante para aprender”.*

Clarice Lispector

RESUMO

A baixa disponibilidade de água no solo é um dos fatores mais limitantes para o crescimento e sobrevivência das plantas. O objetivo deste trabalho foi avaliar as respostas dos processos morfológicas e fisiológicas na fase inicial do crescimento do guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess), mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev) e oiti (*Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch) durante a imposição do estresse hídrico severo e a reidratação, em solo com e sem adição de matéria orgânica. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Estação Meteorológica do Departamento de Engenharia Agrícola da UFC, localizada em Fortaleza-CE. O delineamento experimental foi em blocos inteiramente casualizados, em arranjo fatorial 3 x 2 x 2, sendo composto por três espécies (guanandi, mogno africano e oiti), dois regimes hídricos (irrigado e não irrigado) e dois níveis de adubação orgânica (com e sem adição de matéria orgânica), com cinco blocos e com duas plantas por repetição. A irrigação foi suspensa por 15 dias em metade das plantas, enquanto que a outra metade (controle) recebeu irrigação continuamente. Ao final do período de estresse as plantas voltaram a ser irrigadas durante 15 dias para a determinação da recuperação, assim o experimento durou 30 dias. Foram realizadas as seguintes avaliações: umidade gravimétrica do solo (θ), potencial hídrico foliar (Ψ_w), crescimento, trocas gasosas foliares, índice relativo de clorofila (IRC), e teores de nutrientes foliares. O estresse hídrico reduziu potencial hídrico foliar afetando o crescimento, a absorção de nutrientes e as respostas fisiológicas das plantas no período de estresse. Sendo que no período de recuperação as plantas recuperam a turgescência, mas a recuperação do crescimento, das trocas gasosas e do acúmulo de nutrientes apresentou-se mais lento, sugere que essas plantas necessitam de um período maior de recuperação. A adição de matéria orgânica no solo favoreceu a retenção de água permitindo o fornecimento para as plantas durante o déficit hídrico reduzindo os efeitos deletérios do estresse hídrico sobre o crescimento, as funções fisiológicas e o acúmulo de nutriente no período de estresse. Sendo que no período de reidratação o solo com esse insumo as plantas tiveram uma melhor recuperação, devido à redução dos efeitos negativos induzidos pelo estresse hídrico.

Palavras-chaves: seca, adubação orgânica, potencial hídrico, trocas gasosas, nutrição.

ABSTRACT

The low availability of water in the soil is one of the most limiting factors to plants growth and survival. The objective of this work was to evaluate the responses of morphological and physiological processes in the early stage of growth of guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess), african mahogany (*Khaya ivorensis* A. Chev) and oiti (*Licania tomentosa* (Benth) Fritsch) for the imposition of severe water stress and rehydration in soil with and without organic matters The experiment was conducted in a greenhouse at the Meteorological Station of the Department of Agricultural Engineering of the UFC , located in Fortaleza (CE). The experimental design was a complete randomized block, factorial 3 x 2 x 2, formed by three species (Guanandi, Mogno Africano and Oiti) two water regimes (irrigated and non- irrigated) and two levels of organic manure (with and without addition of organic matter), with five blocks and two plants per replication. Irrigation was suspended for 15 days on half of the plants , while the other half (controls) received irrigation continuously. At the end of the stress period the plants were again irrigated for 15 days for determination of recovery, as the experiment lasted 30 days. The following evaluations were performed: gravimetric soil moisture (θ), leaf water potential (Ψ_w), plant growth, leaf gas exchange, relative chlorophyll index and leaf concentration of mineral nutrients. Drought stress decreased leaf water potential affecting growth, nutrient uptake and physiological responses of plants during the period of stress. And in the recovery period the plants recover turgor, but the recovery in growth, gas exchange and nutrient accumulation presented slower, suggests the these plants require a longer period of recovery. The addition of organic matter in the soil favored the retention of water allowing the water supply to the plants during water deficit by reducing the deleterious effects of water stress on growth, physiological functions and nutrient accumulation during stress. Whereas in the soil with this input period rehydration plants had a better recovery due to reducing the negative effects induced by water stress.

Keywords: drought, organic fertilization, water potential, gas exchanges, Nutrition.

LISTA DE FIGURA

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Croqui referente à área experimental..... | 29 |
| Figura 2 - Ilustração das espécies com respectivos tratamentos | 30 |
| Figura 3 - Umidade gravimétrica do solo em três espécies em função do regime hídrico (A) e da adubação orgânica (B) no período de estresse..... | 35 |
| Figura 4 - Umidade gravimétrica do solo em três espécies em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de recuperação | 36 |
| Figura 5 - Potencial hídrico foliar em três espécies (A) em função do regime hídrico e da adubação orgânica (B) no período estresse | 36 |
| Figura 6 - Potencial hídrico foliar em três espécies guanandi (A), oiti (B) e mogno africano (C) em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse e de recuperação | 38 |
| Figura 7 - Altura da planta em três espécies (A) em função do regime hídrico (B) e da adubação orgânica no período de estresse | 39 |
| Figura 8 - Diâmetro do caule, em três espécies em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse | 40 |
| Figura 9 - Número de folha em três espécies guanandi (A), oiti (B) e mogno africano (C) em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse. | 41 |
| Figura 10 - Massa seca da parte aérea em três espécies guanandi (A), oiti (B) e mogno africano (C) em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse | 42 |
| Figura 11 - Massa seca da raiz aérea em três espécies (A) em função do regime hídrico e da adubação orgânica (C) no período de estresse..... | 43 |
| Figura 12 - Massa seca total em três espécies em função do regime hídrico (A) e da adubação orgânica (B) no período de estresse..... | 44 |
| Figura 13 - Relação parte aérea/raiz em três espécies (A) em função do regime hídrico (B) e da adubação orgânica (C) no período estresse..... | 45 |
| Figura 14 - Área foliar em três espécies em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período estresse..... | 46 |
| Figura 15 - Condutância estomática em três espécies em função do regime hídrico (A) e da adubação orgânica (B) no período de estresse..... | 47 |
| Figura 16 - Condutância estomática diária em três espécies em função do regime hídrico (A) e da adubação orgânica (B) no período de estresse..... | 48 |

| | |
|--|----|
| Figura 17 - Taxa de transpiração em três espécies (A) função do regime hídrico (B) e da adubação orgânica (C) no período de estresse..... | 49 |
| Figura 18 - Taxa de transpiração diária em três espécies (A) função do regime hídrico (B) e da adubação orgânica (C) no período de estresse | 50 |
| Figura 19 - Taxa de fotossíntese líquida em três espécies (A) em função do regime hídrico (B) e da adubação orgânica (C) no período estresse..... | 51 |
| Figura 20 - Taxa de fotossíntese líquida diária em três espécies (A) em função do regime hídrico (B) e da adubação orgânica (C) no período estresse | 52 |
| Figura 21 - Relação Ci/Ca em três espécies (A) em função do regime hídrico e da adubação orgânica (B) no período estresse | 53 |
| Figura 22 - Relação Ci/Ca diária em três espécies guanandi (A), oiti (B) e mogno africano (C) em função do regime hídrico e da adubação orgânica (B) no período de estresse..... | 54 |
| Figura 23 - Índice relativo de clorofila em três espécies em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse | 55 |
| Figura 24 - Teor de K em três espécies guanandi (A), oiti (B) e mogno africano (C) em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse | 57 |
| Figura 25 - Teor de P em três espécies em função do regime hídrico (A) e da adubação orgânica (B) no período de estresse..... | 58 |
| Figura 26 - Teor de Ca em três espécies (A) em função do regime hídrico (B) e da adubação orgânica (C) no período de estresse..... | 59 |
| Figura 27- Teor de Mg em três espécies guanandi (A), oiti (B) e mogno africano (C) em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período estresse..... | 60 |
| Figura 28 - Condutância estomática em três espécies guanandi (A), oiti (B) e mogno africano (C) em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse e de recuperação | 64 |
| Figura 29 - Taxa de transpiração em três espécies guanandi (A), oiti (B) e mogno africano (C) em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse e de recuperação | 65 |
| Figura 30 - Taxa de fotossíntese líquida em três espécies guanandi (A), oiti (B) e mogno africano (C) em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse e de recuperação | 67 |
| Figura 31 - Teor de K em três espécies guanandi (A), oiti (B) e mogno africano (C) em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse e de recuperação | 69 |

| | |
|---|----|
| Figura 32 - Teor de P em três espécies guanandi (A), oiti (B) e mogno africano (C) em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse e de recuperação..... | 70 |
| Figura 33 - Teor de Ca em três espécies guanandi (A), oiti (B) e mogno africano (C) em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse e de recuperação..... | 71 |
| Figura 34 - Teor de Mg em três espécies guanandi (A), oiti (B) e mogno africano (C) em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse e de recuperação..... | 72 |

LISTA DE TABELA

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Resultado da análise química do solo..... | 27 |
| Tabela 2 - Resultado da análise física do solo | 28 |
| Tabela 3 - Resumo da análise de variância da umidade gravimétrica do solo (Θ) em três espécies em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse e de recuperação..... | 34 |
| Tabela 4 - Resumo da análise de variância para altura da planta (ALT), diâmetro do caule (DC) e número de folhas (NF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST), relação parte aérea raiz (RPA/R) e área foliar (AF) em três espécies em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse..... | 39 |
| Tabela 5 - Resumo da análise de variância para condutância estomática (g_s), taxa de transpiração (E), taxa de fotossíntese líquida (A), relação C_i/C_a , potencial hídrico (Ψ_w) índice relativo de clorofila (IRC) em três espécies em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse..... | 47 |
| Tabela 6 - Resumo da análise de variância para os teores de nutrientes foliares em três espécies em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse..... | 56 |
| Tabela 7 - Taxa de crescimento absoluto (TCA) e taxa de crescimento relativo (TCR) da altura da planta, diâmetro do caule e o número de folha em três espécies em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de recuperação | 62 |
| Tabela 8 - Taxa de crescimento absoluto (TCA) e taxa de crescimento relativo (TCR) da massa seca da raiz, parte aérea e total em três espécies em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de recuperação | 63 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|----------------------|---|
| A | Taxa de fotossíntese |
| AF | Área foliar |
| ALT | Altura da planta |
| CI | Solo com matéria orgânica e irrigada |
| Ci/Ca | Relação CO ₂ interno e atmosférico |
| CMO | Solo com matéria orgânica |
| CNI | Solo com matéria orgânica e não irrigada |
| DC | Diâmetro do caule |
| <i>E</i> | Taxa de transpiração |
| <i>g_s</i> | Condutância estomática |
| I | Solo irrigado |
| IRC | Índice relativo de clorofila |
| MSPA | Massa seca da parte aérea |
| MSR | Massa seca da raiz |
| MST | Massa seca total |
| NF | Número de folha |
| NI | Solo não irrigado |
| RPA/R | Relação parte aérea/raiz |
| SI | Solo sem matéria orgânica e irrigado |
| SMO | Solo sem matéria orgânica |
| SNI | Solo sem matéria orgânica e não irrigado |
| TRAF | Taxa relativa de aparecimento de folhas |
| TRC | Taxa relativa de crescimento |

SÚMÁRIO

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 16 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA | 18 |
| 2.1 | Espécies estudadas | 18 |
| 2.1.1 | <i>Guanandi (Calaphyllum brasiliense Cambess)</i> | 18 |
| 2.1.2 | <i>Mogno africano (Khaya ivorensis A. Chev)</i> | 19 |
| 2.1.3 | <i>Oiti (Licania tomentosa (Benth.)Frisch</i> | 19 |
| 2.2 | Estresse hídrico | 20 |
| 2.3 | Resposta ao estresse hídrico..... | 22 |
| 2.4 | Recuperação do estresse hídrico..... | 23 |
| 2.5 | Espécies lenhosas versus estresse hídrico | 24 |
| 2.6 | Matéria orgânica..... | 25 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS | 27 |
| 3.1 | Característica da área experimental..... | 27 |
| 3.2 | Delineamento experimental e tratamentos | 28 |
| 3.3 | Avaliações | 31 |
| 3.3.1 | <i>Umidade gravimétrica do solo e potencial hídrico</i> | 31 |
| 3.3.2 | <i>Crescimento</i> | 31 |
| 3.3.3 | <i>Trocas gasosas e índice relativo de clorofila</i> | 31 |
| 3.3.4 | <i>Teores foliares de nutrientes</i> | 32 |
| 3.3.5 | <i>Avaliação de recuperação do crescimento das plantas</i> | 32 |
| 3.3.6 | <i>Avaliação de recuperação das trocas gasosas e teores de nutrientes foliares</i> | 33 |
| 4. | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 34 |
| 4.1 | Umidade do solo e potencial hídrico no período de estresse e recuperação | 34 |
| 4.2 | Respostas das plantas durante o período de estresse | 38 |
| 4.2.1 | <i>Crescimento</i> | 38 |
| 4.2.2 | <i>Trocas gasosas e índice relativo de clorofila</i> | 46 |
| 4.2.3 | <i>Teores de nutrientes foliares</i> | 56 |
| 4.3 | Indicadores da recuperação das plantas após o período de estresse..... | 61 |
| 4.3.1 | <i>Taxa de crescimento</i> | 61 |
| 4.3.2 | <i>Trocas gasosas</i> | 64 |
| 4.3.3 | <i>Teores de nutrientes foliares</i> | 68 |

| | | |
|----------|-------------------------|-----------|
| 5 | CONCLUSÃO..... | 73 |
| | REFERÊNCIAS..... | 74 |

1 INTRODUÇÃO

O semiárido nordestino é caracterizado por um balanço hídrico negativo, devido às baixas e irregulares precipitações pluviométricas com uma média anual inferior a 800 mm, insolação média de 2.800 h ano⁻¹ e temperaturas médias anuais de 23 a 27 °C. Estas condições causam elevada evapotranspiração e criam um déficit hídrico em quase toda a região (SUDENE, 2010).

O estresse hídrico ocorre geralmente na natureza durante toda a vida da planta, ou seja, as plantas sofrem períodos frequentes de déficit hídrico. Em resposta ao estresse muitas espécies, notadamente aquelas de ambientes secos, desenvolveram mecanismos para se adaptarem às condições de baixa disponibilidade de água no solo. Para muitas dessas espécies que vivem em ambientes áridos e semiáridos, a capacidade de resistir a longos períodos de estiagem e a capacidade de recuperar seu estado funcional após a reidratação podem ser atribuídas as diferentes capacidades de obtenção, transporte e conservação da água.

A água constitui a porção de maior volume celular, sendo que de toda a água absorvida pelas plantas a maior parte é perdida para a atmosfera através da transpiração, cerca de 2% são usadas para o aumento da expansão celular e 1 % para processos metabólicos, principalmente a fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2013). Por outro lado, a escassez de água no solo e a excessiva demanda evaporativa causam o fechamento estomático, limitando ao mesmo tempo a assimilação de carbono e o crescimento.

Além disso, as plantas desenvolvem mudanças nos mecanismos bioquímicos para lidar com escassez de água. Para prevenir a perda excessiva de água ocorre uma redução no translocamento de fotoassimilados e um acúmulo de uma mistura complexa de solutos orgânicos que protegem as células contra a desidratação através do ajuste osmótico. Esses solutos também podem ser importantes para a tolerância das plantas a ambientes estressantes, protegendo a integridade da membrana plasmática, facilitando a extração de água e mantendo a turgescência das células em ambientes muito secos.

Por outro lado, a seca torna-se mais difícil as plantas absorverem água, devido ao aumento da força de retenção reduzindo a disponibilidade para as plantas, desta forma nem toda água que o solo armazena é disponível para a planta. Entretanto, a retenção de água no solo depende de seus atributos, tais como: a textura, a estrutura, densidade e do teor de matéria orgânica. Acredita-se que o aumento no teor de matéria orgânica pode aumentar a retenção de umidade e mantendo-a disponível por mais tempo para as plantas, notadamente

em solos arenosos e de textura media.

Desta forma, a escassez hídrica afeta o crescimento inicial e o desenvolvimento de espécies lenhosas em seu ambiente natural. O conhecimento dos mecanismos de adaptação da seca e da recuperação após a deficiência hídrica garantem a escolha adequada das espécies adaptada para cada região, devido as diferentes estratégias para crescer ou sobreviver sob a escassez de água no solo.

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar as respostas dos processos morfológicas e fisiológicas na fase inicial do crescimento do guanandi (*Calophyllum brasilense* Cambess), mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev) e oiti (*Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch) durante a imposição do estresse hídrico severo e da reidratação, em solo com e sem adição de matéria orgânica.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Espécies estudadas

2.1.1 Guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess)

Calophyllum brasiliense Cambess cujo nome vulgar é guanandi ou jacareúba (NOLDIM *et al.*, 2006) ocorre naturalmente desde Porto Rico na América Central até em Santa Catarina na América do Sul (CARVALHO *et al.*, 1996), prefere solos aluviais com drenagem deficiente ou locais úmidos periodicamente inundáveis e brejosos, com textura arenosa a franca, ácidos (pH 4,5 a 6,0) (CARVALHO, 1996) e com precipitação pluvial média anual: desde 1.100 mm até 4.000 mm (HOLDRIDGE; POLVEDA, 1975).

No Brasil, está presente em todas as bacias brasileiras, abrangendo quase todas as regiões fitoecológicas como: Floresta Atlântica, nas formações Aluviais, Floresta Amazônica, onde é frequente nas terras baixa e montanhosa. Também é encontrada no cerrado, nas matas de galeria do Brasil Central (SILVA JUNIOR *et al.*, 1998), no Pantanal Mato-grossense e na Restinga.

Pertence à família Clusiaceae, apresenta folhas opostas cruzadas simples, textura coriácea, com forma oblonga, perenes, com copa larga e arredondada, densa e de coloração verde-escuro (MUNDO; DUARTE, 2008). Esta espécie é utilizada em reflorestamentos para recuperação ambiental, principalmente, para a reposição de mata ciliar em locais sujeitos a inundações periódicas de média a longa duração (MARQUES, 1994). Também é indicada para plantio em áreas com o solo permanentemente encharcado e apresenta um potencial para a silvicultura, devido à qualidade de sua madeira (STURION; ANTUNES, 2000).

O crescimento da planta é monopodial, podendo chegar a 40 m de altura e 1,5 m de diâmetro da altura do peito (DAP) e o ponto de corte adequado é atingido com 18,5 anos. Produz madeira de qualidade, sendo uma árvore perenifólia, perdendo poucas folhas na estação seca (LORENZI, 2009).

2.1.2 Mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev)

O mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.) foi introduzido no Brasil para substituir o mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla*), devido a sua alta resistência a principal praga do mogno brasileiro. Originário da costa ocidental africana, é uma espécie florestal de grande importância, devido ao alto valor comercial em todo mundo, pela beleza da madeira que produz (SOUZA *et al.*, 2010), mas também pelos aspectos relativos ao rápido crescimento, promovendo a recuperação de áreas alteradas (VERZIGNASS, 2009).

O mogno africano é uma espécie florestal heliófila, tolerante à sombra durante a fase jovem, é uma árvore de grande porte, caducifólia no clima árido e pertencente à família Meliaceae (LORENZI, 2009), pode atingir de 30 a 45 m de altura por 2 m de diâmetro da altura do peito (DAP).

O caule é retilíneo, isento de ramificações até 30 m de altura e o sistema radicular tabular é bastante vasto. A casca, espessa e rugosa, tem coloração marrom-avermelhada e o sabor amargo. As folhas são paripenadas, com pares de folíolos brilhantes e glabros. A inflorescência é uma panícula e o fruto é constituído por uma cápsula acastanhada de 5 a 7 cm de diâmetro e ao abrir, soltam cerca de 15 sementes achatadas e aladas (LORENZI, 2009), em condições normais de estiagem (cerca de quatro a seis meses), paralisa seu crescimento e seu desenvolvimento (LORENZI, 2009).

2.1.3 Oiti (*Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch)

Licania tomentosa (Benth.) Fritsch., conhecida popularmente por oiti e oitizeiro, característica da mata atlântica é uma espécie arbórea, heliófila, perenifólia e frutífera (RIZZINI; MORS, 1995), com cerca de 8 a 15 metros de altura e de 30 a 50cm de diâmetro (DAP) (LORENZI, 1992; RIZZINI; MORS, 1995). A madeira é dura, resistente, de longa durabilidade (LORENZI, 2009) e por proporcionar sombra, o oiti é preferido para plantios em praças, jardins, ruas e avenidas, principalmente nas cidades do Norte e das regiões litorâneas do Brasil (LORENZI, 2009; RIZZINI; MORS, 1995). É utilizada para produção de madeira e em recuperação de áreas degradadas (LORENZI, 2009).

Pertence a família das Chysobalanaceae possuem distribuição com 525 espécies (RIBEIRO *et al.*, 1999) em 20 gêneros (SOUZA; LORENZI, 2008). No Brasil, ocorrem sete gêneros e aproximadamente 250 espécies, a maioria na Amazônia (JOLY, 1993; SOUZA; LORENZI, 2008).

2.2 Estresse hídrico

O déficit hídrico pode ser definido como o conteúdo de água de um tecido ou célula que está abaixo do maior conteúdo de água exibido pela planta em um melhor estado de hidratação (TAIZ; ZEIGER, 2013). Portanto, o estresse é qualquer fator externo que exerce influência desvantajosa sobre a planta, induzindo respostas em todo o organismo, podendo ser reversíveis ou permanentes (SALAMONI, 2008).

A deficiência hídrica é considerada um dos principais fatores ambientais que induzem alterações em vários processos fisiológicos e bioquímicos (MANAVALAN *et al.*, 2009). Quando as células dos vegetais sofrem desidratação observa-se uma redução na sua turgescência, haja vista que o potencial hídrico celular depende do teor de umidade do solo, da capacidade de absorção de água pelas raízes e do transporte para a parte aérea (TAIZ; ZEIGER, 2013). Portanto, quando a água no solo diminui, o potencial hídrico das plantas é reduzido, em função das maiores resistências criadas para o fluxo de água no sistema solo-planta-atmosfera, assim o potencial hídrico da planta atinge valores muito baixos, devido à redução da disponibilidade de água no solo e a planta não consegue mais extrair água, sendo a perda de turgescência é irreversível (PAIVA; OLIVEIRA, 2006).

Os mecanismos de resistência ao déficit hídrico podem ser escape, retardo e tolerância. No escape, as plantas adotam uma estratégia de fuga, na qual apresentam rápido desenvolvimento fenológico, sendo capazes de completar seu ciclo de vida antes que a falta de água provoque danos fisiológicos. O retardo da desidratação corresponde à manutenção da turgescência que tem com mecanismo o fechamento dos estômatos para evitar a perda de água por transpiração ou por vias não estomáticas como a cutícula. A tolerância à seca é um mecanismo que permite à planta manter o metabolismo, mesmo com a redução do potencial hídrico dos tecidos, devido principalmente ao acúmulo de solutos compatíveis (TAIZ; ZEIGER, 2013; VERSLUES *et al.*, 2006).

Durante o período de estresse hídrico ocorrem inúmeros restrições ao processo metabólico das plantas (FLEXAS *et al.*, 2007), causado tanto pela excessiva demanda evaporativa, como pelo suprimento limitado de água no solo, que por sua vez restringe a atividade fotossintética afetando o crescimento das plantas (YU *et al.*, 2009). A fotossíntese é um dos processos fisiológicos mais sensíveis ao déficit hídrico (PINHEIRO; CHAVES, 2011), pois os estômatos se fecham para proteger a planta contra a perda excessiva de água nos horários mais quentes do dia (SENGUPTA *et al.*, 2011).

O sistema radicular pelo contato direto ao solo é a primeira parte da planta a detectar e sinalizar às demais células, tecidos e órgãos os efeitos do estresse hídrico. A desidratação de parte das raízes pode causar parcial fechamento dos estômatos, evidenciando que está mais relacionado ao conteúdo hídrico do solo do que ao próprio conteúdo hídrico da planta (DAVIES *et al.*, 2002; SAUTER *et al.*, 2001). Portanto, as raízes são responsáveis por modificações no comportamento estomático durante a redução do potencial hídrico do solo.

A característica necessária para garantir o crescimento e o desenvolvimento das espécies em qualquer fase de seu ciclo de vida é a manutenção da turgescência de modo que o acúmulo de metabolitos é um mecanismo que ajuda às plantas a tolera o estresse protegendo a integridade da membrana plasmática. (CORDEIRO *et al.*, 2009; JOHARI-PIREIVATLOU *et al.*, 2010).

Esses solutos podem-se acumular a níveis elevados em condições de baixo potencial de água na folha, dessa forma protegendo as células contra a desidratação através de ajuste osmótico (CORDEIRO *et al.*, 2009). O ajuste osmótico desenvolve-se lentamente em resposta à desidratação do tecido, ou seja, ocorre a aclimação, que permite à planta tolerar déficit hídrico, tal fato possibilita que a planta continue absorvendo água, mesmo quando seu potencial hídrico do solo for menor. (TAIZ; ZEIGER, 2013).

De modo geral, esses mecanismos lhes permitem sobreviver por aclimação, porém não por adaptação, pois adaptação se refere às mudanças genéticas fixadas por seleção natural durante várias gerações. Por outro lado, os vegetais podem também responder as mudanças ambientais, alterando diretamente sua fisiologia ou morfologia para que possam sobreviver ao novo ambiente. Essas respostas não exigem novas modificações genéticas, uma vez que, qualquer tipo de estresse é medido em relação à sobrevivência e o crescimento das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2013).

2.3 Resposta ao estresse hídrico

A primeira resposta de quase todas as plantas ao estresse hídrico é o fechamento dos estômatos para evitar a perda excessiva de água pela transpiração, uma vez que a redução da condutância estomática é uma forma de conservação de água e de manter as atividades metabólicas (HU *et al.*, 2010).

Com as alterações apresentadas pelas plantas sujeitas à deficiência hídrica, podem-se destacar: redução da altura, do número de folhas, do diâmetro do caule, da área foliar, da relação parte aérea/raiz, na condutância estomática, na fotossíntese, na transpiração

e no conteúdo de clorofila. Algumas destas respostas fazem parte das estratégias que visam reduzir os efeitos deletérios da baixa disponibilidade hídrica, constituindo, portanto, mecanismos de tolerância à seca (INMAM-BAMBER; PIMENTEL, 2004; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Segundo Chaves (2009) o fechamento estomático reduz o fluxo de água para fora da folha e do fluxo de carbono que chega aos cloroplastos, dessa forma reduzindo mais a taxa fotossintética que a taxa transpiratória. A redução da absorção de água pelo sistema radicular funciona como um sensor da seca no solo, da mesma forma que os estômatos se fecham em resposta ao Déficit de Pressão de Vapor (DPV) que são os sensores da seca no ar, pois, antes que ocorra uma redução do potencial de água na folha, ocorre à indução do fechamento estomático e a inibição do desenvolvimento da área foliar (TARDIEU; DAVIES, 1993).

A resistência estomática, ou seja, o grau de fechamento dos estômatos, é o inverso da condutância estomática, é regulado pela transpiração (LARCHER, 2004). As células-guarda diferem-se morfológicamente entre as espécies de plantas (TAIZ; ZEIGER, 2013), em quantidade, distribuição, tamanho e forma dos estômatos que são características específicas de cada espécie e podem ser alteradas em função das adaptações das condições ambientais (LARCHER, 2004). Além disso, o déficit hídrico também causa senescência foliar e restrição ao surgimento de novas folhas (SMIT; SINGELS, 2006).

Esses processos são também controlados pela ABA, oriundo das raízes, associado ao balanço dos outros fitormônios, que são transportados para a parte aérea, causando redução na transpiração (TARDIEU; DAVIES, 1993). Por exemplo, o acúmulo de ABA na parte aérea induz o fechamento estomático e o acúmulo de citocininas e auxinas protegem a estrutura dos cloroplastos, conseqüentemente a fotossíntese, aos sinais detectados pelas raízes ao teor da água do solo (DODD *et al.*, 2008), reduzindo o efeito da restrição hídrica e permitindo uma recuperação mais rápida, na reidratação (KRAMER; BOYER, 1995; YORDANOV *et al.*, 2000).

A deficiência hídrica causa redução na área foliar de duas formas: a primeira através da redução da emissão de folhas novas e a segunda através da redução do tamanho da folha (SCARPARI, 2007; SHIGAKI *et al.*, 2004), além disso acelera a senescência e abscisão das folhas (TAIZ; ZEIGER, 2013). Por outro lado, as respostas morfológicas diferem entre as espécies, de modo que algumas perdem completamente as folhas por um curto período de tempo durante a estação seca antes do desenvolvimento das folhas novas, chamadas brevidécidas ou decíduas (FRANCO *et al.*, 2005; LENZA ; KLINK ,2006) enquanto as sempre verdes mantém uma copa verde durante o ano todo.

No entanto, quando as plantas são expostas a situações de déficit hídrico, exibem respostas fisiológicas, que podem ser inicialmente reversíveis, mas que podem tornar-se permanentes, mesmo quando o estresse for temporário, de modo que a vitalidade da planta diminui com o prolongar do estresse (LARCHER, 2004).

O ajuste osmótico é considerado um importante mecanismo de defesa das plantas para tolerar à seca, uma vez que o acúmulo de solutos sob déficit hídrico permitem a manutenção da uma turgescência em potenciais hídricos mais baixos, protegendo a integridade da membrana plasmática (CORDEIRO *et al.* de 2009; JOHARI-PIREIVATLOU *et al.*, 2010) e atua como osmoprotetores, ou seja, na proteção das estruturas das proteínas e das membranas (YANG; MIAO, 2010).

As adaptações morfológicas das Plantas à seca garantem a absorção máxima de água em condições de restrições hídricas, por exemplo, a cutícula serve como uma barreira eficaz contra a perda de água. Quando os estômatos estão fechados, durante o déficit hídrico do solo, a sobrevivência das plantas depende do volume de água perdido através da cutícula, que é bastante pequeno em relação à transpiração. Visto que, a interação entre a regulação estomática e a perda de água pela cuticular é essencial para as plantas lidar com a falta de água (MACKOVÁ *et al.*, 2013). A transpiração através da cutícula depende das propriedades físicas e químicas da superfície da folha, em especial o conteúdo de cera. Durante todo o ciclo de vida as plantas podem experimentar de períodos de déficit hídrico (FAROOQ *et al.*, 2009) e a capacidade de tolerar depende da recuperação rápida após reidratação (GALMÉS *et al.* 2007).

2.4 Recuperação do estresse hídrico

As plantas podem sofrer estresses reversíveis ou irreversíveis (LARCHER, 2004), causados por fatores bióticos ou abióticos. A reversibilidade pode ocorrer devido à capacidade elástica dos organismos para suportarem tensões, sendo as funções fisiológicas alteradas por determinado período, retornando à condição normal após a cessação do estresse. Entretanto, após níveis intensos pode surgir uma tensão plástica e, nesse caso, as alterações provocadas são permanentes, causando danos até morte (SILVA *et al.*, 2003).

A recuperação é um importante componente da resposta da planta ao estresse hídrico, contribuindo para uma melhor compreensão da capacidade da planta para se adaptar as diferentes condições climáticas. Visto que, o balanço de carbono depende não só do declínio fotossintética sob depleção de água, mas também sobre a capacidade de recuperação

fotossintética após abastecimento de água (CHAVES *et al.*, 2011, FLEXAS *et al.*, 2007). A seca inibe a expansão das células, reduz a abertura estomática e o fornecimento de carboidratos, portanto impedindo o crescimento (CHAVES *et al.*, 2011; LARCHER, 2004). Nesse caso, as plantas podem-se tornar debilitadas depois de um evento climático extremo, que requer uma fase comprida de recuperação, tornando as plantas mais vulneráveis a extremos climáticos subsequentes (GUTSCHICK; BASSIRIRAD, 2003).

As respostas fisiológicas na tolerância à seca podem variar de acordo com a severidade e a duração da imposição do estresse (SHAO *et al.*, 2008). Algumas dessas respostas estão diretamente desencadeadas pela mudança do estado da água dos tecidos, enquanto outras são provocadas pelos hormônios vegetais (CHAVES *et al.*, 2011).

Neste contexto, as plantas com melhor desempenho as condições ambientais, ou com maior tolerância ao estresse abiótico, são fontes potenciais para o melhoramento de culturas agrícolas e florestais. A resposta da recuperação ao estresse contribui para uma melhor compreensão da capacidade da planta para se adaptar a diferentes ambientes e condições climáticas. (POPLUECHAI *et al.*, 2009; RAO *et al.*, 2008).

A recuperação da fotossíntese após o estresse depende da intensidade de imposição do estresse. Após um estresse moderado a planta pode recuperar rápida e completamente a fotossíntese. Por outro lado, após estresse severo a recuperação da fotossíntese pode durar dias ou semanas e às vezes nunca é completa (CHAVES *et al.*, 2011; FLEXAS *et al.* 2007; MIYASHITA *et al.*, 2005).

2.5 Espécies lenhosas versus estresse hídrico

A disponibilidade hídrica é um fator determinante para a abundância e na distribuição das plantas nos diversos ecossistemas, por isso é considerado um fator seletivo para o ambiente (CHAVES *et al.*, 2011). A seca limita o crescimento das plantas em todo o mundo e pode resultar em uma redução significativa das taxas de fotossíntese, de transpiração e de condutância estomática dependendo da rapidez, da gravidade e da duração da seca (JOHARI-PIREIVATLOU *et al.*, 2010) Dessa maneira, a baixa disponibilidade hídrica torna-se mais difícil o sucesso no estabelecimento das plantas na fase inicial de crescimento (LIBERATO *et al.*, 2006).

As variações na disponibilidade de água do solo podem debilitar as funções vitais ou estimular reações adaptativas que capacitam as plantas a sobreviverem em períodos prolongados de déficit hídricos. Algumas espécies lenhosas possuem adaptações para supera-

las, devido ao sistema radicular bem desenvolvido (FRANCO *et al.*, 2005), permitindo-lhes produzir folhas durante o período seco e manter a folhagem ao longo do ano (FRANCO *et al.*, 2005; LENZA; KLINK, 2006). Assim, as plantas ocorrentes nas regiões secas respondem ao estresse ambiental de formas diferenciadas (MANSUR *et al.* 2000). Além disso, possuem grande potencial madeireiro, empregadas para fins de reflorestamento para regeneração de áreas degradadas.

As plantas ocorrentes nessas áreas respondem ao estresse ambiental de forma diferente (MANSUR *et al.* 2000). Dentre as espécies tais como; *Mimosa caesalpinifolia* (sabiá) é espécie comum nas áreas de caatinga do Ceará e Piauí e *Enterolobium contortisiliquum* (tamboril) pertencem à família Fabaceae e *Tabebuia aurea* (manso) pertence a família da Bignoniaceae é comum Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará, embora tenha se estabelecido nas florestas pluviais, também pode ser encontrado desde o litoral até o Sertão do Ceará. Possuem grande potencial madeireiro, empregadas para fins de reflorestamento para regeneração de áreas degradadas. *Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch. é também utilizada na recuperação de áreas degradadas (LORENZI, 2009).

2.6 Matéria orgânica

A matéria orgânica é um componente fundamental para o solo, tendo sua origem no processo da fotossíntese que transforma o gás carbônico, o oxigênio, o hidrogênio e os nutrientes minerais em compostos orgânicos (RAIL, 2008), esses resíduos vegetais em vários estágios de decomposição, a biomassa microbiana, as raízes e a fração mais estável são denominados de húmus. A adição de matéria orgânica em solos tropicais e de fundamental importância, devido grande parte ser altamente intemperizados e ácidos (SANTOS *et al.*, 2008).

A matéria orgânica constitui um importante agente responsável pela ligação de partículas minerais do solo criando a estabilidade da estrutura do solo (LUGATO; BERTI, 2008), representa um material dinâmico influenciado por diversos fatores, tais como: clima, teor de argila, mineralogia e manejo do solo (HAIDER, 1992; OADES, 1995; LUGATO; BERTI, 2008), de modo que a principal característica física do solo afetada pela matéria orgânica é a agregação, que indiretamente afeta outras características físicas do solo, tais como: a densidade, a porosidade, a aeração, a infiltração e a capacidade de retenção de água. (SANTOS *et al.*, 2008; RESCK *et al.*, 2008). Além disso, funciona como componente fundamental na manutenção da sustentabilidade dos solos (MIELNICZUK, 2008; VEZZANI;

MIELNICZUK, 2009).

Embora, a matéria orgânica represente uma pequena proporção no solo, quando comparado com a massa total de minerais, desempenha grande influência sobre vários processos físicos, químicos e biológicos do solo, servindo como fonte de nutrientes para as plantas, disponibilizando N, P e S para as plantas e C para os microrganismos heterotróficos, além disso, contribui com a CTC, melhorar a infiltração e retenção de água no solo (BAYER; MIELNICZUK, 2008). Por sua vez, a matéria orgânica em quantidades adequadas no solo possibilita às plantas serem menos susceptíveis ao estresse, mais saudáveis e mais produtivos (GOVEIA *et al.*, 2013).

Em condições naturais, as altas taxas de decomposição da matéria orgânica são contrabalanceadas pela adição da vegetação. Dessa forma, a remoção da vegetação natural para fins de cultivo agrícola tem proporcionado decréscimos significativos no conteúdo e na qualidade da matéria orgânica do solo (CUNHA *et al.*, 2005), acarretando perdas das características químicas, físicas e biológicas do solo. Em regiões semiáridas, devido aos longos períodos de estiagem, os solos apresentam baixo teor de matéria orgânica, devido sua rápida mineralização, visto que a maior parte desses resíduos vegetais quando chegam ao solo, são rapidamente transformados, reduzindo a disponibilidade dos nutrientes para as planta. Dessa forma o uso inadequado do solo leva à perda de produtividade e a degradação (CERDÀ *et al.*, 1998).

Altas temperaturas e baixas precipitações causam impactos diretamente sobre a matéria orgânica. Por outro lado, a umidade do solo pode ser um fator chave na decomposição da matéria orgânica (MARSCHNER; KALBITZ, 2003). A retenção de água no solo é em grande parte determinada pela textura, estrutura, teor de matéria orgânica e densidade do solo (MINASNY; MCBRATNEY, 2007). De modo que, maior a retenção de água quanto menor for o tamanho das partículas e maior o teor de matéria orgânica (WESSELING *et al.*, 2002).

A quantidade de água disponível para as plantas refere-se ao volume de água presente no solo entre a capacidade de campo e ponto de murcha permanente. No entanto, as variações de umidade do solo são conduzidas por processos ambientais, tais como precipitação, evapotranspiração e drenagem (HARRISON-KIRKA *et al.*, 2013). Nesse contexto, a matéria orgânica do solo desempenha um papel importante nos ecossistemas através da retenção e fornecimento de nutrientes para as plantas, melhorando a agregação do solo, reduzindo a erosão e aumentando a capacidade de retenção de água (TISDALL; OADES, 1982), em função da complexidade da estrutura e atua como um fertilizante de liberação lenta (RYALS; SILVER, 2013).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Características da área experimental

O estudo foi realizado no período de abril a junho de 2013 em casa de vegetação, na área experimental da Estação Meteorológica do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará (UFC) em Fortaleza-CE (3°45'S; 38°33'W; 20 m). De acordo com a classificação de Köppen (1948), o clima local é do tipo Aw', tropical chuvoso, muito quente, com predomínio de chuvas nas estações do verão e do outono, que corresponde ao período de fevereiro a maio.

A casa de vegetação é do tipo capela composta de uma estrutura de alumínio e cobertura plástica de polietileno, com aluminete e orientação no sentido leste-oeste, com as seguintes dimensões: 14 m de comprimento, 7 m de largura e pé-direito de 3,5 m, com fachadas laterais e frontais coberta de tela.

O solo utilizado foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA, 2013). O estudo foi realizado em vasos com capacidade para 5 kg, sendo que metade dos vasos foi preenchido com uma mistura de solo e matéria orgânica a uma proporção de 2:1 (solo com matéria orgânica – CMO), e a outra metade apenas com solo (solo sem matéria orgânica – SMO). As amostras dos dois substratos foram coletadas no início e durante a realização do experimento e analisada seguindo metodologia da Embrapa (1997). Os resultados das análises químicas e físicas estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 Resultado da análise química do solo

| Amostra | g/kg | | cmol/kg | | | | | | % | | mg/kg | | |
|---------|------|-------|------------------|------------------|----------------|-----------------|------------------|----------------------------------|------|-------|-------|----|-----|
| | MO | pH | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | Al ³⁺ | H ⁺ +Al ³⁺ | SB | CTC | V% | P | |
| A | CMO | 21,41 | 6,9 | 3,20 | 4,00 | 2,24 | 0,85 | 0,05 | 1,32 | 10,29 | 11,61 | 89 | 144 |
| | SMO | 8,69 | 5,1 | 1,30 | 1,20 | 0,17 | 0,19 | 0,35 | 1,82 | 2,19 | 4,01 | 62 | 10 |
| B | CMO | 22,14 | 7,3 | 4,00 | 3,40 | 1,39 | 1,19 | 0,05 | 1,16 | 10,1 | 11,2 | 90 | 153 |
| | SMO | 9,72 | 5,9 | 2,20 | 1,50 | 0,32 | 0,69 | 0,25 | 1,65 | 4,5 | 6,2 | 73 | 28 |
| C | CMO | 23,69 | 7,0 | 4,00 | 3,40 | 2,01 | 1,36 | 0,05 | 1,32 | 10,9 | 12,2 | 89 | 137 |
| | SMO | 10,55 | 6,5 | 2,00 | 1,30 | 0,29 | 0,63 | 0,20 | 1,49 | 4,4 | 5,9 | 75 | 37 |

CMO - Solo com matéria orgânica; SMO - Solo sem matéria orgânica; A- início do experimento; B - 15 dias de estresse; C- 15 dias de recuperação.

Tabela 2 Resultado da análise física do solo

| Amostra | | Composição Granulometria (g.kg ⁻¹) | | | | | Densidade (g.cm ⁻³) | | Umidade (g.100g ⁻¹) | | Textura |
|---------|-----|---|------------|-------|--------|----------------|------------------------------------|-----------|---------------------------------|-------|----------------|
| | | Areia grossa | Areia fina | Silte | Argila | Argila natural | Solo | Partícula | CC | PMP | |
| A | CMO | 534 | 246 | 98 | 122 | 51 | 1,40 | 2,57 | 12,47 | 11,49 | Franco arenoso |
| | SMO | 457 | 332 | 70 | 141 | 41 | 1,47 | 2,62 | 7,51 | 5,81 | |
| B | CMO | 516 | 288 | 89 | 107 | 59 | 1,44 | 2,58 | 10,45 | 8,34 | |
| | SMO | 443 | 356 | 79 | 123 | 38 | 1,50 | 2,58 | 7,68 | 5,31 | |
| C | CMO | 472 | 348 | 85 | 95 | 43 | 1,42 | 2,61 | 9,52 | 7,73 | |
| | SMO | 430 | 381 | 69 | 120 | 55 | 1,46 | 2,64 | 7,32 | 5,71 | |

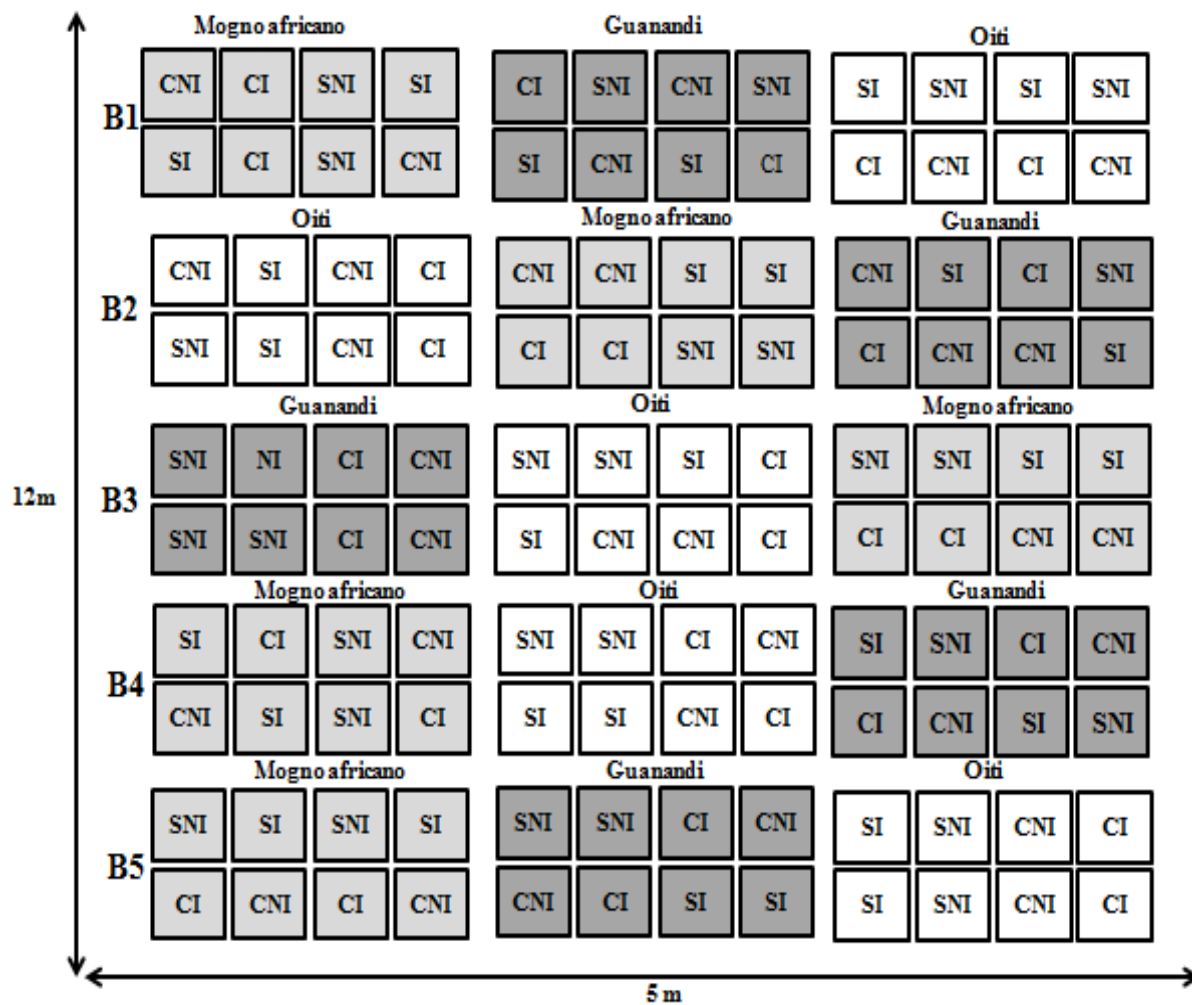
CMO – Solo com matéria orgânica; SMO - Solo sem matéria orgânica; A- início do experimento; B - 15 dias de estresse; C- 15 dias de recuperação.

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos inteiramente casualizados, em arranjo fatorial 3 x 2 x 2, sendo composto por três espécies (Guanandi - *Calophyllum brasiliense* Cambes, mogno africano - *Khaya ivorensis* A. Chev e Oiti - *Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch, dois regimes hídricos (irrigado e não irrigado) e dois níveis de adubação orgânica (com e sem adição de matéria orgânica), obtendo os seguintes tratamentos: CNI – Solo com matéria orgânica e suspensão da irrigação; SNI - Solo sem matéria orgânica e suspensão da irrigação; CI - solo com matéria orgânica e irrigação mantida continuamente; SI - Solo sem matéria e irrigação mantida continuamente, com cinco blocos e com duas plantas por repetição. Para as análises dos dados utilizou-se três repetições, devido as amostras serem destrutivas (Figura 1).

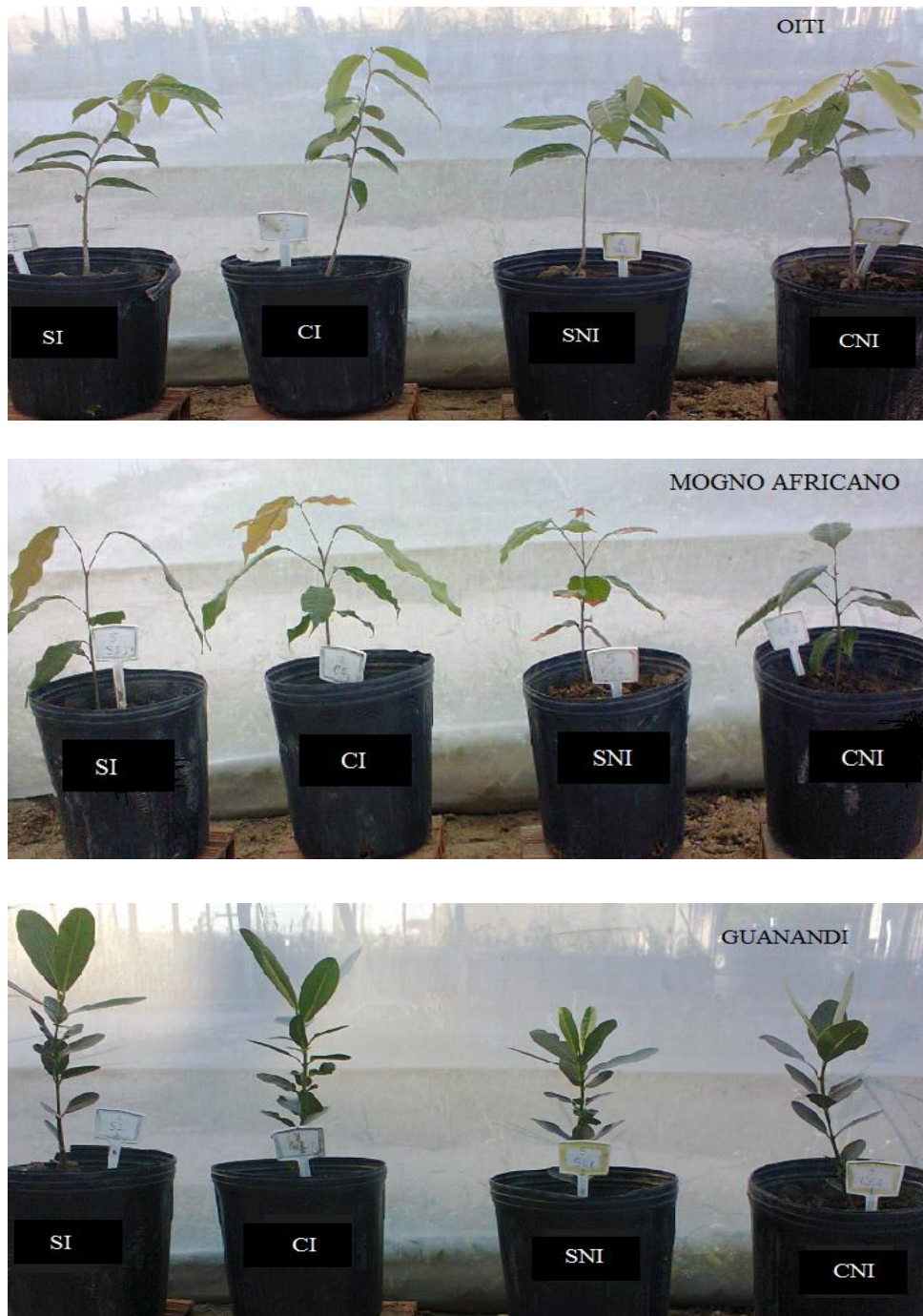
As mudas foram transplantadas com quatro meses, contudo, após o transplante foram irrigadas diariamente durante oito dias para a aclimação. Em seguida, a irrigação foi suspensa por 15 dias em metade das plantas, enquanto que a outra metade (controle) recebeu irrigação continuamente (Figura 2). Ao final do período de estresse as plantas voltaram a ser irrigadas durante 15 dias para a determinação da recuperação, assim o experimento durou 30 dias.

Figura 1 Croqui referente à área experimental.



CNI – Solo com matéria orgânica e suspensão da irrigação; SNI - Solo sem matéria orgânica e suspensão da irrigação; CI - solo com matéria orgânica e irrigação mantida continuamente; SI - Solo sem matéria e irrigação mantida continuamente.

Figura 2 Ilustração das espécies com respectivos tratamentos.



Fonte: ROCHA, M. A. M, (2013).

3.3 Avaliações

3.3.1 Umidade gravimétrica do solo e potencial hídrico foliar

A medição da umidade gravimétrica do solo e do potencial hídrico foram realizados nas mesmas datas com 15 dias de estresse e após 15 dias de recuperação. A determinação da umidade gravimétrica do solo foi através de amostras de solo coletadas, segundo a metodologia da EMBRAPA (1997). O potencial hídrico foliar foi determinado em plantas inteiras entre 4 e 5 horas da manhã, com uso da bomba de pressão tipo Scholander (SCHOLANDER *et al.*, 1965).

3.3.2 Crescimento

O crescimento das espécies foi medido aos 15 dias após a suspensão da irrigação e após 15 dias de reidratação, sendo avaliadas as seguintes variáveis: altura da planta (ALT), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e massa seca total (MST), relação parte aérea/raiz (R PA/R) e área foliar (AF).

A altura da planta foi medida com auxílio de régua da base até a primeira folha do ápice. O diâmetro do caule foi medido com auxílio de paquímetro digital. A área foliar foi determinada utilizando-se um medidor de área foliar (LI – 3100, Área Meter, Li - Cor., In. Lincoln, Nebraska, USA). Após a medição da folha todo o material vegetal coletado foi colocado em sacos de papel e levados a uma estufa de circulação forçada de ar a 65°C até atingir peso constante para determinação da massa seca da parte aérea, da raiz e massa seca total, bem como para obtenção da relação parte aérea/raiz.

3.3.3 Trocas Gasosas e índice relativos de clorofila

As medições de trocas gasosas foram obtidas ao final de cada período, ou seja, 15 dias após a suspensão da irrigação e após 15 dias de reidratação, sendo obtidas as seguintes variáveis: condutância estomática (g_s), taxa de transpiração (E), taxa de fotossíntese líquida (A), e relação entre o carbono interno e atmosférico (C_i/C_a). Essas medições foram realizadas na primeira folha completamente madura a partir do ápice, com o auxílio de um analisador de

gás infravermelho (IRGA, LI-6400XT, ADC, Hoddesdon), acoplado a uma fonte de radiação artificial com intensidade de aproximadamente $1.500 \mu\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ e sob condições naturais de temperatura do ar e concentração de CO_2 . As leituras foram realizadas ao longo dos dias de estresse e recuperação na mesma folha, com intervalo de cerca de 3:00 horas nos seguintes horários: 7:00, 10:00, 13:00 e 16:00 horas. Considerou-se na análise estatística os resultados os valores obtidos às 10 horas, por ser o horário em que os valores foram potencializados nas três espécies estudadas, sob condições de irrigação.

O teor relativo de clorofila foi medido na primeira folha completamente madura a partir do ápice com o auxílio de um medidor portátil de clorofila SPAD-502 (Minolta Camera Co. Ltd.). As medições foram realizadas, entre as 9:00 e 11:00 horas, na superfície adaxial das mesmas folhas utilizadas para a leitura das trocas gasosas, sendo obtida a média de quatro leituras em uma folha.

3.3.4 Teores foliares de nutrientes

As amostras foliares do período de estresse e recuperação foram secas em estufa, moídas em moinho do tipo Willey e peneiradas em malha de 20 mesh. Na sequência, as amostras foram submetidas à digestão nitro-perclórica e os extratos foram utilizados para determinação dos teores de K, P, Ca e Mg conforme a metodologia descrita por MALAVOLTA *et al.* (1997).

3.3.4 Avaliação da recuperação do crescimento das plantas

Para a análise do período de recuperação determinou-se a taxa de crescimento relativo (TCR) para altura da planta, diâmetro do caule, massa seca da parte aérea, raiz, total e taxa relativa de aparecimento de novas folhas (TRAF) obtidas entre o final do período de estresse e após 15 dias de recuperação, determinadas de acordo com metodologia descrita por Benincasa (1988). Utilizando as seguintes equações:

$$\text{TCR} = \frac{\ln(R) - \ln(E)}{T2 - T1} \quad \text{e} \quad \text{TRAF} = \frac{\ln(R) - \ln(E)}{T2 - T1}$$

Em que:

TCR: taxa de crescimento relativo

TRAF: taxa relativa de aparecimento de novas folhas

R: valor período de recuperação

E: valor período de estresse

ln: logaritmo neperiano

T1 e T2: Período de tempo.

3.3.4 Avaliação da recuperação das trocas gasosas e teores de nutrientes foliares

Para a análise do período de recuperação das trocas gasosas e teores de nutrientes foliares utilizou-se as médias das repetições e o erro padrão.

Análise Estatística

Para a análise do período de estresse os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância ao nível de 1 e 5% de probabilidade utilizando-se do software “Assistat 7.7 BETA” (SILVA; AZEVEDO, 2009). As médias entre os efeitos dos fatores isolados e das interações foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Umidade do solo e potencial hídrico foliar no período de estresse e recuperação.

A análise de variância evidenciou efeito significativo para a umidade gravimétrica do solo para espécie, regime hídrico e adubação orgânica apenas no período de estresse. Entretanto, no período de recuperação observou-se efeito significativo para matéria orgânica (Tabela 3).

Tabela 3 Resumo da análise de variância para umidade gravimétrica do solo (Θ) e Potencial hídrico foliar (Ψ_w) em três espécies em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse e de recuperação.

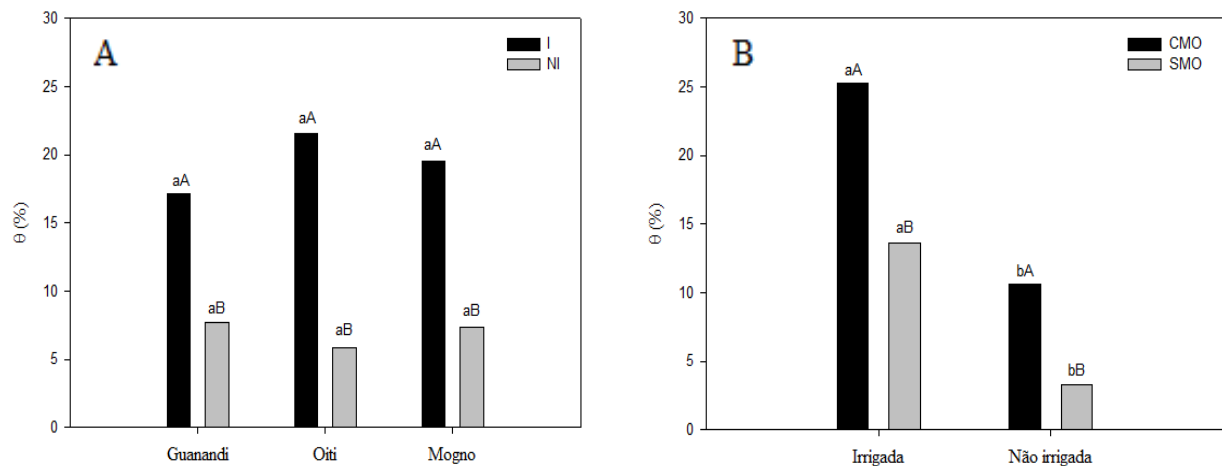
| FV | GL | QM | | |
|-----------------------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| | | Θ | | Ψ_w |
| | | Estresse | Recuperação | Estresse |
| Espécie (A) | 2 | 5.60591ns | 11.25148ns | 17.86861** |
| R. hídrico (B) | 1 | 1395.27151** | 35.80028ns | 3902.08444** |
| A. Org. (C) | 1 | 807.12810** | 174.856548** | 1722.25000** |
| A x B | 2 | 29.41514* | 9.50721ns | 1.57194ns |
| A x C | 2 | 3.96490ns | 6.22081ns | 5.82750ns |
| B x C | 1 | 41.77468* | 28.94440ns | 1697.44000** |
| A x B x C | 2 | 14.48658ns | 13.81210ns | 2,29750ns |
| Tratamento | 11 | 213.73812 | 29.19858 | 670.62778 |
| Resíduo | 24 | 7.69978 | 9.29338 | 3.82944 |
| Total | 35 | | | |
| CV% | | 21.04 | 19.10 | 13.34 |

**, * e ns: significativo ao nível de 1%, significativo, ao nível de 5% e não significativo para o teste de Tukey, respectivamente.

O teor de umidade gravimétrica do solo apresentou diferença significativa para a interação entre os fatores espécies x regimes hídrico no período de estresse. As espécies não diferiram entre si quanto ao teor de umidade no solo, porém a redução da umidade entre os regimes hídricos foi percentualmente maior no oiti e menor no guanandi. Por outro lado, quando se comparou a irrigação verificou-se uma redução no conteúdo de água no solo em que foi suspensa a irrigação diferindo significativamente do solo irrigado (Figura 3A). Provavelmente, à medida que o solo secou, tornou-se mais difícil as plantas absorverem água, devido ao aumento da força de retenção diminuindo a disponibilidade de água para as plantas (BERGAMASCHI, 1992). Segundo Kiehl (1979) a quantidade de água armazenada no solo disponível às plantas varia de acordo com a textura e com as características físicas do solo.

A umidade do solo apresentou efeito significativo para a interação entre os fatores regime hídrico x adubação orgânica (Figura 3B). Os maiores valores de umidade foram obtidos no solo irrigado, de maneira que a suspensão da irrigação provocou uma redução na disponibilidade de água no solo. Entretanto, quando se comparou a adubação orgânica verificou-se que no solo com matéria orgânica, em que foi suspensa a irrigação apresentou maior teor de umidade quando comparado ao solo sem matéria orgânica que apresentou o conteúdo de umidade em quantidade bastante reduzida. Provavelmente a adição de matéria orgânica no solo favoreceu a retenção de água mantendo o solo úmido, que é uma característica determinada pela textura, estrutura e pelo teor de matéria orgânica (MINASNY; MCBRATNEY, 2007).

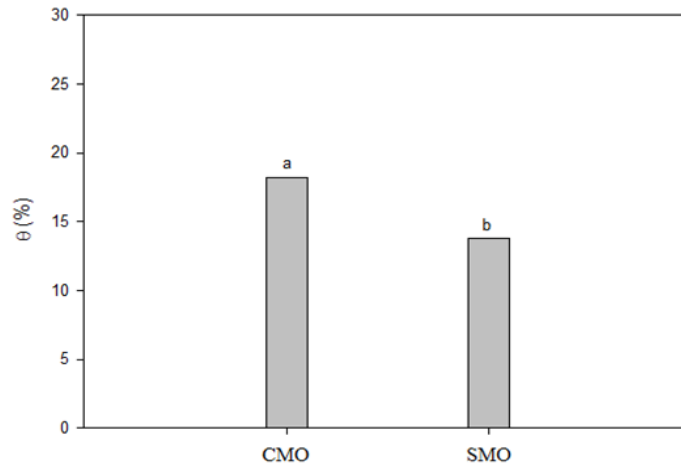
Figura 3 Umidade gravimétrica do solo em três espécies em função do regime hídrico (A) e da adubação orgânica (B) no período de estresse.



Na figura A médias seguidas das mesmas letras minúsculas, para espécies, e maiúsculas, para regime hídrico, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Na figura B as médias seguidas da mesma letra minúscula, para regime hídrico, e maiúsculo, para adubação orgânica, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. (I- irrigada; NI- não irrigada; CMO - com matéria orgânica e SMO - sem matéria orgânica).

No período de recuperação, o teor de umidade do solo apresentou efeito significativo apenas para o fator isolado adubação orgânica, verificou-se que o teor de umidade do solo diferiu quanto à adição de matéria orgânica, mostrando que após o retorno da irrigação o solo com esse insumo continuou apresentando maior teor de umidade (Figura 4). Segundo alguns autores a principal característica física do solo afetada pela matéria orgânica é a agregação, que indiretamente afeta outras características físicas do solo, tais como: a densidade, a porosidade, a aeração, a infiltração e a capacidade de retenção de água. (RESCK *et al.*, 2008; SANTOS *et al.*, 2008).

Figura 4 Umidade gravimétrica do solo em três espécies em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de recuperação.



Médias seguidas das mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. (CMO – Solo com matéria orgânica e SMO – Solo sem matéria orgânica).

O potencial hídrico foliar (Ψ_w), medido antes do amanhecer apresentou efeito significativo para a espécie (Tabela 3). Verificou-se que o Ψ_w do guanandi (-1,34MPa) do mogno (-1,60 MPa) diferiram entre si, mas o oiti (-1,43 MPa) não diferiu de ambas as espécies, sendo que o mogno africano apresentou o Ψ_w mais negativo (Figura 5A).

Figura 5 Potencial hídrico foliar em três espécies (A) em função do regime hídrico e da adubação orgânica (B) no período estresse.

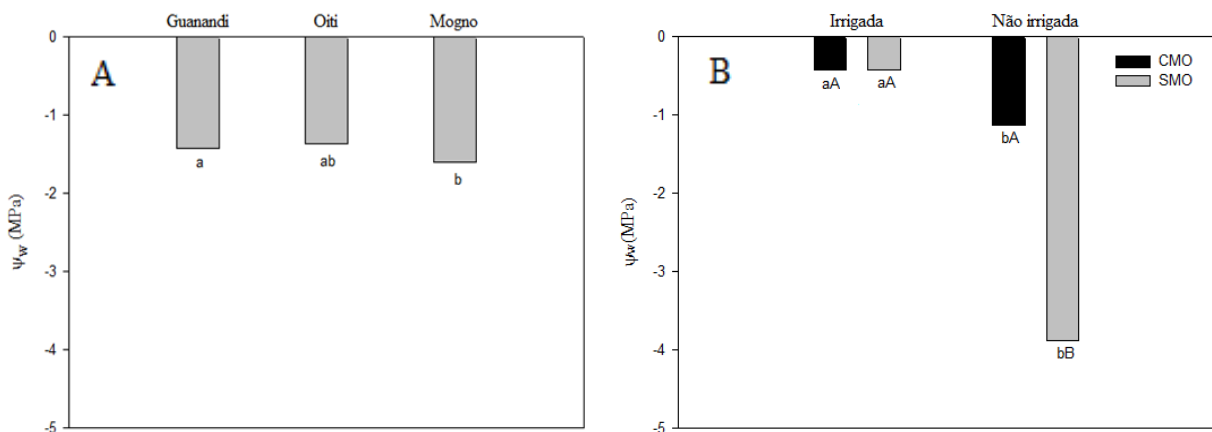
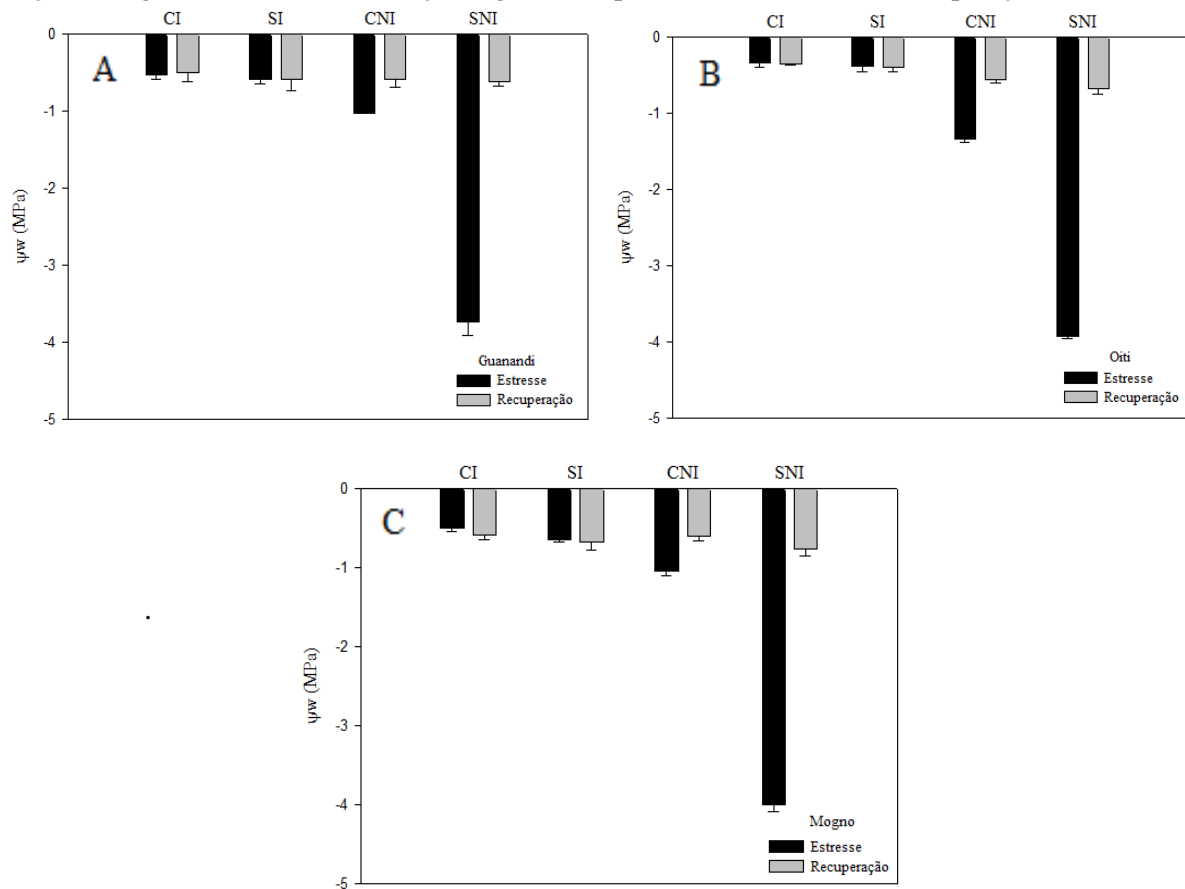


Figura A médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Na figura B médias seguidas da mesma letra minúscula, para o regime hídrico, e maiúsculas, para adubação orgânica, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Quando a água no solo diminui, o potencial hídrico das plantas foi reduzido, em função das maiores resistências criada para o fluxo de água no sistema solo-planta-atmosfera e a planta não consegue mais extrair água do solo reduzindo a turgescência (PAIVA; OLIVEIRA, 2006). Por outro lado, o Ψ_w apresentou efeito significativo para a interação entre os fatores regime hídrico x adubação orgânica, verificou que Ψ_w das plantas irrigadas diferiram das não irrigadas, com a redução de -0,42MPa para -1,13MPa no tratamento com matéria orgânica, e de -0,43MPa para -3,88MPa para sem esse insumo (Figura 5B). Verificou-se ainda que a presença de matéria orgânica somente interferiu no Ψ_w das plantas não irrigadas. Tal fato deve ser atribuído à capacidade de retenção de água pela matéria orgânica, mantendo maior conteúdo de água no solo durante a suspensão da irrigação. As plantas não irrigadas e não adubadas apresentaram valores bastante negativos de Ψ_w , indicando que as mesmas apresentaram perda de água a uma taxa superior à sua capacidade de absorção e transporte, de modo que o potencial hídrico da folha diminuiu à medida que reduziu à disponibilidade de água no solo (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Com relação ao potencial hídrico da folha após o retorno da irrigação, verificou-se que o guanandi, o oiti e o mogno africano recuperaram o potencial hídrico foliar para -0,61MPa, -0,67MPa e -0,76 MPa nas plantas sem matéria orgânica e para -0,59MPa, -0,55MPa e -0,69MPa, respectivamente nas plantas com matéria orgânica (Figura 6). Os resultados do potencial hídrico foliar pós o retorno da irrigação atingiram os melhores valores nas plantas com adição de matéria orgânica, enquanto as plantas sem esse insumo apresentaram uma boa recuperação, mas seus valores eram mais negativos que as plantas irrigadas. Tal fato deve ser atribuído a retenção de água da matéria orgânica que reduziu os efeitos deletérios do estresse hídrico, assim as plantas recuperam a sua turgescência com os valores semelhantes às plantas continuamente irrigadas, já que as plantas sem esse insumo tornaram-se mais debilitadas com prolongar do estresse e após o retorno da irrigação faz-se necessário uma fase mais comprida de recuperação (GUTSCHICK; BASSIRIRAD, 2003).

Figura 6 Potencia hídrico foliar em três espécies guanandi (A), oiti (B) e mogno africano (C) em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse e de recuperação.



Cada valor representa a média de três repetições ($n = 3$) e os seus erros padrão (\pm SE). (CI- solo com matéria orgânica irrigado; SI- solo sem matéria orgânica irrigado; CNI- solo com matéria orgânica não irrigado; SNI- solo sem matéria orgânica não irrigado).

2.7 Respostas das plantas durante o período de estresse

2.7.1 Crescimento

A análise de variância para as variáveis de crescimento evidenciou efeito significativo para a interação entre os fatores diâmetro do caule, número de folha, massa seca da parte aérea, sendo que as demais variáveis não apresentaram interação entre os fatores (Tabela 4).

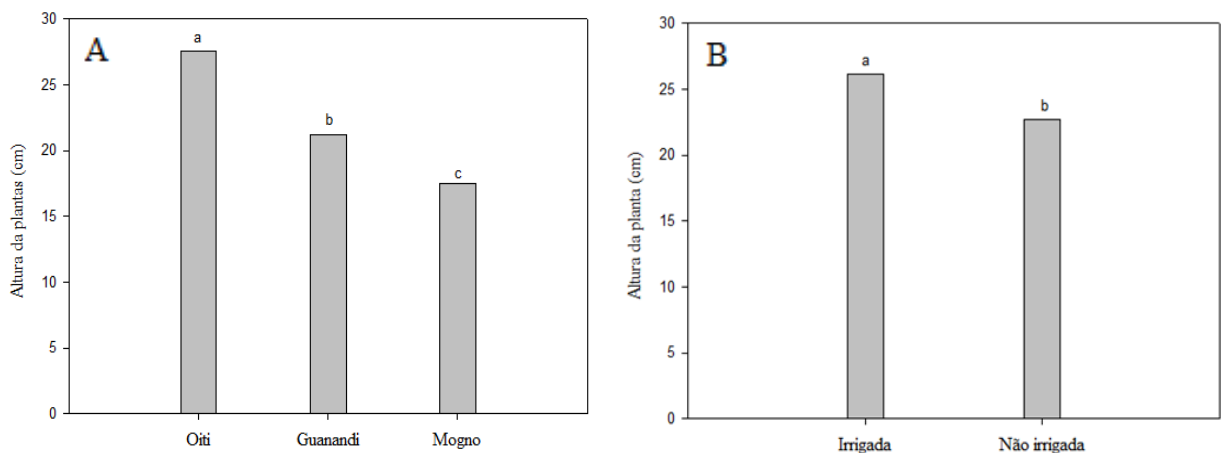
Tabela 4 Resumo da análise de variância para altura da planta (ALT), diâmetro do caule (DC) e número de folhas (NF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST), relação parte aérea raiz (RPA/R) e área foliar (AF) em três espécies em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse.

| FV | GL | QM | | | | | | | |
|---------------|----|-------------|-----------|---------------|-------------|-----------|------------|------------|---------------|
| | | ALT | DC | NF | MSPA | MSR | MST | RPA/R | AF |
| Espécie (A) | 2 | 312.58333** | 0.00922** | 7935.5839ns | 3.22990* | 7.08681** | 36.24187** | 2.38127** | 4459.03083ns |
| Irrigação (B) | 1 | 103.36111** | 0.18341** | 62500.96667** | 128.65662** | 1.30340** | 12.2500** | 10.12117** | 63313.46314** |
| A. Org. (C) | 1 | 1.36111ns | 0.03733** | 4072.57120ns | 20.36884** | 0.89934** | 5.52250** | 5.96042** | 1680.86334ns |
| A x B | 2 | 1.19444ns | 0.00591* | 544.36997ns | 1.57442ns | 0.4829ns | 1.33882* | 0.61864ns | 5459.52601ns |
| A x C | 2 | 6.86111ns | 0.00070ns | 10218.20372* | 0.11235ns | 0.12359ns | 0.093866ns | 0.48364ns | 140.52601ns |
| B x C | 1 | 2.250006ns | 0.1239** | 136.48003ns | 1.52555ns | 0.1240ns | 1.00668ns | 1.05526ns | 240.30167ns |
| A x B x C | 2 | 2.29750ns | 0.00027ns | 10443.95548* | 0.10252* | 0.1887ns | 0.23137ns | 0.81421ns | 686.48854ns |
| Tratamento | 11 | 670.62778 | 0.02412 | 11363.95548 | 14.59904 | 1.61415 | 8.75278 | 2.35749 | 7884.48854 |
| Resíduo | 24 | 3.82944 | 0.00149 | 2531.973229 | 0.75097 | 0.16169 | 0.31127 | 0.34672 | 2626.00490 |
| Total | 35 | | | | | | | | |
| CV% | | 27.76 | 32.54 | 16.90 | 23.00 | 29.41 | 18.36 | 26.67 | 31.29 |

**, * e ns: significativo ao nível de 1%, significativo ao nível de 5% e não significativo para o teste de Tukey, respectivamente.

A altura das plantas diferiu entre as espécies (Figura 7A) influenciadas também pelo regime hídrico, sendo maior nas plantas que receberam irrigação continuamente (Figura 7B). Provavelmente, a redução da altura ocorreu à medida que diminuiu o suprimento de água no solo, devido à suspensão da irrigação. Tal fato deve ter causado uma inibição no crescimento celular, que é bastante sensível ao déficit hídrico (BLUM, 1997). Segundo Taiz e Zeiger (2013) a redução da turgescência prejudica diretamente a expansão celular e o alongamento do caule.

Figura 7 Altura da planta em três espécies (A) em função do regime hídrico (B) e da adubação orgânica no período de estresse.

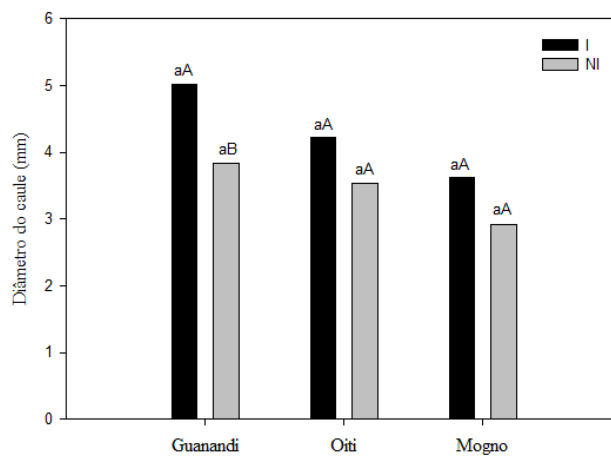


Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O diâmetro do caule foi influenciado pelos três fatores isoladamente e pelas interações espécie x regime hídrico e regime hídrico x adubação orgânica (Tabela 4). Verificou-se uma redução no diâmetro do caule quando foi suspensa a irrigação no guanandi, no oiti e no mogno de 24,56 %, 20,29 % e 19,65%, respectivamente. Contudo, os resultados

não mostraram diferença significativa entre as espécies, mas quando comparou o regime hídrico observou-se uma diferença significativa no guanandi. Provavelmente, a redução do potencial hídrico da planta (Figura 8) afetou em primeiro lugar a divisão e a expansão celular (CHAVES *et al.*, 2011) e conseqüentemente reduziu o crescimento do caule em diâmetro antes que o estresse torne-se severo (ANYIA; HERZOG, 2004, AWAL; IKEDA, 2002; SOUZA *et al.*, 2004).

Figura 8 Diâmetro do caule em três espécies guanandi (A), oiti (B) e mogno africano (C) em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse.



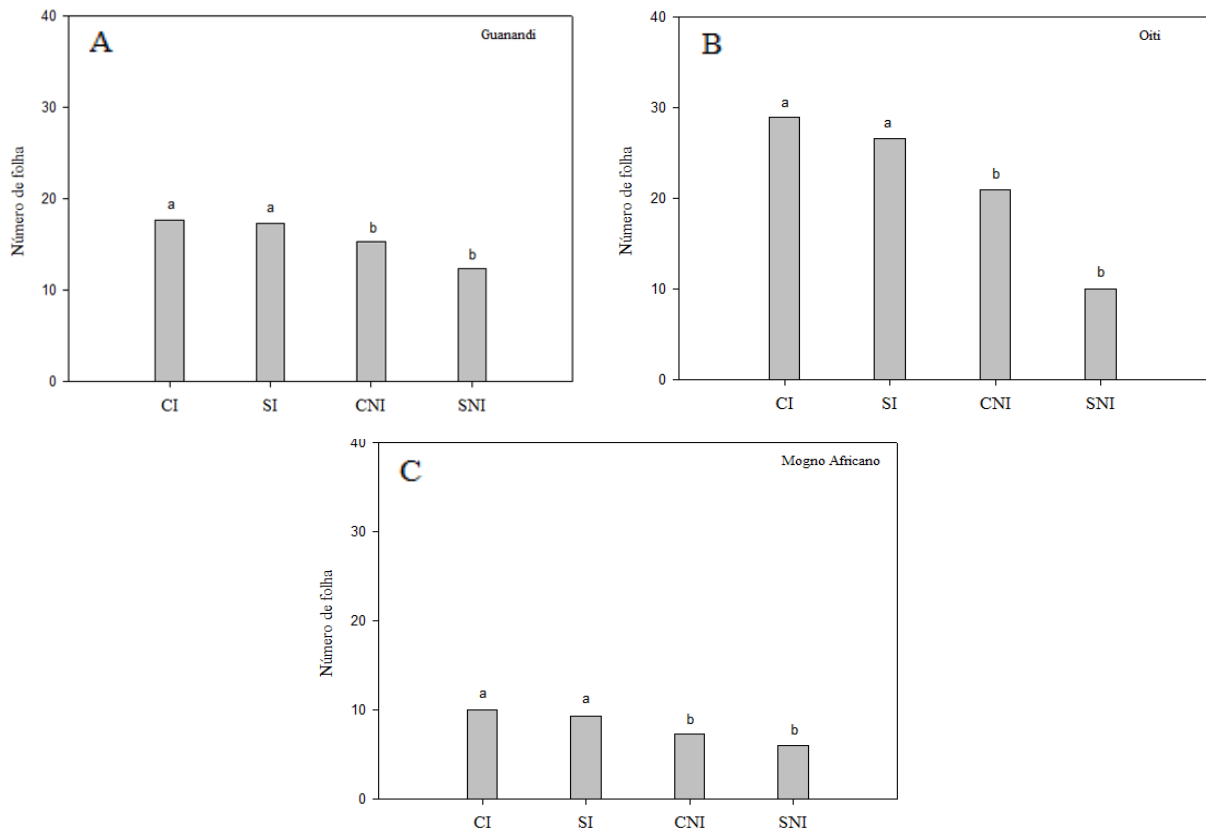
Médias seguidas da mesma letra minúscula para espécie e maiúscula para regime hídrico, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. (I- irrigada; NI- não irrigada).

O número de folhas apresentou efeito significativo para a interação entre os fatores espécie x regime hídrico x adubação orgânica (Figura 9). Conforme a diminuição gradativa da disponibilidade de água com a suspensão da irrigação houve uma redução na quantidade de folhas, diferindo as plantas irrigadas das não irrigadas. As plantas irrigadas com e sem matéria orgânica não diferiram entre si, semelhante às não irrigadas com e sem matéria orgânica. Provavelmente, a redução no número de folhas consiste em um mecanismo adaptativo existente em algumas plantas para reduzir as perdas de água e evitar a desidratação em condição de restrição hídrica no solo. (FRANCO *et al.*, 2005; SOUZA *et al.*, 2004). A deficiência hídrica deve ter causado restrição no surgimento de novas folhas (SMIT; SINGELS, 2006).

As espécies diferiram entre si no número de folhas, dessa forma o mogno africano mostrou uma menor quantidade em relação ao oiti e ao guanandi. Tal fato deve ser atribuído à diferença na estrutura morfológica e na anatomia foliar de cada espécie (BEN SALEM-FNAYOU *et al.*, 2005). Todavia, o déficit hídrico afeta a produção de biomassa, dessa forma o crescimento foliar apresentou-se mais sensível à redução da turgescência (NOGUEIRA *et*

al. 2005).

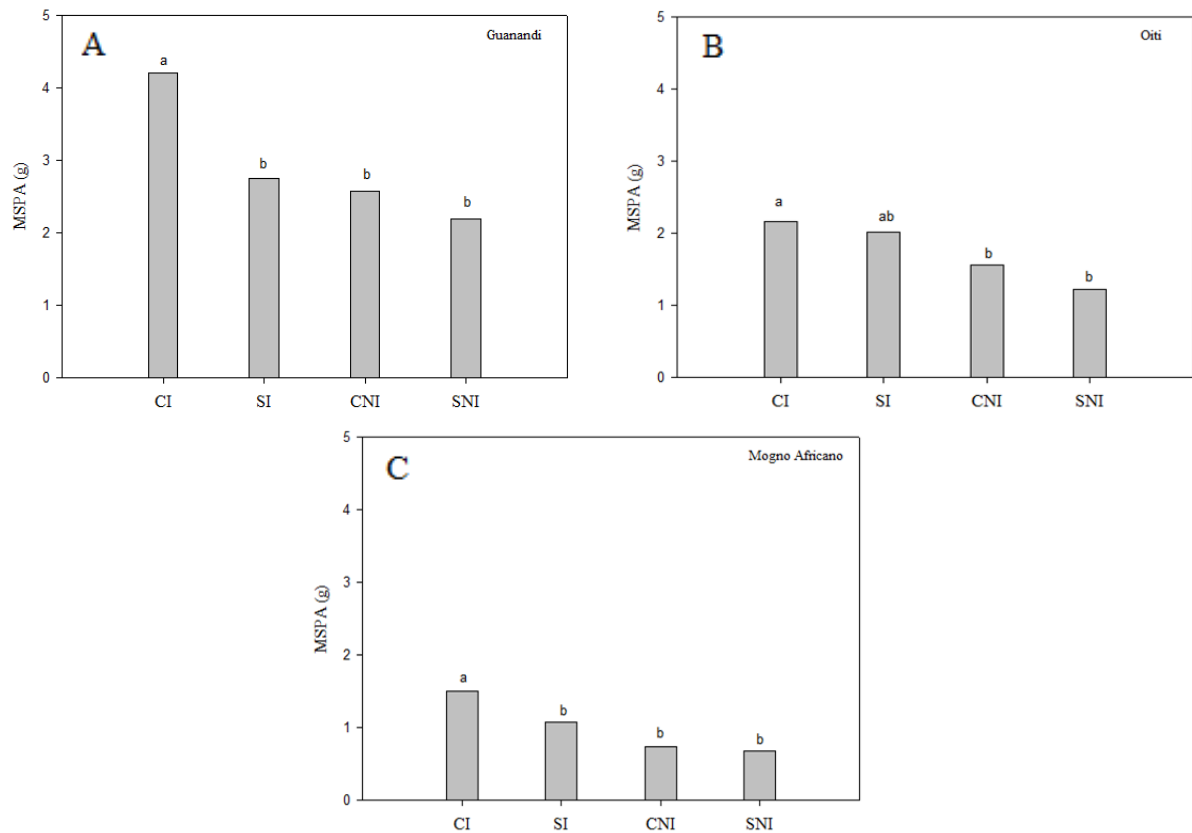
Figura 9 Número de folha em três espécies guanandi (A), oiti (B) e mogno africano (C) em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse.



Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. (CI- solo com matéria orgânica irrigado; SI- solo sem matéria orgânica irrigado; CNI- solo com matéria orgânica não irrigado; SNI- solo sem matéria orgânica não irrigado).

A massa seca da parte aérea (MSPA) foi influenciada três fatores isoladamente e pelas interações espécie x regime hídrico e regime hídrico x adubação (Tabela 4). Observou-se uma diminuição gradativa na produção de biomassa da parte aérea à proporção que reduziu a disponibilidade de água no solo, dessa forma o guanandi e o mogno no tratamento CI diferiram dos tratamentos SI, CNI e SNI, contudo no oiti no tratamento SI não diferiu das plantas CI, CNI e SNI (Figura 10). Provavelmente, a adição de matéria orgânica ao solo aumentou a disponibilidade de nutrientes para as plantas, favorecendo a maior produção de biomassa da parte aérea das plantas irrigadas. Por outro lado, a baixa disponibilidade de água no solo resultou em menor produção de biomassa (KUMAR; SHARMA, 2009).

Figura 10 Massa seca da parte aérea em três espécies guanandi (A), oiti (B) e mogno africano (C) em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse.

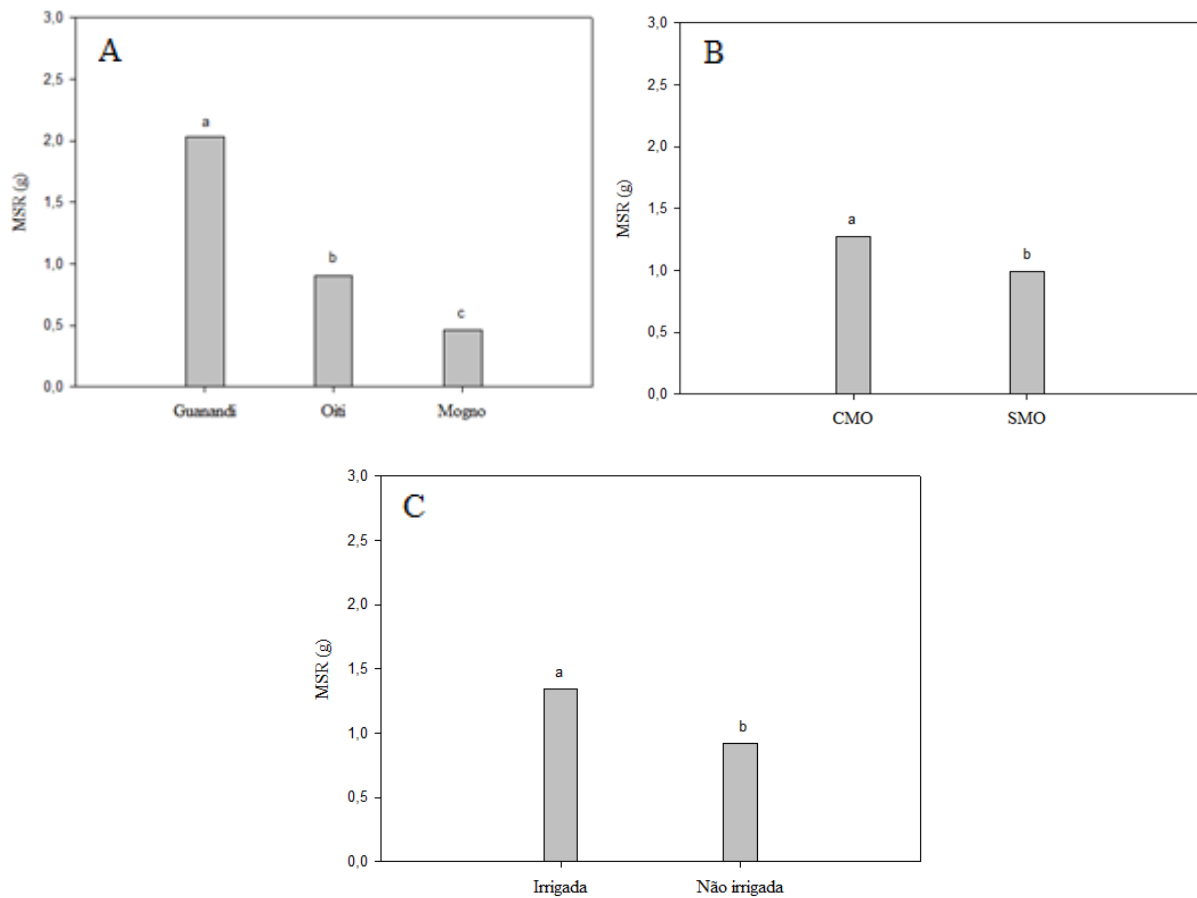


Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. (CI- solo com matéria orgânica irrigado; SI- solo sem matéria orgânica irrigado; CNI- solo com matéria orgânica não irrigado; SNI- solo sem matéria orgânica não irrigado).

A massa seca da raiz (MSR) apresentou efeito significativo para os fatores isolados espécies regime hídrico e adubação orgânica (Tabela 4). Observou-se que o mogno africano e o oiti não diferiram entre si, contudo ambos diferiram do guanandi que apresentou maior MSR (Figura 11A). Tal fato deve ser atribuído a maior densidade de raiz observada no guanandi. Entretanto, quando se comparou o regime hídrico verificou-se uma redução na MSR nas plantas não irrigadas, independente dos demais fatores (Figura 11B). Segundo Roza, (2010) quando as plantas são submetidas a um estresse mais severo reduzem a produção de biomassa dos diversos órgãos da planta.

Quando se comparou a adubação orgânica verificou-se uma redução nas plantas sem a adição desse insumo (Figura 11C). Possivelmente, a adição de matéria orgânica deve ter contribuído para a maior retenção de umidade e também na disponibilização de nutrientes, fatores que favorecem o crescimento vegetal (BAYER; MIELNICZUK, 2008).

Figura 11 Massa seca da raiz em três espécies (A) em função do regime hídrico (B) e da adubação orgânica (C) no período de estresse.

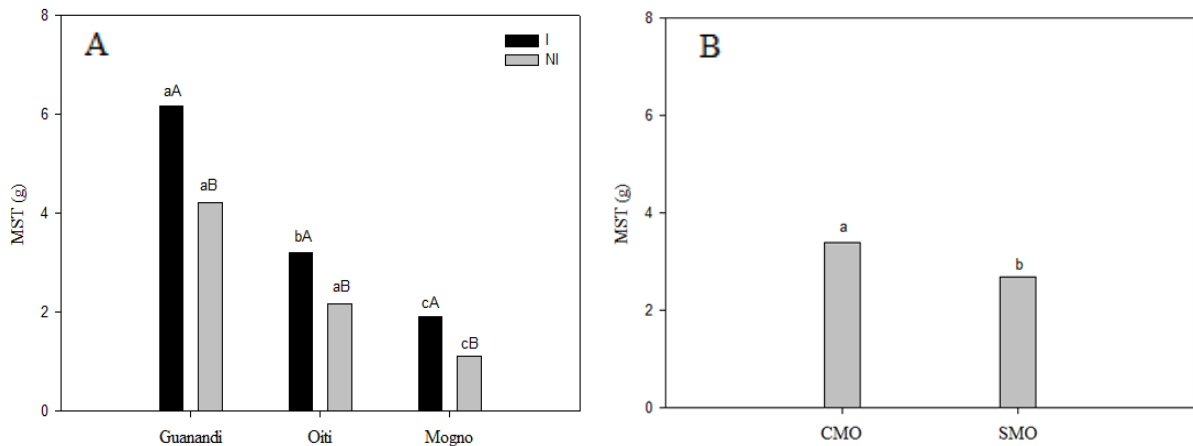


Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. (CMO – solo com matéria orgânica; SMO – solo sem matéria orgânica)

A matéria seca total foi afetada isoladamente pelos três fatores, havendo ainda interação entre espécie e regime hídrico (Tabela 4). Verificou-se uma redução na MST no guanandi, no oiti e no mogno africano de 24,99%, 26,67% e 34,75%, respectivamente em função do estresse hídrico, mostrando diferença significativa entre as espécies (Figura 12 A). Provavelmente, a diferença está relacionada com a morfologia de cada espécie (BEN SALEM-FNAYOU *et al.*, 2005). Segundo Netting (2000), esse fenômeno pode ser resultado da produção de ácido abscísico (ABA), que induz o crescimento da raiz e estimula a emergência de raízes laterais, enquanto suprime o crescimento foliar.

Quando se comparou a adubação orgânica verificou-se uma redução na MST de 23,53% nas plantas sem matéria orgânica (Figura 12B). Provavelmente a retenção de água da matéria orgânica (SANTOS *et al.*, 2008; RESCK *et al.*, 2008) disponibilizou maior quantidade de água para as plantas aumentando a produção de MST durante a suspensão da irrigação.

Figura 12 Massa seca total em três espécies em função do regime hídrico (A) e da adubação orgânica (B) no período de estresse.

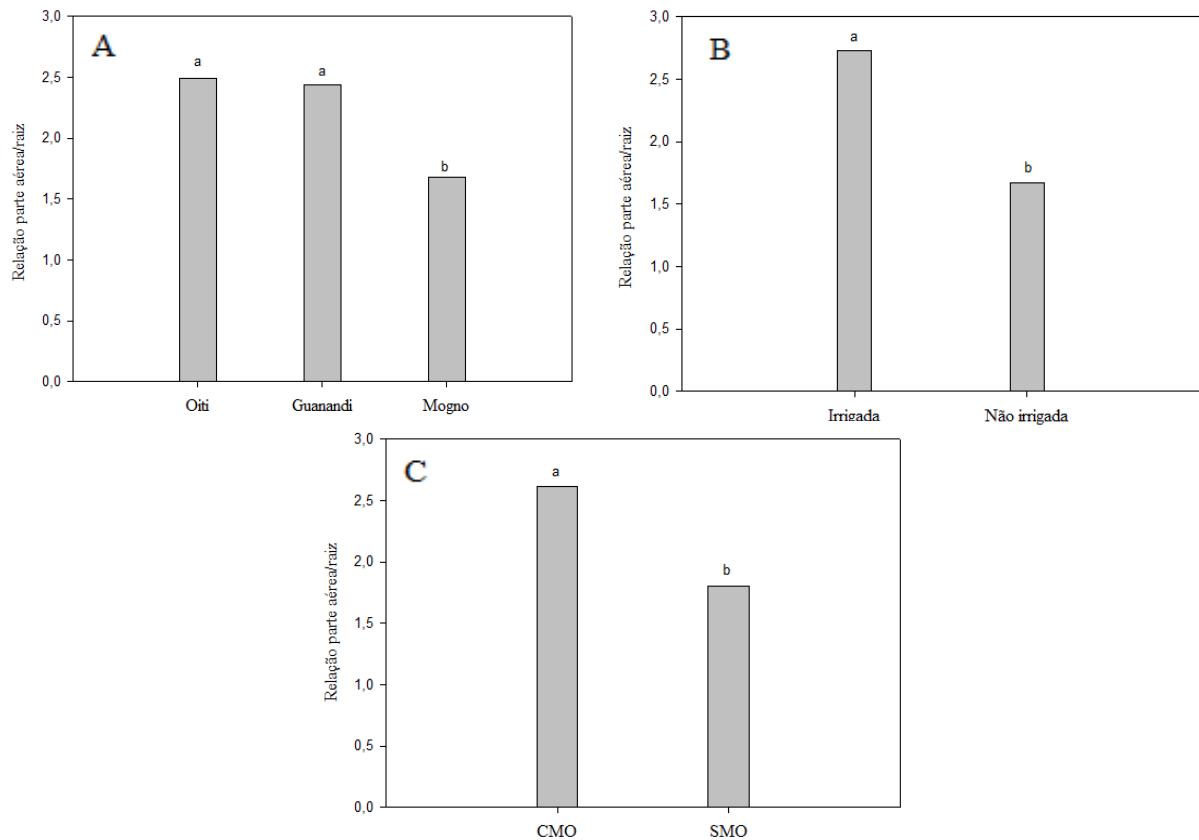


Na figura A médias seguidas das mesmas letras minúsculas, para espécies, e maiúsculas, para regime hídrico, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Figura B médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. (I- irrigada; NI- não irrigada; CMO – solo com matéria orgânica e SMO – solo sem matéria orgânica).

A relação parte aérea/raiz (PA/R) foi influenciada pelos três fatores isolados espécie, regime hídrico e adubação orgânica, seguindo a mesma tendência dos efeitos observados sobre a produção de biomassa da parte aérea e das raízes. Na comparação das espécies verificou-se que o guanandi e o oiti apresentaram maior relação PA/R, em relação ao mogno africano, indicando que as duas primeiras investem menos fotoassimilados no crescimento radicular durante a fase de muda (Figura 13A).

Por outro lado, quando se comparou o regime hídrico verificou-se que a suspensão da irrigação reduziu a relação PA/R, independente dos demais fatores, indicando maior investimento proporcional no crescimento das raízes em função da redução da disponibilidade de água no solo (Figura 13B). Resultado semelhante foi observado na comparação dos tratamentos com adubação orgânica, com os menores valores da relação PA/R nas plantas que não receberam matéria orgânica (Figura 13C). Neste tratamento, a redução da retenção de umidade e a menor disponibilidade de nutrientes podem ter favorecido o maior crescimento radicular. Nessas condições, a maior proporção de fotoassimilados são translocados para a raiz priorizando o contínuo crescimento radicular, permitindo absorção de água com menor perda por transpiração (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Figura 13 Relação parte aérea/raiz em três espécies (A) em função do regime hídrico (B) e da adubação orgânica (C) no período estresse.



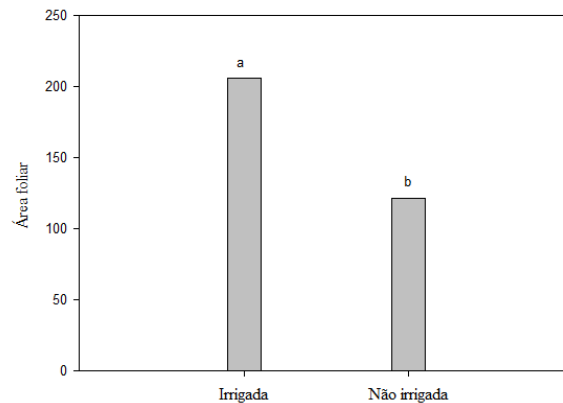
Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. (CMO - solo com matéria orgânica e SMO - solo sem matéria orgânica).

De acordo com Pereira e Machado (1987) a Área foliar (AF) é um fator que depende do número e tamanho das folhas, além do retardo da senescência. No presente trabalho verificou-se que a AF apresentou efeito significativo apenas para o regime hídrico (Tabela 4), observou-se uma redução na AF de 205,72 cm² nas plantas irrigadas para 121,84 cm² naquelas que tiveram a irrigação suspensa (Figura 14). Tal fato deve ser atribuído à redução da disponibilidade de água no solo que reduziu o número de folhas (Figura 9), consequentemente, causando uma redução na AF, induzido pela diminuição no crescimento foliar, devido a redução da emissão de folhas novas ou através da emissão de folhas menores (SCARPARI, 2007; SHIGAKI *et al.*, 2004), haja vista que a expansão foliar depende da turgescência que é extremamente sensível ao déficit hídrico (BLUM, 1997).

Segundo Teare e Peet (1983) a diminuição da AF é uma resposta à deficiência hídrica, que afetará o potencial fotossintético e o crescimento da planta. A AF também apresenta um papel fundamental na determinação da quantidade de luz que a planta intercepta, na fixação de carbono e na perda de água (FIGUEREDO JÚNIOR *et al.*, 2005).

Portanto, a redução do potencial de água na folha pode induzir o fechamento estomático das plantas diminuam o crescimento, o tamanho das folhas e aumentou a senescência foliar (CHAVES *et al.*, 2009), causando uma inibição do desenvolvimento da AF (TARDIEU; DAVIES, 1993).

Figura 14 Área foliar em três espécies em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período estresse.



Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

4.2.2 Trocas gasosas e índice relativo de clorofila

Os resultados da análise de variância para condutância estomática (g_s), evidenciaram efeitos significativos para os três fatores isolados e para a interação entre espécie x regime hídrico e regime hídrico x adubação orgânica (Tabela 5)

As trocas gasosas (g_s , E , A , e Ci/Ca) foram significativamente reduzidas com a diminuição da disponibilidade de água no solo. Os resultados evidenciaram uma diferença significativa na g_s quando as plantas foram irrigadas no guanandi e no mogno, mas ambos não diferiram do oiti, enquanto as plantas não irrigadas não diferiram entre si. Contudo, quando se comparou o regime hídrico verificou-se uma redução no guanandi, no oiti e no mogno de 22,60%, 25,25% e 24,06%, respectivamente (Figura 15A). Com estresse hídrico, à medida que se reduziu a disponibilidade de água no solo ocorreu a redução da abertura dos estômatos, antes da redução da turgescência foliar, para reduzir a perda de água por transpiração (THOMPSON *et al.*, 2007), em resposta ao acúmulo de ABA nas folhas, devido a redução do potencial da água no solo (CHAVES *et al.*, 2009; TARDIEU; DAVIES, 1993).

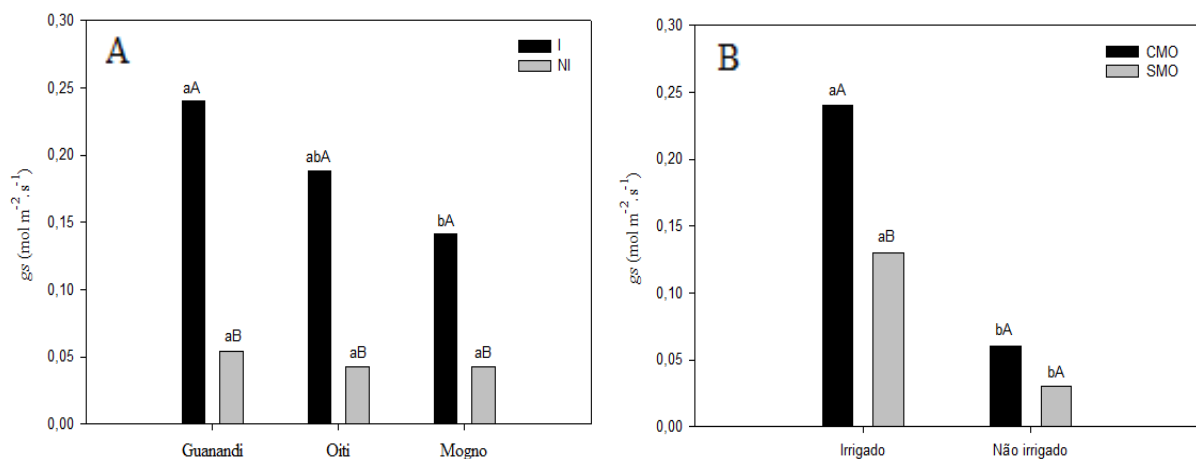
Tabela 5 Resumo da análise de variância para condutância estomática (g_s), taxa de transpiração (E), taxa de fotossíntese líquida (A), relação C_i/C_a , potencial hídrico (Ψ_w) e índice relativo de clorofila (IRC) em três espécies em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse.

| FV | GL | QM | | | | |
|----------------------|-----------|-----------|-------------|-------------|-----------|--------------|
| | | g_s | E | A | C_i/C_a | IRC |
| Espécie (A) | 2 | 0.00922** | 3.22990* | 2.25342ns | 0,25963** | 17.86861* |
| Irrigação (B) | 1 | 0.18341** | 128.65662** | 343.43461** | 0,76580** | 3902.08444** |
| A. Org. (C) | 1 | 0.03733** | 20.36884** | 42.38249** | 0,19419** | 1722.25000** |
| A x B | 2 | 0.00591* | 1.57442ns | 3.08440ns | 0,00351ns | 1.57194ns |
| A x C | 2 | 0.00070ns | 0.11235ns | 2.67681ns | 0,00217ns | 5.82750ns |
| B x C | 1 | 0.1239** | 1.52555ns | 1.96006ns | 0,03363* | 1697.44000** |
| A x B x C | 2 | 0.00027ns | 0.10252ns | 0.23019ns | 0,00200ns | 2.29750ns |
| Tratamento | 11 | 0.02412 | 14.59904 | 36.75153 | 0,00311 | 670.62778 |
| Resíduo | 24 | 0.00149 | 0.75097 | 1.82240 | 0,00454 | 3.82944 |
| Total | 35 | | | | | |
| CV% | | 32.54 | 23.00 | 27.76 | 7,60 | 13.34 |

** , * e ns: significativo ao nível de 1%, significativo ao nível de 5% e não significativo para o teste de Tukey, respectivamente.

A g_s também mostrou efeito significativo para a interação regime hídrico e adubação orgânica. Na qual as plantas irrigadas sem matéria orgânica apresentaram uma redução de 45,84% para as com matéria orgânica, enquanto as plantas não irrigadas sem matéria orgânica apresentaram uma redução de 50,00% para as com matéria orgânica (Figura 15B).

Figura 15 Condutância estomática em três espécies em função do regime hídrico (A) e da adubação orgânica (B) no período de estresse.

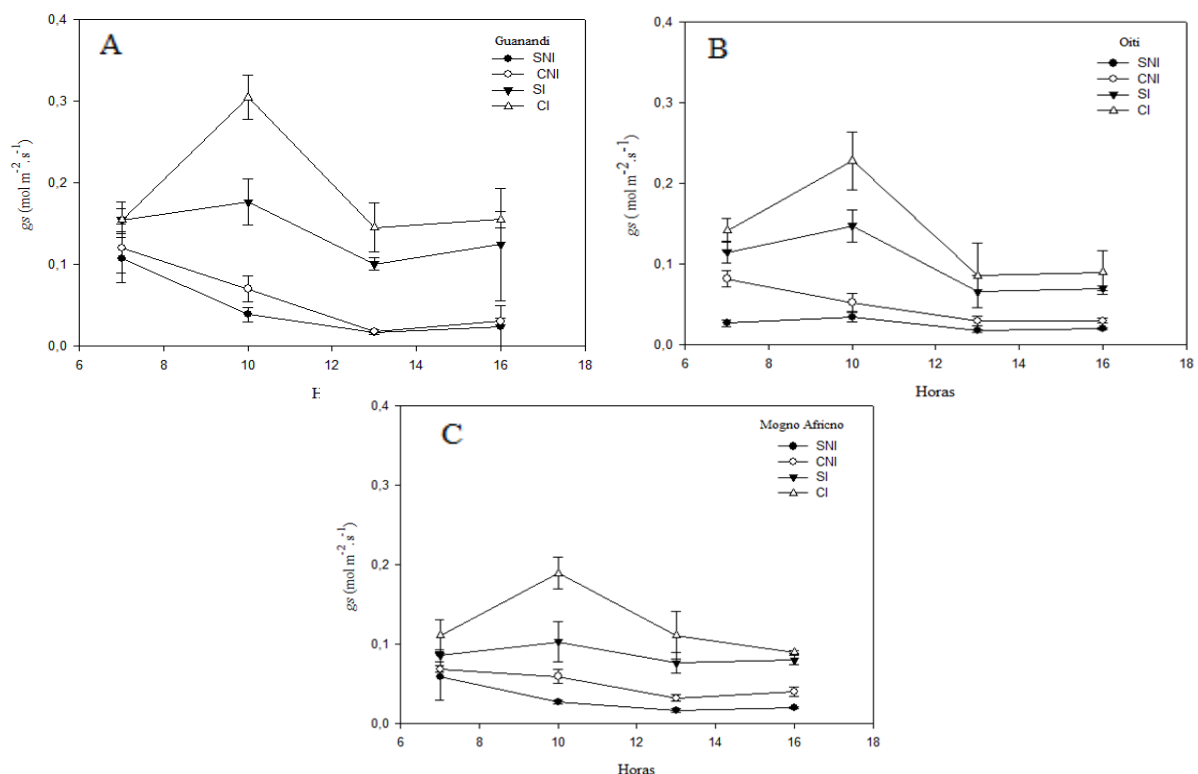


Na figura A médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, para espécies, e maiúsculas, para regime hídrico, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Figura B médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, para regime hídrico, e maiúsculas, para adubação orgânica, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. (I- irrigada; NI- não irrigada; CMO - solo com matéria orgânica e SMO – solo sem matéria orgânica).

Provavelmente, a retenção de água no solo com matéria orgânica em ambos o regime hídrico contribuiu para aumento da g_s . Tal fato deve ser atribuído à redução do abastecimento de água na folha, consequentemente as plantas fecharam os estômatos para evitar que o potencial de água na folha diminuísse para os níveis que inibem a eficiência fotossintética (ZHOU; YU, 2010)

A g_s das plantas que tiveram suspensa a irrigação apresentaram o valor máximo às 7:00 horas decrescendo até as 13 horas, permanecendo constante até às 16:00 horas (Figura 16). O mogno apresentou os menores valores em relação às outras espécies. Provavelmente, quando a água do solo é reduzida, os estômatos se fecham em uma manhã ensolarada, mantendo-se fechados para evitar a desidratação dos tecidos (MCDOWEL *et al.*, 2008, TAIZ; ZEIGER, 2013).

Figura 16 Condutância estomática diária em três espécies guanandi (A), oiti (B) e mogno africano (C) em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse.



Cada valor representa a média de três repetições ($n = 3$) e os seus erros padrão (\pm SE). (CI- solo com matéria orgânica irrigado; SI- solo sem matéria orgânica irrigado; CNI- solo com matéria orgânica não irrigado; SNI- solo sem matéria orgânica não irrigado).

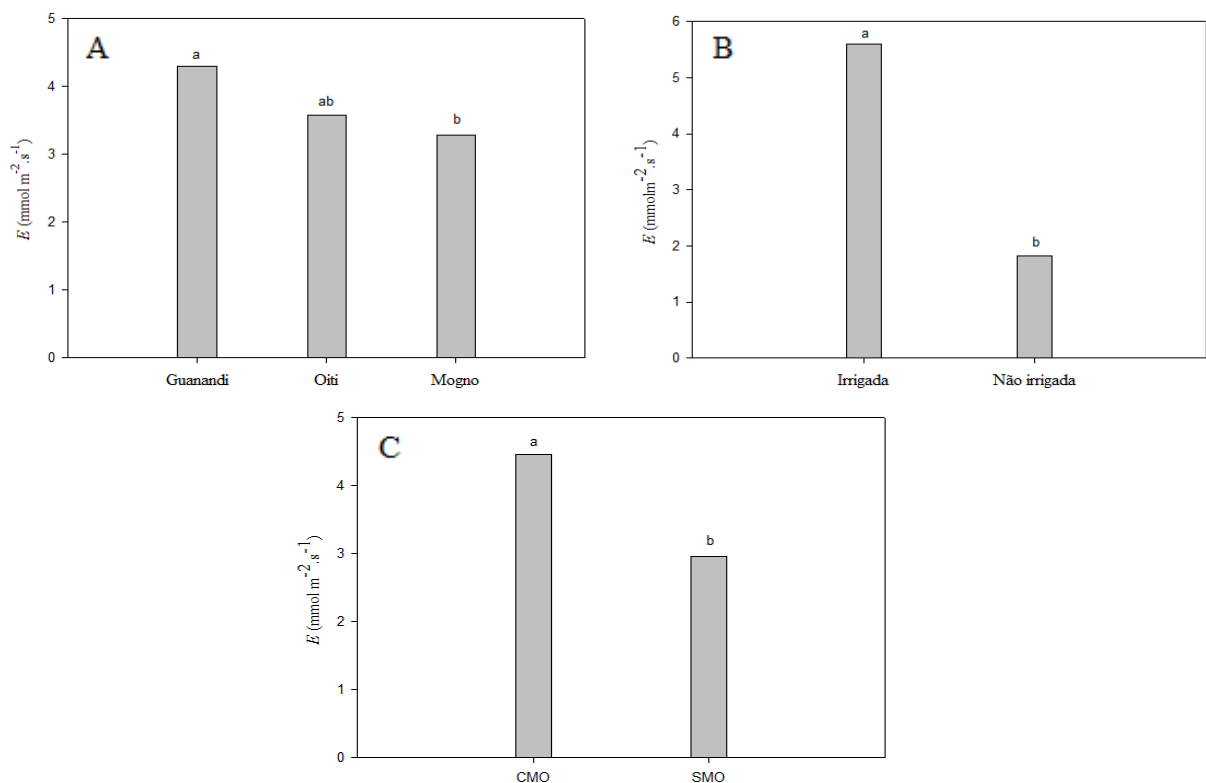
Por outro lado, quando as plantas foram irrigadas continuamente a g_s atingiu o valor máximo às 10:00 horas, em seguida decrescendo até 13:00 horas permanecendo

constante até as 16:00 horas (Figura 16), em que os maiores valores foram observados no guanandi.

Provavelmente, o aumento da demanda evaporativa e as altas temperaturas o abastecimento de água nas folhas era menor que a perda de água, mesmo com o solo na capacidade de campo, assim os estômatos se fecharam para evitar a redução do potencial de água na folha (ZHOU; YU, 2010). A partir das 13:00 horas quando houve redução da demanda evaporativa houve o restabelecimento da g_s até às 16:00 horas.

A E foi afetada pelos três fatores isolados espécies (Tabela 5). A maior E foi observado no guanandi que diferiu do mogno africano, mas ambos não diferiram do oiti (Figura 17A). Por outro lado, quando se comparou o regime hídrico, verificou-se uma redução na E nas plantas com suspensão da irrigação de 32,05 % (Figura 17B).

Figura17 Taxa de transpiração em três espécies (A) função do regime hídrico (B) e da adubação orgânica (C) no período de estresse.



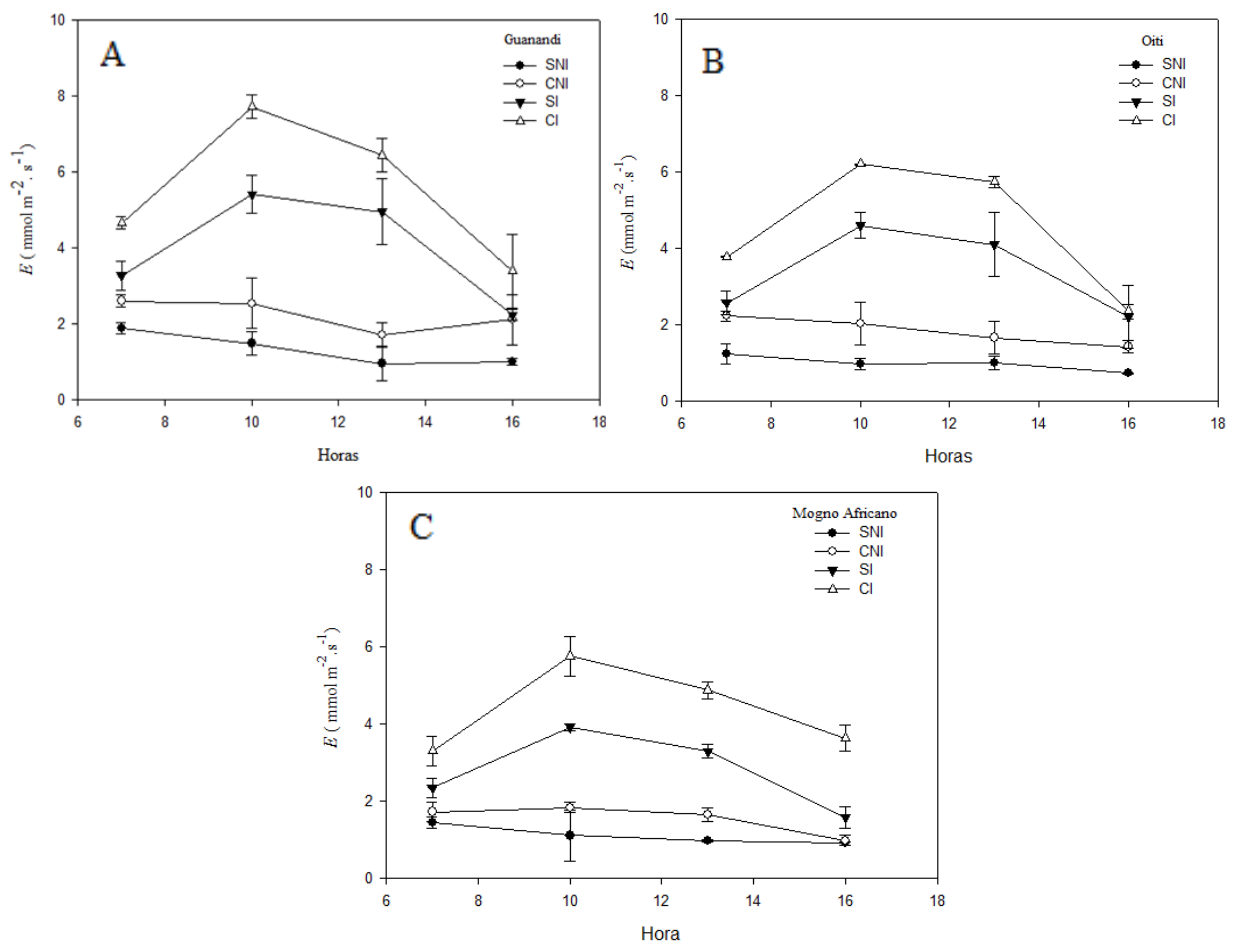
Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. (CMO - solo com matéria orgânica e SMO – solo sem matéria orgânica).

A maior retenção de água no tratamento com adubação orgânica (Figura 3B) resultou em maiores valores de E (Figura 17C), resultados semelhante ao observado para a g_s (Figura 15). No solo sem matéria orgânica ocorreu restrição hídrica com o prolongar do

estresse, de modo que o transporte de água no sistema solo-planta-atmosfera reduziu com a diminuição da condutividade hidráulica do solo e o abastecimento de água para as raízes tornou-se limitado, restringindo a g_s , em seguida a E e a A . É importante salientar que a taxa de transpiração depende da umidade do solo, bem como do enraizamento em profundidade e da densidade da área da raiz (MANZONI *et al.*, 2013). A água perdida para a atmosfera através da E é uma consequência inevitável, necessária para a assimilação do CO_2 atmosférico para a A , pois quando a planta abre os estômatos para a aquisição do CO_2 , ocorre a perda de água pela E (HSIAO; XU, 2000).

A E das plantas não irrigadas apresentaram os valores máximos às 7:00 horas decrescendo ao longo do dia (Figura 18). Por outro lado, as plantas irrigadas tiveram o valor máximo às 10:00 horas decrescendo em seguida até às 16:00 horas (Figura 18).

Figura 18 Taxa de transpiração diária em três espécies guanandi (A), oiti (B) e mogno africano (C) em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse.

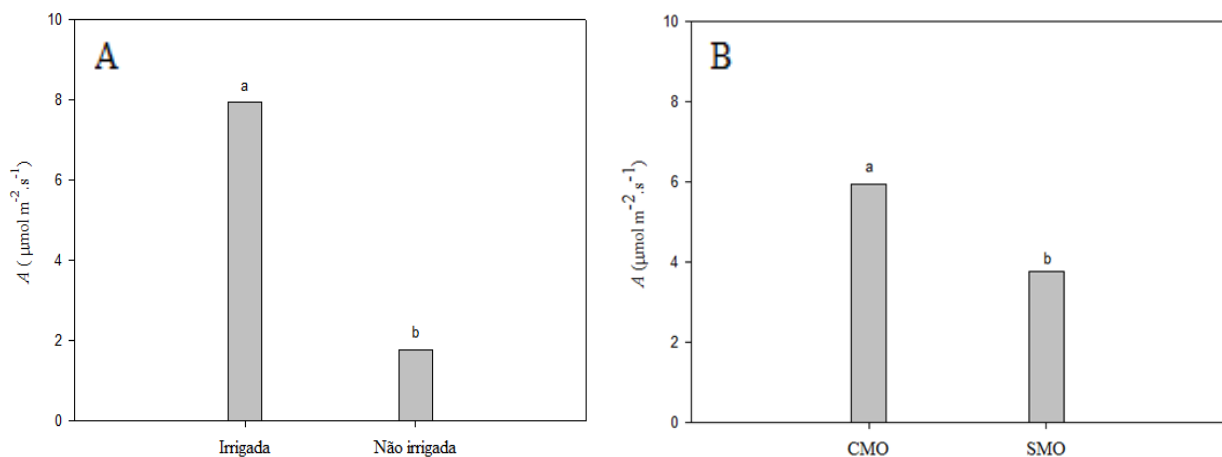


Cada valor representa a média de três repetições ($n = 3$) e os seus erros padrão ($\pm SE$). (CI- solo com matéria orgânica irrigado; SI- solo sem matéria orgânica irrigado; CNI- solo com matéria orgânica não irrigado; SNI- solo sem matéria orgânica não irrigado).

Provavelmente, a E das plantas não irrigadas decresceu em virtude da restrição hídrica no solo, devido à redução do transporte de água no sistema solo-água planta, enquanto, as plantas irrigadas tiveram os valores máximos às 10 horas, em seguida decrescendo à proporção que aumentou a DPV, ou seja, à medida que o ar torna-se mais seco (MOTT; PEAK, 2013). Em dias quentes e ensolarados, mesmo quando o solo está na sua capacidade de campo, a E pode causar uma desidratação ao meio dia (KRAMER; BOYER, 1995). Segundo Steudle; Peterson (1998) o aumento da demanda evaporativa eleva a perda de água para a atmosfera tornando maior que a absorção de água pelas raízes.

A fotossíntese foi afetada pelo regime hídrica e adubação orgânica isoladamente (Tabela 5). Os valores da A apresentaram uma redução de 77,79% nas plantas não irrigadas (Figura 19 A). Provavelmente, sob condição de suprimento limitado de água no solo, ocorreu uma inibição da A , devido ao fechamento dos estômatos que é o primeiro mecanismo de proteção para evitar a perda excessiva de água e manutenção de turgescência da planta (HU *et al.*, 2010). Quando se comparou a adubação orgânica (Figura 19B), verificou-se uma redução de 36,54% nas plantas sem matéria orgânica. Provavelmente, a retenção de água pela matéria orgânica favoreceu a A durante a suspensão da irrigação, uma vez que esse processo fisiológico é bastante sensível ao déficit hídrico (PINHEIRO; CHAVES, 2011).

Figura 19 Taxa de fotossíntese líquida em três espécies (A) em função da irrigação (B) e da adubação orgânica (C) no período estresse.



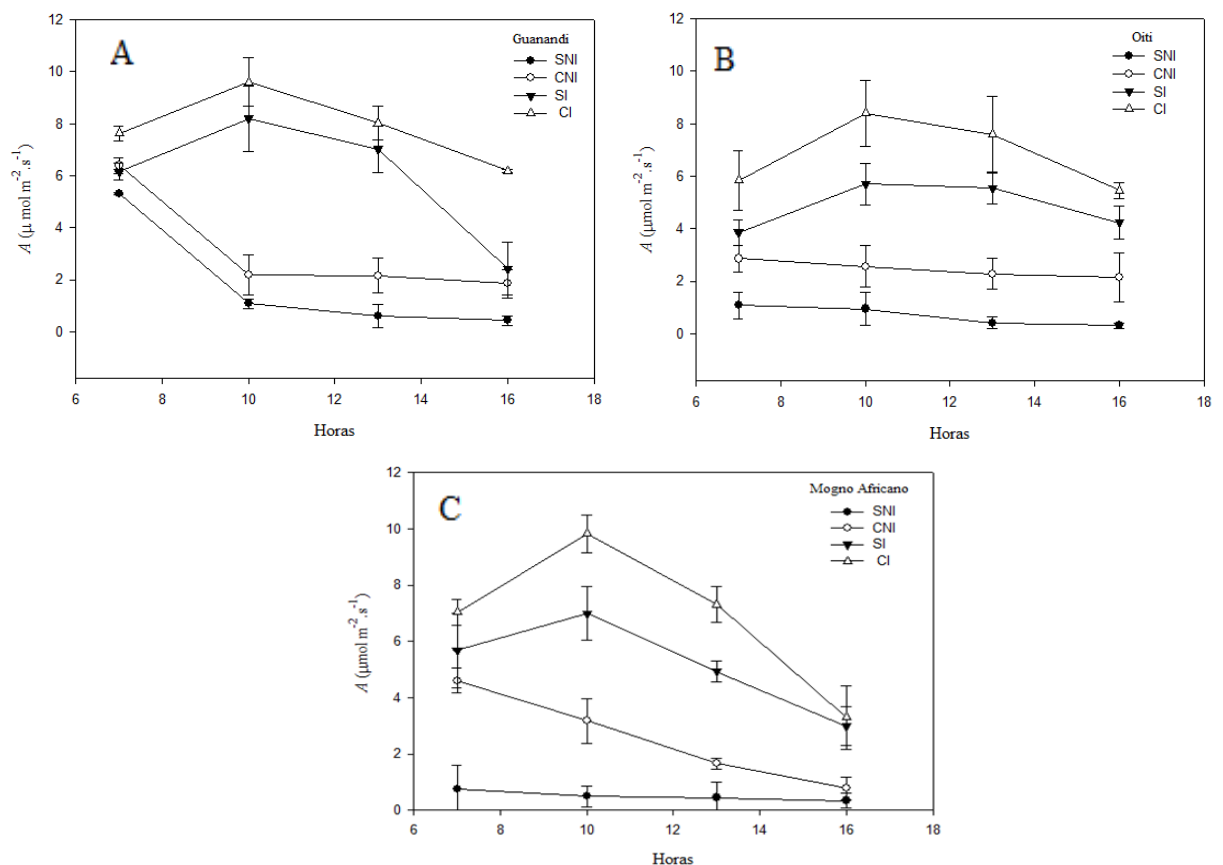
Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. (CMO - solo com matéria orgânica e SMO - solo sem matéria orgânica).

Quando se comparou a adubação orgânica (Figura 19B), verificou-se uma redução de 36,54% nas plantas sem matéria orgânica. Provavelmente, a retenção de água pela matéria orgânica favoreceu a A durante a suspensão da irrigação, uma vez que esse processo

fisiológico é bastante sensível ao déficit hídrico (PINHEIRO; CHAVES, 2011).

De acordo com os resultados, as plantas não irrigadas apresentaram os valores máximo de A às 7:00 horas em seguida decrescendo (Figura 20). O guanandi apresentou uma queda mais acentuada das 7:00 às 10:00 horas nas plantas com e sem matéria orgânica permanecendo praticamente constante nos demais horários, enquanto o oiti apresentou valores menores para as plantas sem matéria orgânica, porém constante praticamente ao longo do dia e o mogno sem matéria orgânica apresentaram os valores menores, em relação as plantas com matéria orgânica verificando uma queda ao longo do dia. A diminuição da A é geralmente observado em plantas sob condições de estresse hídrico (ENDRES, 2007, HESSINI *et al.*, 2009 e SAIBO *et al.*, 2009).

Figura 20 Taxa de fotossíntese líquida diária em três espécies no guanandi (A), no oiti (B) e no mogno africano (C) em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse.



Cada valor representa a média de três repetições ($n = 3$) e os seus erros padrão (\pm SE). (CI- solo com matéria orgânica irrigado; SI- solo sem matéria orgânica irrigado; CNI- solo com matéria orgânica não irrigado; SNI- solo sem matéria orgânica não irrigado).

Por outro lado, quando as plantas foram irrigadas todas as espécies atingiram o valor máximo às 10 horas decrescendo em seguida até às 16 horas (Figura 20).

Provavelmente, a redução da A as 13:00 horas ocorreu em virtude da redução da g_s , devido ao aumento do déficit de pressão de vapor do ar (DPV) (OLIVER *et al.*, 2009; OHSUMI *et al.*, 2008) e da temperatura (EAMUS *et al.*, 2008).

A relação C_i/C_a foi influenciada pelos três fatores isolados, havendo ainda interação entre regime hídrico x adubação orgânica (Tabela 5). Conforme os resultados obtidos verificou diferença significativa entre o guanandi e o mogno, mas ambos não diferiram do oiti (Figura 21A). Segundo Taiz; Zeiger, (2013) as espécies diferem morfológicamente entre si, em quantidade, distribuição, tamanho e forma dos estômatos que são características específicas de cada espécie (LARCHER, 2004). O estresse hídrico reduz o fluxo de água nas plantas é o fechamento do estômato, consequentemente reduz o fluxo de CO_2 que chega aos cloroplastos (CHAVES *et al.*, 2009).

Nas plantas irrigadas tiveram uma redução de 30,98% sem matéria orgânica, enquanto as plantas não irrigadas tiveram uma redução de 25,00% sem matéria orgânica na assimilação de CO_2 . Tal fato deve ser atribuído a redução da g_s afetou a assimilação CO_2 , devido à redução da absorção de água pela planta em função da demanda por transpiração causando o fechamento dos estômatos (SENGUPTA *et al.*, 2011). Contudo as plantas com adição de matéria orgânica tinham maior disponibilidade de água no solo durante o estresse favorecendo a assimilação de CO_2 com a suspensão da irrigação.

Figura 21 Relação C_i/C_a em três espécies (A) em função do regime hídrico e da adubação orgânica (B) no período estresse.

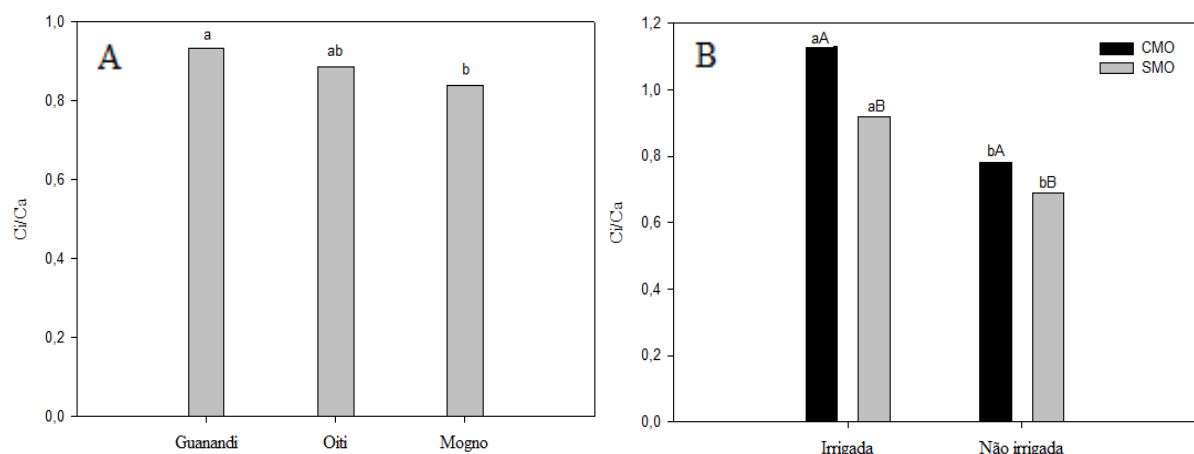
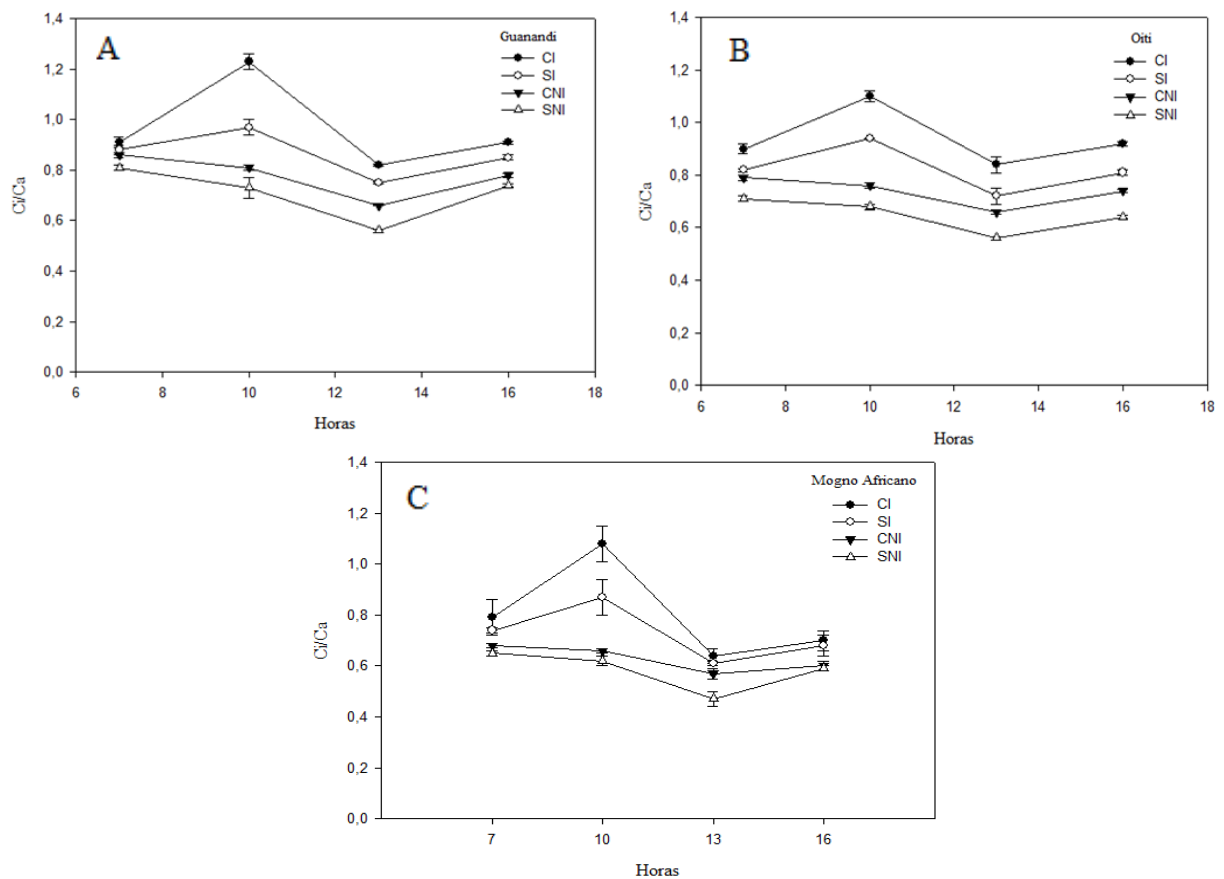


Figura A médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Figura B médias seguidas da mesma letra minúscula, para regime hídrico, e maiúsculas, para adubação orgânica, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. (CMO - solo com matéria orgânica e SMO - solo sem matéria orgânica).

Na relação C_i/C_a verificou-se que as plantas não irrigadas apresentaram menores valores, sendo que a absorção máxima ocorreu às 7:00 horas, reduzindo à medida que reduziu a g_s (Figura 22). No guanandi observou um decréscimo até as 13:00 horas, em que a partir desse horário houve uma recuperação com valores próximo de 7:00 horas. No oiti verificou uma queda acentuada das 10:00 às 13:00 horas, seguida de uma recuperação com valores próximo das 7:00 horas. Enquanto no mogno apresentou uma queda acentuada de 7:00 às 10:00 horas permanecendo estável até às 13:00 onde mostrou uma recuperação (Figura 22). Por outro lado, as plantas irrigadas com adição matéria orgânica apresentaram os valores maiores que as plantas sem matéria orgânica, em que os valores máximos foram observado as 10:00 horas decrescendo até as 13:00 horas onde apresentou uma recuperação próximo de 7:00 horas.

Figura 22 Relação C_i/C_a diária em três espécies guanandi (A), oiti (B) e mogno africano (C) em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período estresse.



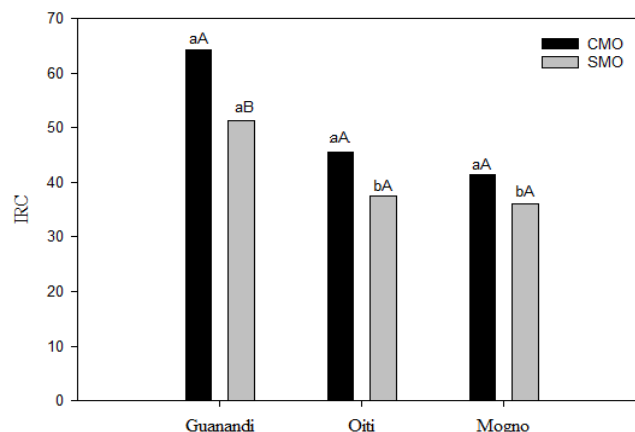
Cada valor representa a média de três repetições ($n = 3$) e os seus erros padrão (\pm SE). (CI- solo com matéria orgânica irrigado; SI- solo sem matéria orgânica irrigado; CNI- solo com matéria orgânica não irrigado; SNI- solo sem matéria orgânica não irrigado).

Efeitos inibitórios do estresse hídrico sobre a A são geralmente associados com baixa absorção de CO_2 , causados por limitações na difusão através do fechamento dos estômatos (FLEXAS *et al.*, 2008), ou por alterações das reações bioquímicas durante o metabolismo de assimilação de CO_2 (LAWLOR, 2009). A sensibilidade dos processos fotossintéticos ao estresse hídrico varia de acordo com as espécies, bem como com o nível de gravidade do estresse hídrico (CHAVES *et al.*, 2009). De fato, tanto a redução da disponibilidade de água no solo como redução de g_s afetam a A (PÉREZ-MARTÍN *et al.*, 2009).

Segundo Santos *et al.* (2013) relatou no seu trabalho sobre as variações sazonais das trocas gasosas (A , E e g_s) em duas regiões distintas uma semiúmida e a outra semiárida com duas estações uma chuvosa e na outra seca. No período seco da região semiúmida a E e A apresentaram valores mais elevados no período da manhã e menores durante a tarde, entretanto na região semiárida a E e a A foram consideradas extremamente baixa durante todo o dia, o mesmo observado nesse trabalho.

O índice relativo de clorofila (IRC) mostrou efeito significativo para a interação entre os fatores espécie x adubação orgânica (Tabela 5). O IRC foi significativamente maior no guanandi no solo com matéria orgânica, não sendo observada essa diferença para as outras duas espécies. Os maiores valores do guanandi deve ser uma característica associada às folhas dessa espécie, em relação às outras espécies estudadas (Figura 23).

Figura 23 Índice relativo de clorofila em três espécies em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período estresse.



Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, para espécies, e maiúsculas, para adubação orgânica, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. (CMO - solo com matéria orgânica e SMO - solo sem matéria orgânica).

Provavelmente, a retenção de água da matéria orgânica disponibilizou-se as plantas durante a suspensão da irrigação. Os teores de clorofila na folha em condições de estresse hídrico são reduzidos, afetando a A (JALEEL *et al.*, 2009). Conforme Massacci *et al.* (2008) os danos causados à fotossíntese, devido à redução do teor de clorofila ocorrem frequentemente em condições de estresse mais severo, observado nas plantas sem matéria orgânica.

Segundo Taiz e Zeiger (2013) a concentração de pigmentos fotossintéticos varia conforme a espécie vegetal, cujo teor demonstra a adaptabilidade das plantas aos estresses ambientais. Esse teor é influenciado por fatores bióticos e abióticos, estando diretamente relacionado com a atividade fotossintética da planta.

4.2.3 Teores foliares de nutrientes

A análise de variância para os teores de nutrientes foliares apresentaram efeitos significativo para interações entre os fatores espécie x regime hídrico x adubação orgânica para K e Mg, espécie x regime hídrico para P. por outro lados Por outro lado, o Ca foi influenciada apenas pelos fatores isolados (Tabela 6).

Tabela 6 Resumo da análise de variância para os teores de nutrientes foliares em três espécies em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse.

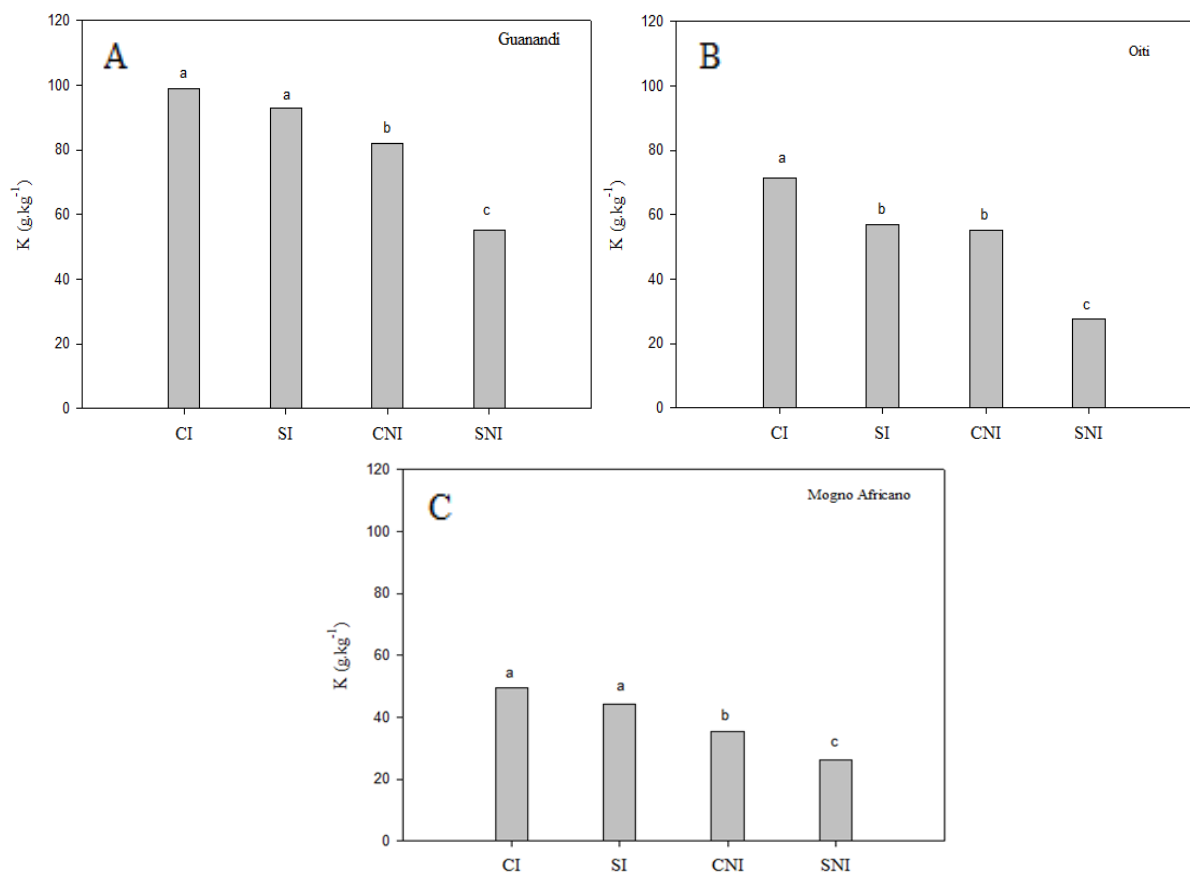
| FV | GL | QM | | | |
|----------------------|-----------|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | K | P | Ca | Mg |
| Espécie (A) | 2 | 5965.77778** | 0.02556** | 56.02718** | 7.09059** |
| Irrigação (B) | 1 | 4246.69444** | 0.03738** | 7.31883** | 2.23802** |
| A. Org. (C) | 1 | 2940.02778** | 0.01400** | 3.28214** | 1.26113** |
| A x B | 2 | 102.11111** | 0.00350** | 0.07093 ^{ns} | 0.12406* |
| A x C | 2 | 164.11111** | 0.00117 ^{ns} | 0.03369 ^{ns} | 0.06766 ^{ns} |
| B x C | 1 | 354.69444** | 0.00059 ^{ns} | 0.64010 ^{ns} | 0.02690 ^{ns} |
| A x B x C | 2 | 56.44444** | 0.00050 ^{ns} | 0.38100 ^{ns} | 0.10867* |
| Tratamento | 11 | 1747.11869 | 0.01031 | 11.29779 | 1.664436 |
| Resíduo | 24 | 9.94444 | 0.00047 | 0.19904 | 0.02748 |
| Total | 35 | | | | |
| CV% | | 5.44 | 11.88 | 10.76 | 7.53 |

** , * e ns: significativo ao nível de 1%, significativo ao nível de 5% e não significativo para o teste de Tukey, respectivamente.

Os teores foliares de K apresentaram efeito significativo para a interação entre os fatores espécie x regime hídrico x adubação orgânica (Tabela 6). Os resultados evidenciaram que o teor de K diferiu no guanandi e no oiti nas plantas irrigadas e não irrigadas, sendo que

nas plantas irrigadas não se observou diferença entre as plantas com e sem matéria orgânica, no entanto no mogno os tratamentos SI e CNI não diferiram entre si, porém ambos diferiram dos outros dois tratamentos (Figura 24). Provavelmente, as espécies diferem na capacidade de absorção e transporte de K, visto que o estresse reduz a transpiração prejudicando absorção e transporte (KRAMER; BOYER, 1995). Portanto, a concentração de K nos tecidos reduziu à proporção que diminuiu a disponibilidade de água no solo. Segundo Huang *et al.*, (2007), o abastecimento de água é uma importante variável no controle da absorção de nutrientes na planta. Visto que, o estresse hídrico reduz a absorção de nutrientes pelas raízes e o transporte de nutrientes da raiz para a parte aérea, devido a redução da *E* e da permeabilidade da membrana.

Figura 24 Teor de K em três espécies guanandi (A), oiti (B) e mogno africano (C) em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período estresse.



Médias seguidas da mesma letra minúscula, para espécies, e maiúscula, para adubação orgânica, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. (CI- solo com matéria orgânica irrigado; SI- solo sem matéria orgânica irrigado; CNI- solo com matéria orgânica não irrigado; SNI- solo sem matéria orgânica não irrigado).

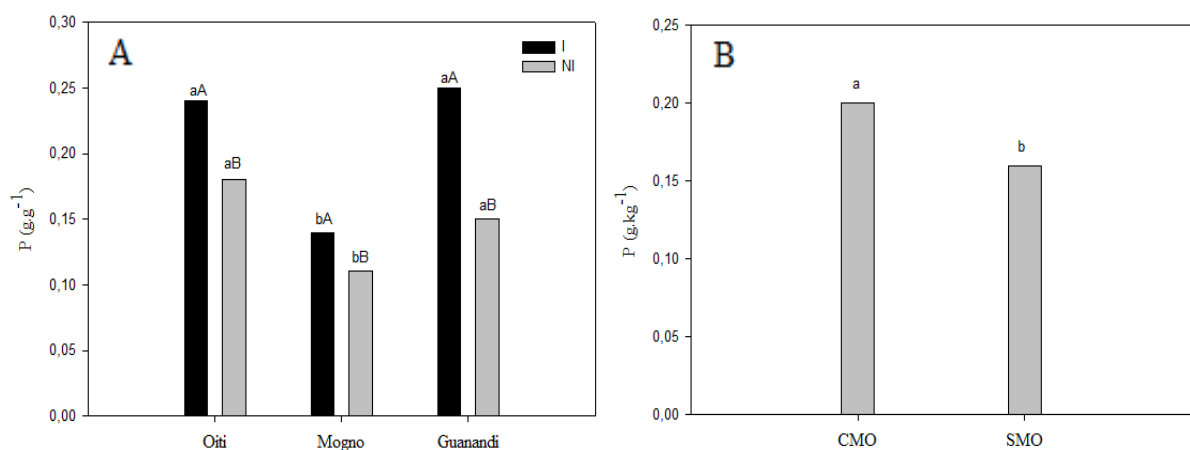
Segundo Tomemori *et al.* (2002) e Kudoyarova *et al.* (2007) a alta concentração de K na planta favorece a absorção da água e a abertura dos estômatos, enquanto a baixa

concentração de K nos tecidos reduz a turgescência, resultando em fechamento dos estômatos e redução na *E*. Portanto, as baixas concentrações de K reduz a turgescência e as plantas com capacidade de controle estomático sobrevivem bem em ambientes seco (SALIENDRA *et al.*, 1995), haja vista que o K é o principal soluto osmótico nas plantas (MARIA *et al.*, 2008).

O teor de P nos tecidos da planta apresentou efeito para os três fatores isolados e para a interação entre os fatores espécie x irrigação (Tabela 6). Observou-se que o oiti e guanandi não diferiram entre si, sendo que ambos diferiram significativamente do mogno que apresentou o menor teor de P. Entretanto, quando foram comparados os regimes hídricos, verificou-se uma redução no teor de P nas plantas não irrigadas no guanandi, no oiti e mogno de 40,00%, 25,00% e 21,43%, respectivamente (Figura 25 A). Segundo Taiz e Zeiger, (2013) a deficiência de P reduz o crescimento de plantas novas, visto que o P faz parte dos processos da respiração e fotossíntese, além disso, permite a transferência de energia em forma de ATP.

O teor de P apresentou efeito significativo para a adubação orgânica, em que o maior valor observado foi no tratamento com matéria orgânica (Figura 25B). Esse resultado pode ser explicado pela composição do substrato (Tabela 1), visto que os teores totais de P no substrato com matéria orgânica eram cerca de 14 vezes maior do que o solo sem a adição desse insumo. Vale salientar que o P é um elemento pouco móvel no solo e seu suprimento para as raízes é efetuado, principalmente, pelo processo de difusão, o qual depende da umidade do solo, da concentração e da superfície radicular (GAHOONIA *et al.*, 1994).

Figura 25 Teor de P em três espécies em função do regime hidrico (A) e da adubação orgânica (B) no período estresse.

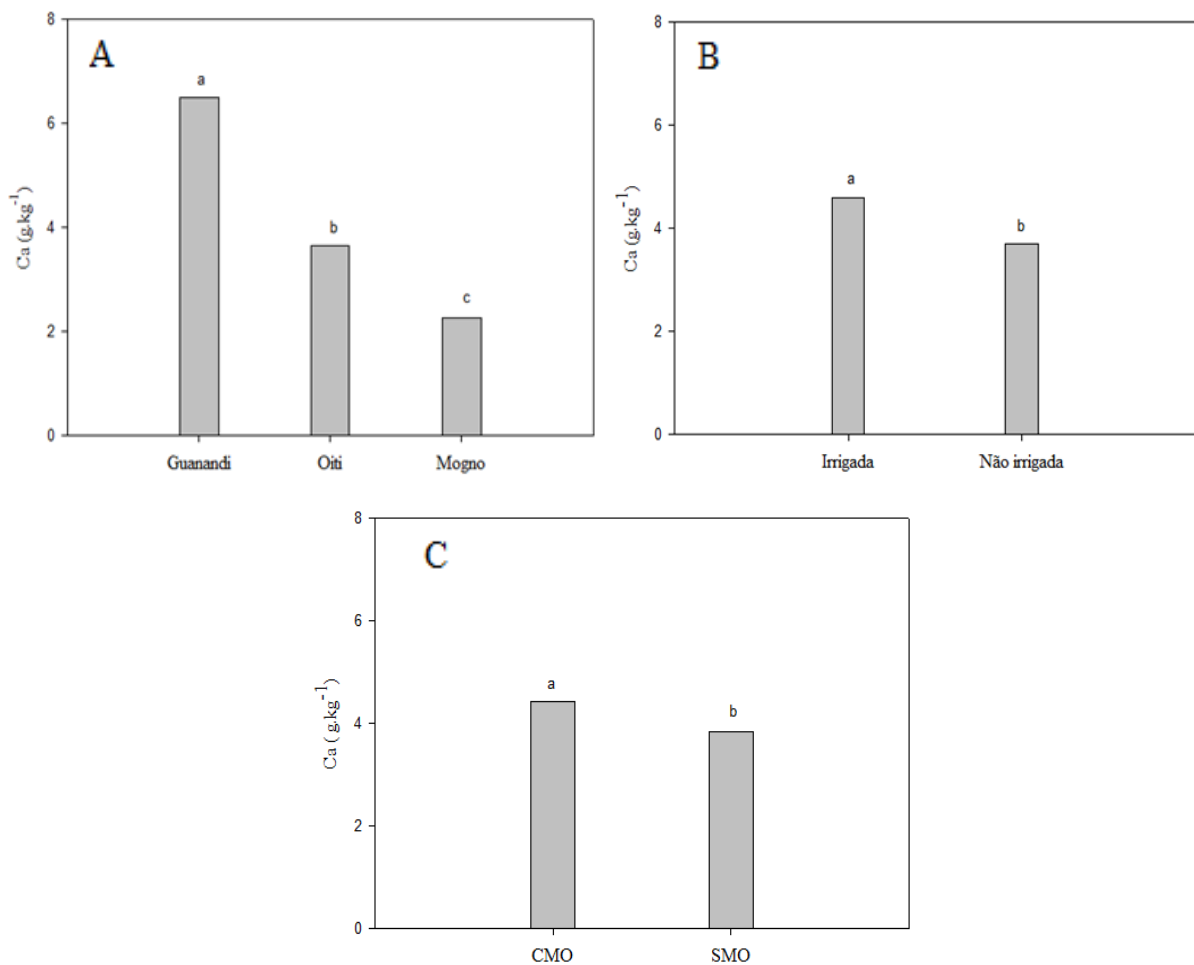


Na figura A médias seguidas da mesma letra minúscula, para espécie, e maiúscula, para regime hídrico, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Figura B média seguida pelas mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Alguns autores relatam em seus estudos que o aumento do fornecimento nutricional, especialmente de P, confere maior tolerância à seca (PREMCHANDRA *et al.*, 1990, SINGH *et al.*, 2000; SINGH *et al.*, 2006). Por outro lado, a deficiência de P tem um grande e rápido efeito negativo sobre a taxa de expansão foliar (SINGH *et al.*, 2006), que, por sua vez, está associado à fotossíntese e divisão celular (LÓPEZ-BUCIO *et al.* 2002).

O teor de Ca apresentou efeito significativo para os três fatores isolados (Tabela 6). O teor de Ca diferiu entre as espécies, de maneira que no mogno africano apresentou a menor concentração quando comparado ao guanandi e ao oiti (Figura 26A). Por outro lado, quando se comparou os regimes hídricos, verificou-se uma redução 19,61% na concentração de Ca nas plantas não irrigadas (Figura 26B). A mesma tendência foi observada quanto à adubação orgânica verificou uma redução de 13,52% (Figura 21C).

Figura 26 Teor de Ca em três espécies (A) em função do regime hídrico (B) e da adubação orgânica (C) no período estresse.



Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. (CMO - solo com matéria orgânica e SMO - solo sem matéria orgânica).

Provavelmente, o estresse hídrico reduziu a concentração de Ca, devido a principal forma de absorção desse nutriente ser por fluxo de massa deslocando-se principalmente para os órgãos de transpiração acumulando-se nas folhas, sendo que seu transporte é limitado via floema. Assim, ele não é redistribuído das folhas mais velhas para as mais novas (REICHARDT, K.; TIMM, 2012).

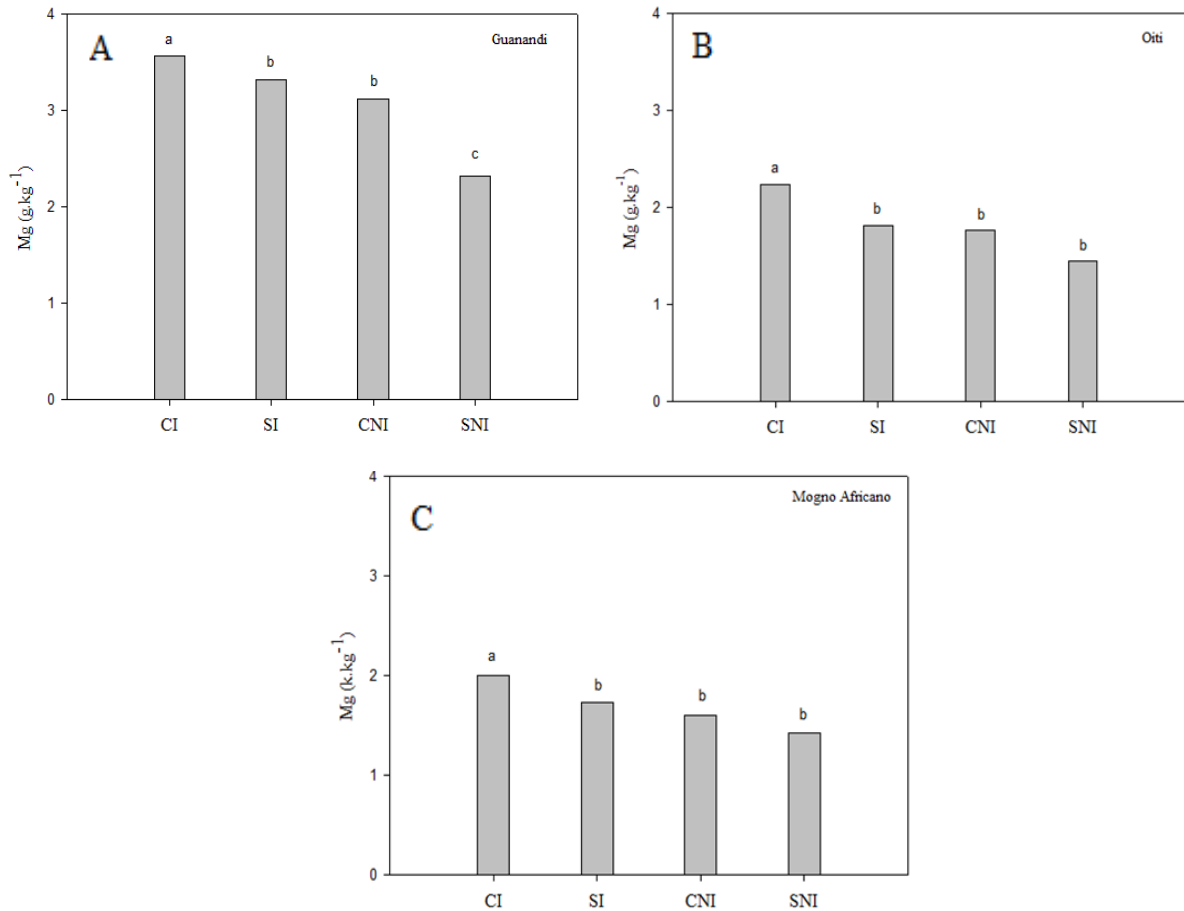
Na planta o Ca é essencial, a redução na absorção vai afetar vários processos tais como transporte de íons, atividade de enzimas da parede celular, além de preservar a integridade estrutural das membranas e na estrutura da parede celular, (MARSCHENER, 1995; REGEL 1992). Além disso, atua como mensageiro das respostas ao estresse hídrico, haja vista que o fechamento dos estômatos induzida pelo estresse é regulado via ABA (BLATT, 2000; DODD *et al.*, 2010; MCAINSH; PITTMAN, 2008).

O teor de Mg apresentou efeito significativo para a interação entre os fatores espécie x regime hídrico x adubação orgânica (Tabela 6). Verificou-se que o maior teor de Mg no tratamento irrigado com matéria orgânica, com uma concentração maior no guanandi em relação as outras duas espécies (Figura 27). Provavelmente, a maior concentração no guanandi está relacionada à sua coloração verde-escuro (MUNDO; DUARTE, 2008), haja vista que Mg é um nutriente que faz parte da estrutura da clorofila. Além disso, ele atua em enzimas envolvidas no processo da respiração, fotossíntese e síntese de DNA e RNA. (TAIZ; ZEIGER, 2013).

No guanandi não se observou diferença significativa entre os tratamentos SI e CNI, mas ambos diferiram do tratamento CI e SNI, no entanto no oiti e no mogno africano só verificou diferença entre os tratamentos SI, CNI, SNI e o tratamento CI. Provavelmente, no guanandi a retenção de umidade através da adição de matéria orgânica no solo favoreceu a absorção do Mg durante a suspensão da irrigação, visto que a principal forma de absorção é por fluxo de massa (REICHARDT, K.; TIMM, 2012). No entanto, nas outras duas espécies verificou-se uma redução da absorção no solo sem matéria orgânica não sendo observada diferença entre os tratamentos entre os SI e CNI.

De modo geral, a disponibilidade de nutrientes para as plantas depende do teor de umidade do solo. No entanto, no guanandi quando a planta encontrava-se com baixa disponibilidade de água no solo, reduziu a translocação dos nutrientes para as raízes pelos mecanismos de difusão e fluxo de massa (MUNSON; NELSON, 1973). No oiti e no mogno africano, houve a redução mas não diferiu das plantas com matéria orgânica.

Figura 27 Teor de Mg em três espécies guanandi (A), oiti (B) e mogno africano (C) em função da irrigação, adubação orgânica no período estresse.



Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. (CMO - solo com matéria orgânica e SMO - solo sem matéria orgânica).

Wang *et al.* (2009) verificaram o efeito do estado nutricional de *Parthenocissus tricuspidata* sob estresse hídrico e observou que a concentração dos nutrientes P e K no caule e folhas foram reduzidos pela diminuição do abastecimento de água, mesmo resultado obtido no presente trabalho. Mak *et al.* (2014) avaliaram o fluxo de íons induzido pela seca em plântulas de soja com 10 dias de idade com estresse hídrico moderado e severo, e verificaram que nas plantas com estresse hídrico houve um efluxo do K e Ca do mesofilo e a incapacidade de reter K no mesofilo resultou no fechamento dos estômatos, redução da fotossíntese e do crescimento da planta.

4.3 Indicadores da recuperação das plantas após o período de estresse.

4.3.1 Taxa de crescimento.

As taxas de crescimento relativo não diferiram entre os tratamentos, exceto para o diâmetro do caule no guanandi, cuja taxa de crescimento foi menor nas plantas não irrigadas. Por outro lado, a TRAF evidenciou maiores diferenças na recuperação das espécies, a qual pareceu mais evidente no oiti, pois apresentou valores similares para as plantas que foram previamente estressadas e controle. Para o guanandi e o mogno africano a TRAF foi menor nos tratamentos que não receberam irrigação no período de estresse, notadamente naquelas que também não foram adubadas com matéria orgânica (Tabela 7). Provavelmente, à inibição da expansão celular durante a suspensão da irrigação impediu o retorno rápido do crescimento (CHAVES *et al.*, 2011; LARCHER, 2004). Além disso, as plantas tornaram-se mais debilitadas com o prolongamento do estresse (GUTSCHICK; BASSIRIRAD, 2003). Alguns autores também relataram que as plantas não podem retomar totalmente as atividades fisiológicas após a reidratação quando o declínio do teor relativo de água na folha ficar abaixo de 25% (HUANG; WANG, 2005; XU *et al.*, 2011).

Tabela 7 Taxa de crescimento relativo (TCR) para altura da planta e diâmetro do caule, e taxa relativa de aparecimento de novas folhas (TRAF) em três espécies em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de recuperação.

| TRAT. | TCR | | TRAF |
|-----------------------|--|-------------------|-------------|
| | mm.mm ⁻¹ .dia ⁻¹ | | |
| | Altura da planta | Diâmetro do caule | |
| Guanandi | | | |
| SNI | 0,006±0,001 | 0,023±0,002 | 0,007±0,001 |
| CNI | 0,006±0,003 | 0,025±0,011 | 0,011±0,001 |
| SI | 0,006±0,001 | 0,033±0,002 | 0,012±0,001 |
| CI | 0,006±0,001 | 0,033±0,003 | 0,014±0,002 |
| Oiti | | | |
| SNI | 0,007±0,001 | 0,012±0,004 | 0,008±0,001 |
| CNI | 0,008±0,002 | 0,012±0,004 | 0,010±0,001 |
| SI | 0,007±0,002 | 0,013±0,006 | 0,009±0,001 |
| CI | 0,008±0,001 | 0,013±0,005 | 0,009±0,003 |
| Mogno africano | | | |
| SNI | 0,003±0,003 | 0,011±0,002 | 0,010±0,001 |
| CNI | 0,005±0,001 | 0,012±0,002 | 0,014±0,002 |
| SI | 0,006±0,004 | 0,013±0,001 | 0,017±0,003 |
| CI | 0,005±0,0009 | 0,013±0,003 | 0,025±0,006 |

Cada valor representa as TCA e TCR de três repetições (n = 3) e os seus erros padrão

Sapeta *et al.* (2013) avaliaram o crescimento da *Jatropha curcas* no estresse hídrico e na recuperação e verificaram que o diâmetro do caule não foi afetado pelo estresse, mas ocorreu uma redução no comprimento do caule e no número de folhas partir de 7 dias de estresse. Por outro lado, aos 7 dias após o retorno da irrigação observou-se uma recuperação total, sem existir diferenças entre as plantas estressadas e controle, resultado diferente do presente trabalho em que as plantas continuaram com crescimento reduzido.

Considerando-se a produção de matéria seca, verificou-se que a taxa de crescimento foi similar para os diferentes tratamentos nos diversos órgãos do guanandi e do oiti, indicando boa capacidade de recuperação após o estresse, embora as plantas previamente estressadas apresentassem menor porte. No entanto, para o mogno africano verificou-se que as taxas foram menores nas plantas que foram estressadas naquelas que não receberam matéria orgânica (Tabela 8). Provavelmente durante a suspensão da irrigação, as plantas sem matéria orgânica tornaram-se mais debilitadas (GUTSCHICK; BASSIRIRAD, 2003), visto que no período de recuperação a produção de biomassa continuou de forma reduzida (dados não mostrados). A presença da matéria orgânica foi especialmente importante para o mogno africano, reduzindo os efeitos deletérios do estresse hídrico, permitindo uma melhor recuperação não diferindo das plantas irrigadas.

Tabela 8 Taxa de crescimento relativo (TCR) da massa seca da raiz, parte aérea e total em três espécies em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de recuperação.

| TRAT. | TCR ($\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$) | | |
|----------------------|---|-------------|--------------|
| | Raiz | Parte aérea | Total |
| Guanandi | | | |
| SNI | 0,007±0,001 | 0,005±0,001 | 0,006±0,001 |
| CNI | 0,007±0,005 | 0,006±0,001 | 0,006±0,001 |
| SI | 0,008±0,002 | 0,006±0,001 | 0,007±0,0005 |
| CI | 0,009±0,002 | 0,007±0,002 | 0,007±0,001 |
| Oiti | | | |
| SNI | 0,008±0,002 | 0,007±0,003 | 0,007±0,002 |
| CNI | 0,009±0,006 | 0,008±0,003 | 0,008±0,003 |
| SI | 0,011±0,001 | 0,010±0,002 | 0,010±0,001 |
| CI | 0,011±0,001 | 0,010±0,001 | 0,011±0,001 |
| Mogno Aricano | | | |
| SNI | 0,010±0,002 | 0,004±0,001 | 0,005±0,002 |
| CNI | 0,014±0,006 | 0,008±0,002 | 0,008±0,001 |
| SI | 0,018±0,004 | 0,009±0,005 | 0,012±0,004 |
| CI | 0,019±0,004 | 0,010±0,004 | 0,013±0,002 |

Cada valor representa as TCA e TCR de três repetições (n = 3) e os seus erros padrão

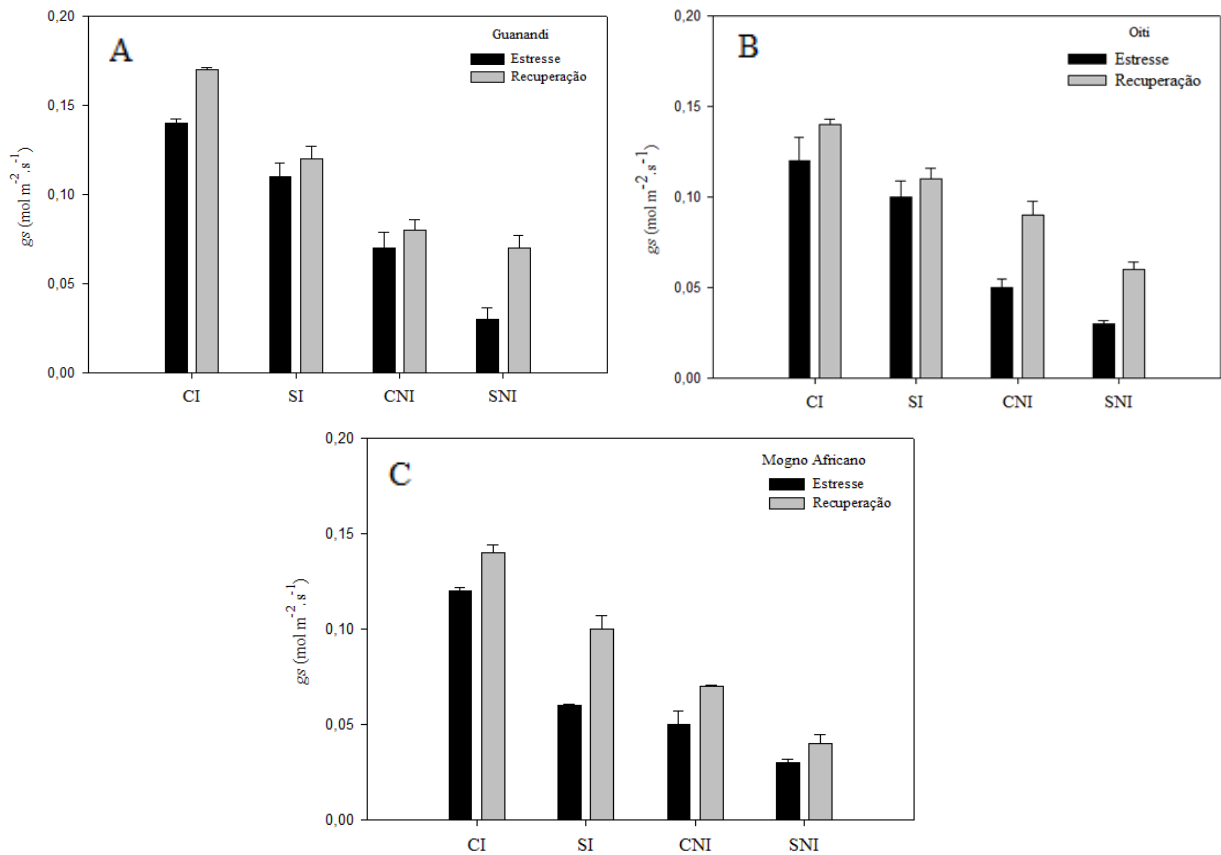
A TCR para a produção de massa seca total verificou que no guanandi e no oiti nos tratamentos irrigado e não irrigado não diferiram com e sem a matéria orgânica no solo, enquanto no mogno africano verificou-se diferença apenas nas plantas não irrigadas, de modo que as plantas sem matéria orgânica a recuperação do crescimento era menor. Provavelmente, o déficit hídrico afetou o desenvolvimento das plantas reduzindo o número total de folhas, em consequência da diminuição da emergência foliar (ARKIN *et al.*, 1978), tendo como consequência a diminuição da matéria seca total. De modo que, no período de recuperação as plantas continuaram debilitadas em relação às plantas irrigadas, assim a produção de biomassa permaneceu reduzida.

4.3.2 Trocas gasosas

Após o retorno da irrigação as plantas que foram estressadas permaneceram com as trocas gasosas reduzidas quando comparada as plantas irrigadas, de maneira que os valores da recuperação da *gs* sem matéria orgânica no guanandi era 57,14% não irrigadas para 8,33% irrigadas, no oiti era 50,00% não irrigadas para 9,09% irrigadas e no mogno africano era 25,00% não irrigadas para 40,00% irrigadas. Enquanto as plantas com matéria orgânica no guanandi era 12,50% não irrigadas para 17,64% irrigadas, no oiti foi 44,44% não irrigadas para 14,28% irrigadas e no mogno africano foi 28,57% não irrigadas para 14,28% irrigadas (Figura 28).

Os resultados mostraram que as plantas sem matéria orgânica e não irrigadas tiveram um porcentagem maior na recuperação em comparação as plantas irrigadas, exceto no mogno africano, enquanto que as plantas com matéria orgânica também apresentaram a porcentagem maior nas plantas não irrigadas, exceto no guanandi. Provavelmente, a matéria orgânica adicionada ao solo contribuiu para reduzir os efeitos negativos do estresse hídrico, assim após o retorno da irrigação as plantas estressadas com matéria orgânica tiveram a melhor recuperação que a plantas sem esse insumo, indicando que os mecanismos bioquímicos das plantas com adição de matéria orgânica ao solo não foram comprometidos pelo déficit hídrico, já que a redução da *gs* teve efeito protetor permitindo que a planta economize água (CHAVES *et al.*, 2009).

Figura 28 Condutância estomática em três espécies guanandi (A), oiti (B) e mogno africano (C) em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse e recuperação.



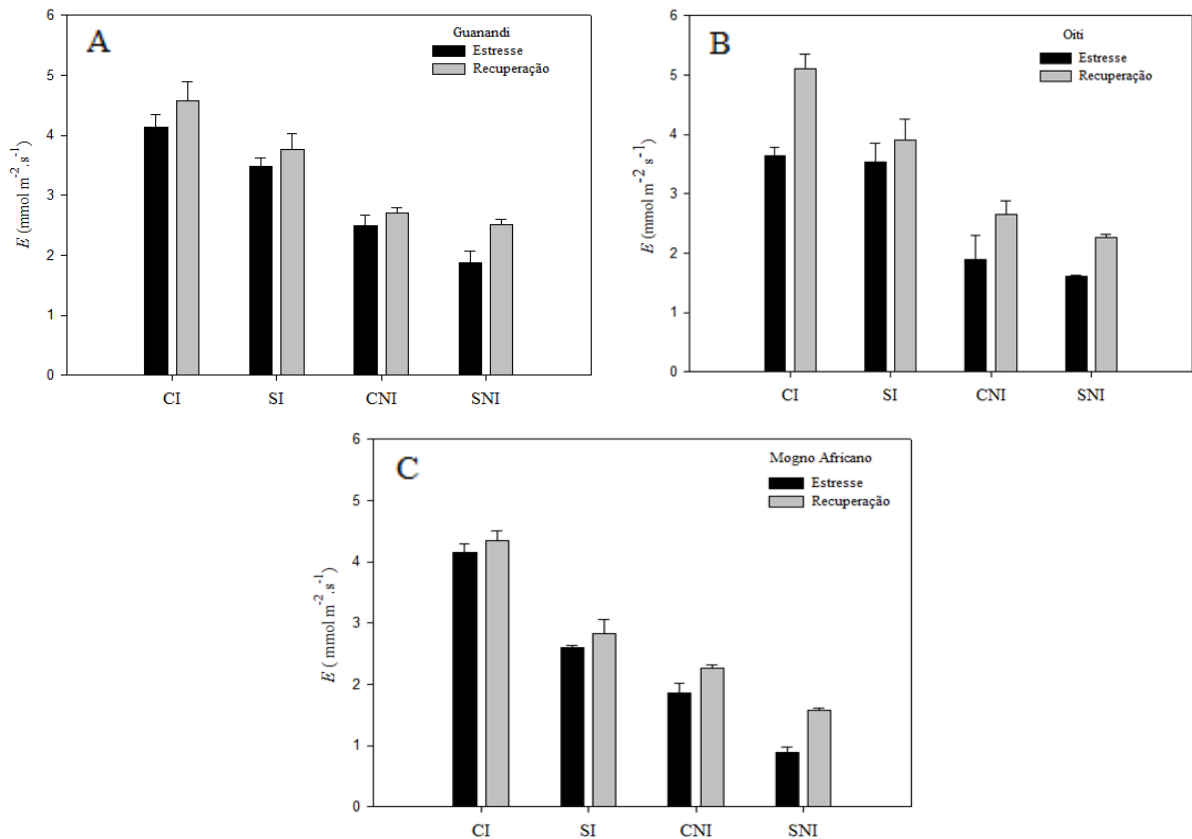
Cada valor representa a média de tre repetições ($n = 3$) e os seus erros parao (\pm SE). (CI- solo com matéria orgânica irrigado; SI- solo sem matéria orgânica irrigado; CNI- solo com matéria orgânica não irrigado; SNI- solo sem matéria orgânica não irrigado).

Os valores da E no guanandi sem matéria orgânica era 25,49% não irrigadas para 7,69% irrigadas, no oiti era 28,76% não irrigadas para 9,23% irrigadas e no mogno africano era 43,31% não irrigadas para 7,80% irrigadas. Enquanto as plantas com matéria orgânica no guanandi era 8,11% não irrigadas para 9,62% irrigadas, no oiti era 28,30% não irrigadas para 28,62% irrigadas e no mogno africano era 18,14% não irrigadas para 4,37% irrigadas (Figura 29).

Os resultados mostraram que as plantas sem matéria orgânica e não irrigadas tiveram um percentagem maior de recuperação em comparação as plantas irrigadas, exceto no mogno africano, enquanto que as plantas com matéria orgânica também apresentaram a percentagem maior nas plantas não irrigadas, exceto no guanandi. Provavelmente, a recuperação da E dependia da intensidade da imposição do estresse, visto que a adição de matéria orgânica no solo reduziu os efeitos deletérios do estresse apresentando uma melhor recuperação que nas plantas sem esse insumo. Por outro lado, a recuperação das plantas sem matéria orgânica apresentou valores menores em relação às plantas continuamente irrigadas

apesar das porcentagens serem maiores. Segundo os autores, a recuperação as vezes nunca será por completa, podendo demorar semanas dependendo da severidade imposta pelo estresse e da capacidade de cada espécie de se recuperar (CHAVES *et al.*, 2011; FLEXAS *et al.*, 2007; MIYASHITA *et al.*, 2005).

Figura 29 Taxa de transpiração em três espécies guanandi (A), oiti (B) e mogno africano (C) em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse e de recuperação.



Cada valor representa a média de três repetições ($n = 3$) e os seus erros padrão (\pm SE). (CI- solo com matéria orgânica e irrigado; SI- solo sem matéria orgânica irrigado; CNI- solo com matéria orgânica não irrigado; SNI- solo sem matéria orgânica não irrigado).

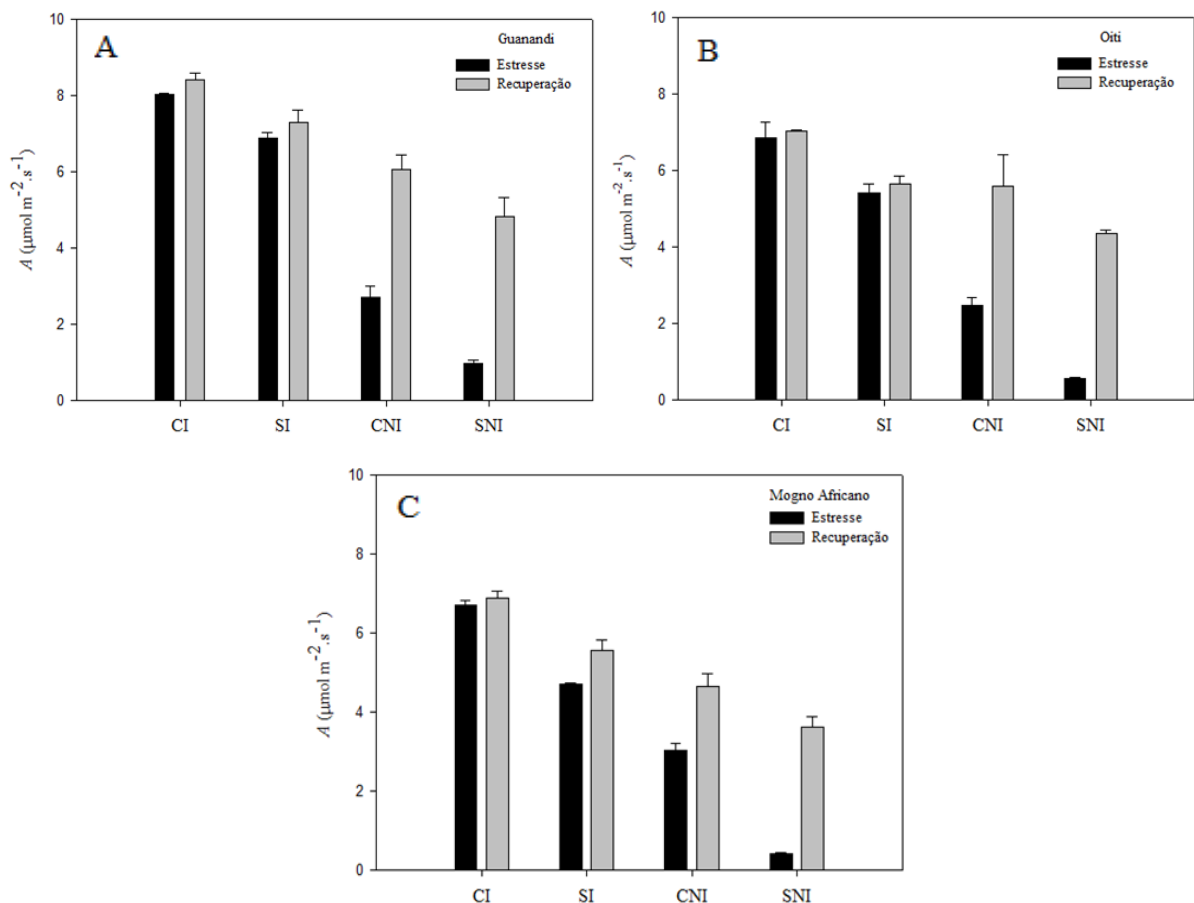
Os valores da A no guanandi sem matéria orgânica era 62,53% não irrigadas para 5,17% irrigadas, no oiti era 62,50% não irrigadas para 5,17% irrigadas e no mogno africano foi 60,34% não irrigadas para 2,85% irrigadas. Enquanto as plantas com matéria orgânica no guanandi era 6,06% não irrigadas para 8,42% irrigadas, no oiti era 60,34% não irrigadas para 2,85% irrigadas e mogno africano era 34,90% não irrigadas para 2,61% irrigadas (Figura 30).

Os resultados mostraram que as plantas não irrigadas com e sem matéria orgânica tiveram a porcentagem maior de recuperação em comparação plantas irrigadas. Assim a velocidade de recuperação dependia do declínio da fotossíntese durante o esgotamento da água no solo (FLEXAS *et al.*, 2006; XU *et al.*, 2009). A maior porcentagem nas plantas deve

ser atribuída aos menores valores encontrados no período de estresse. Portanto, após o estresse moderado, ou seja, com adição de matéria orgânica no solo as plantas recuperaram mais rápido, mas em proporção inferior as plantas continuamente irrigadas. Assim a recuperação da fotossíntese tornando-se mais lenta podendo durar dias e às vezes nunca ser completa (CHAVES *et al.*, 2011; FLEXAS *et al.*, 2007; MIYASHITA *et al.*, 2005).

A recuperação das variáveis g_s , E e A após 15 dias de reidratação não tiveram a mesma intensidade para as três espécies, apresentando uma tendência de recuperar os níveis mais baixos das trocas gasosas sob déficit hídrico. Contudo, a recuperação não atingiu o nível das plantas irrigadas, Segundo alguns autores as taxas de recuperação das trocas gasosas são menores em plantas submetidas ao estresse hídrico severo (ANYIA; HERZOG, 2004; AWAL; IKEDA, 2002; SOUZA *et al.* de 2004).

Figura 30 Taxa de fotossíntese em três espécies guanandi (A), oiti (B) e mogno africano (C) em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse e de recuperação.



Cada valor representa a média de três repetições ($n = 3$) e os seus erros padrão (\pm SE). (CI- solo com matéria orgânica irrigado; SI- solo sem matéria orgânica irrigado; CNI- solo com matéria orgânica não irrigado; SNI- solo sem matéria orgânica não irrigado).

Xu *et al.*(2013) avaliaram as características fotossintéticas em resposta ao estresse hídrico e a recuperação em duas cultivares de *Kentucky bluegrass* e verificaram que a cultivar meia-noite em comparação a brilhante após 1 dia do retorno da irrigação recuperou mais rápida hidratação da folha reabrindo os estômatos. Entretanto, A , g_s e E não recuperaram totalmente após 3 dias de retorno da irrigação, sugerindo que ocorreram danos permanentes. A capacidade de recuperação após o estresse difere na A e na E para as duas cultivares, mesmo comportamento observado nesse trabalho com 15 dias recuperação.

Campos *et al* (2014) relataram em seu trabalho que 4 a 9 dias de estresse hídrico no *Capsicum annuum* L. reduziu as trocas gasosas, de modo que após o retorno da irrigação as plantas estressadas apresentaram uma rápida recuperação da A , mas a g_s não tinha se recuperado por completo após 2 dias de irrigação. Assim, a redução da g_s pode ter efeitos protetores, pois permite que a planta para economizar água e melhore a eficiência do uso da água (CHAVES *et al.*, 2009) .

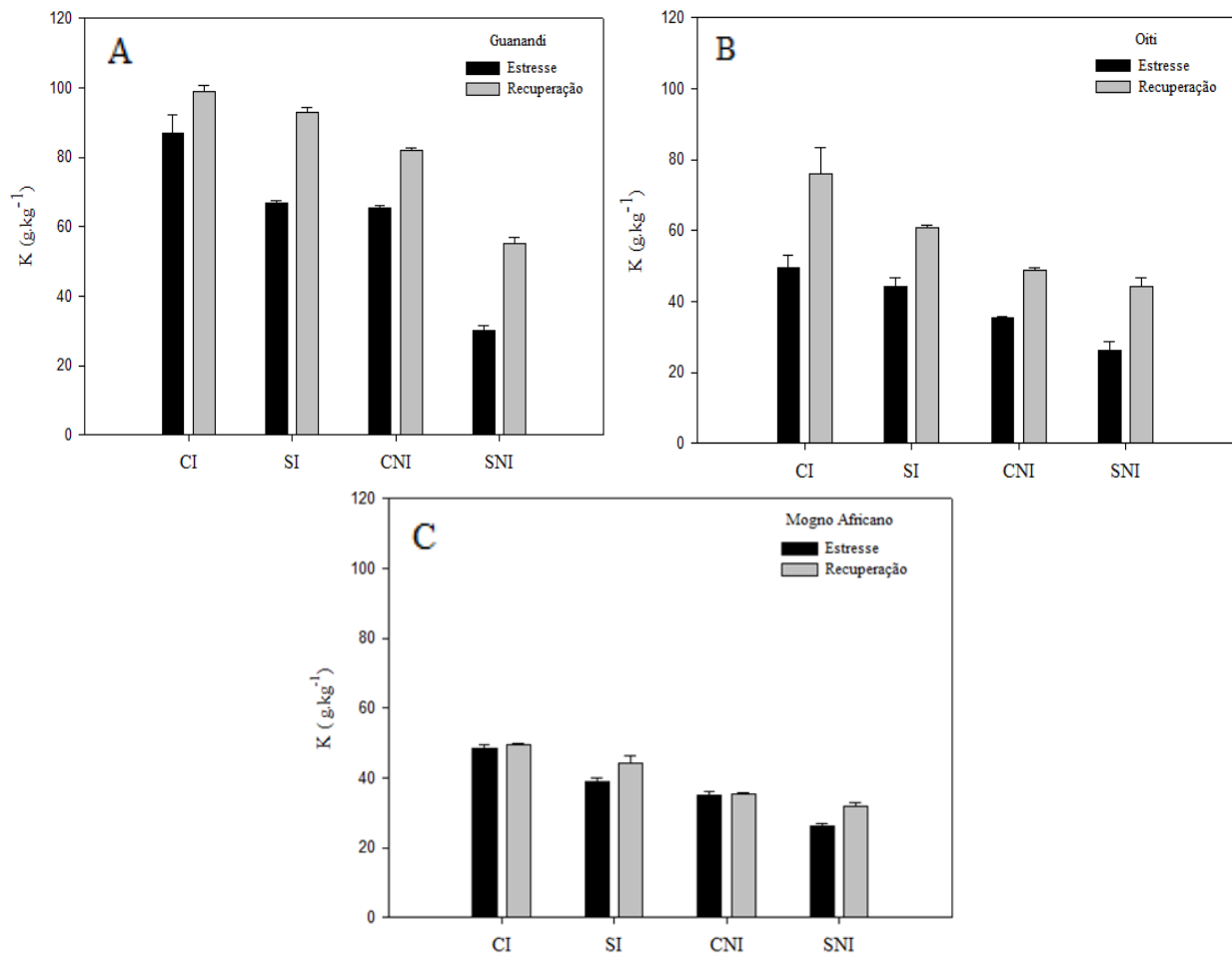
Santesteban *et al.* (2009) Avaliaram o efeito do estresse hídrico e da reidratação sobre as trocas gasosas de quatro cultivares de videira, verificaram que quando o déficit hídrico foi aplicado, as cultivares mostraram uma diminuição na C_i e E , embora a intensidade das respostas não foi a mesma para todos. Por outro lado, dois dias após a reidratação, as cultivares que menos sofreram com o estresse hídrico apresentaram valores semelhantes as plantas sem estresse, enquanto as submetidas ao estresse severo atingiram a reidratação de forma mais lenta (ANYIA, HERZOG, 2004, AWAL, IKEDA, 2002).

4.3.2 Teores de nutrientes foliares

Os resultados evidenciaram que as concentrações de nutrientes foram influenciadas pela suspensão do fornecimento de água. Assim, após o retorno da irrigação as plantas sem matéria orgânica tiveram uma menor recuperação da absorção dos nutrientes. Na figura 31 observou-se que o teor de K nas plantas sem matéria orgânica no guanandi era 45,45% não irrigadas para 28,31% irrigadas, no oiti era 40,60% não irrigadas para 27,47% irrigadas e no mogno africano era 17,71% não irrigadas para 11,36% irrigadas. Por outro lado, o teor de K nas plantas com matéria orgânica no guanandi, era 20,32% não irrigadas para 12,12% irrigadas, no oiti era 27,40% não irrigadas para 35,10% irrigadas e no mogno africano era 0,93% não irrigadas para 2,02% irrigadas. Os resultados mostraram que as plantas com e sem matéria orgânica e não irrigadas tiveram um porcentagem maior de recuperação em comparação as plantas irrigadas, com exceção do oiti e mogno africano com matéria orgânica

apresentou a porcentagem maior. Provavelmente, a retenção de água da matéria orgânica contribuiu para o continua absorção de K decorrente da suspensão da irrigação mesmo de forma reduzida em relação as plantas irrigadas, assim durante o estresse e a recuperação apresentaram valores maiores por outro lado, as plantas sem esse insumo a recuperação apresentou de forma mais lenta.

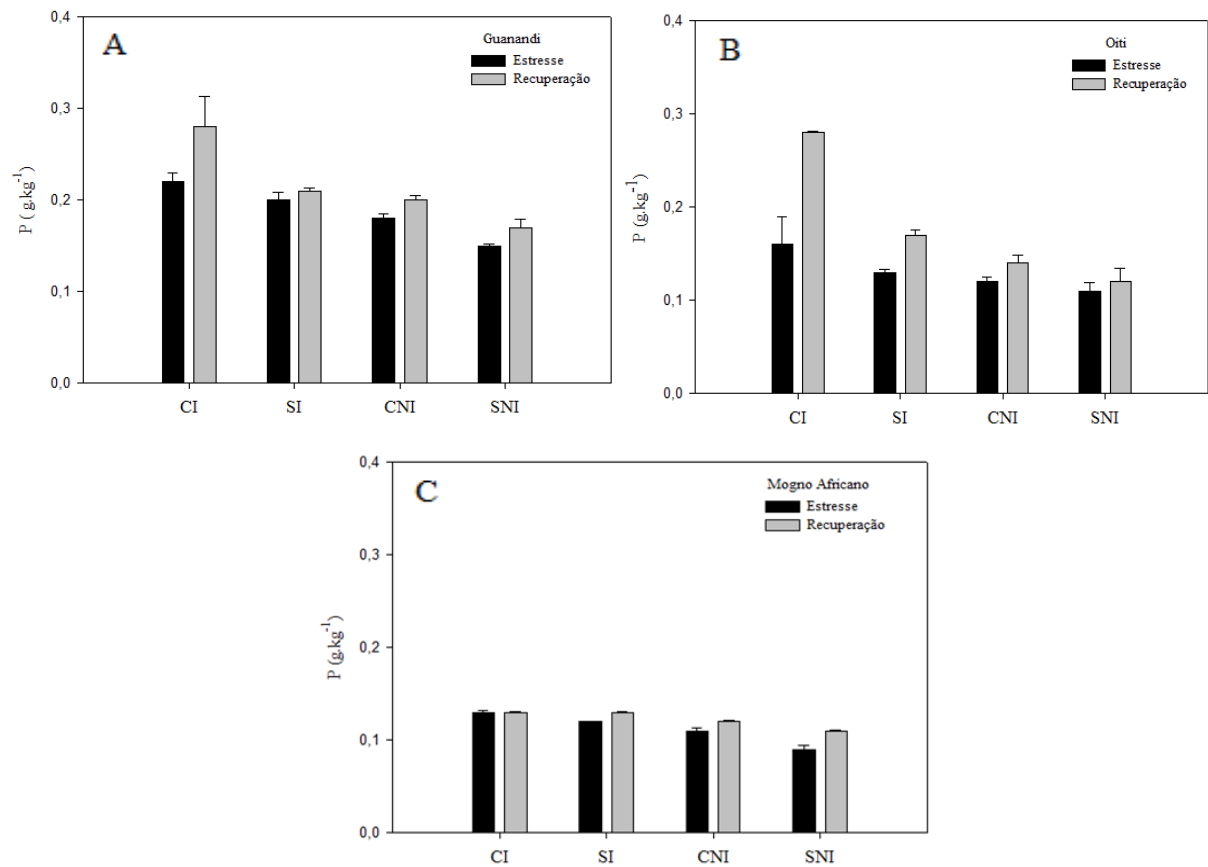
Figura 31 Teor de K em três espécies guanandi (A), oiti (B) e mogno africano (C) em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse e de recuperação.



Cada valor representa a média de três repetições (n = 3) e os seus erros padrão (\pm SE). (CI- solo com matéria orgânica irrigado; SI- solo sem matéria orgânica irrigado; CNI- solo com matéria orgânica não irrigado; SNI- solo sem matéria orgânica não irrigado).

O teor de P no período de recuperação nas plantas sem matéria orgânica no guanandi era 11,76% não irrigadas para 4,76% irrigadas, no oiti era 8,33% não irrigadas para 23,52% irrigadas e no mogno africano era 43,16% não irrigadas para 7,70% irrigadas. Por outro lado, o teor de K nas plantas com matéria orgânica no guanandi, era 10,00% não irrigadas para 21,42% irrigadas, no oiti era 14,28% não irrigadas para 42,85% irrigadas e no mogno africano era 9,60% não irrigadas para 0,98% irrigadas (Figura 32).

Figura 32 Teor de P em três espécies guanandi (A), oiti (B) e mogno africano (C) em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse e de recuperação.



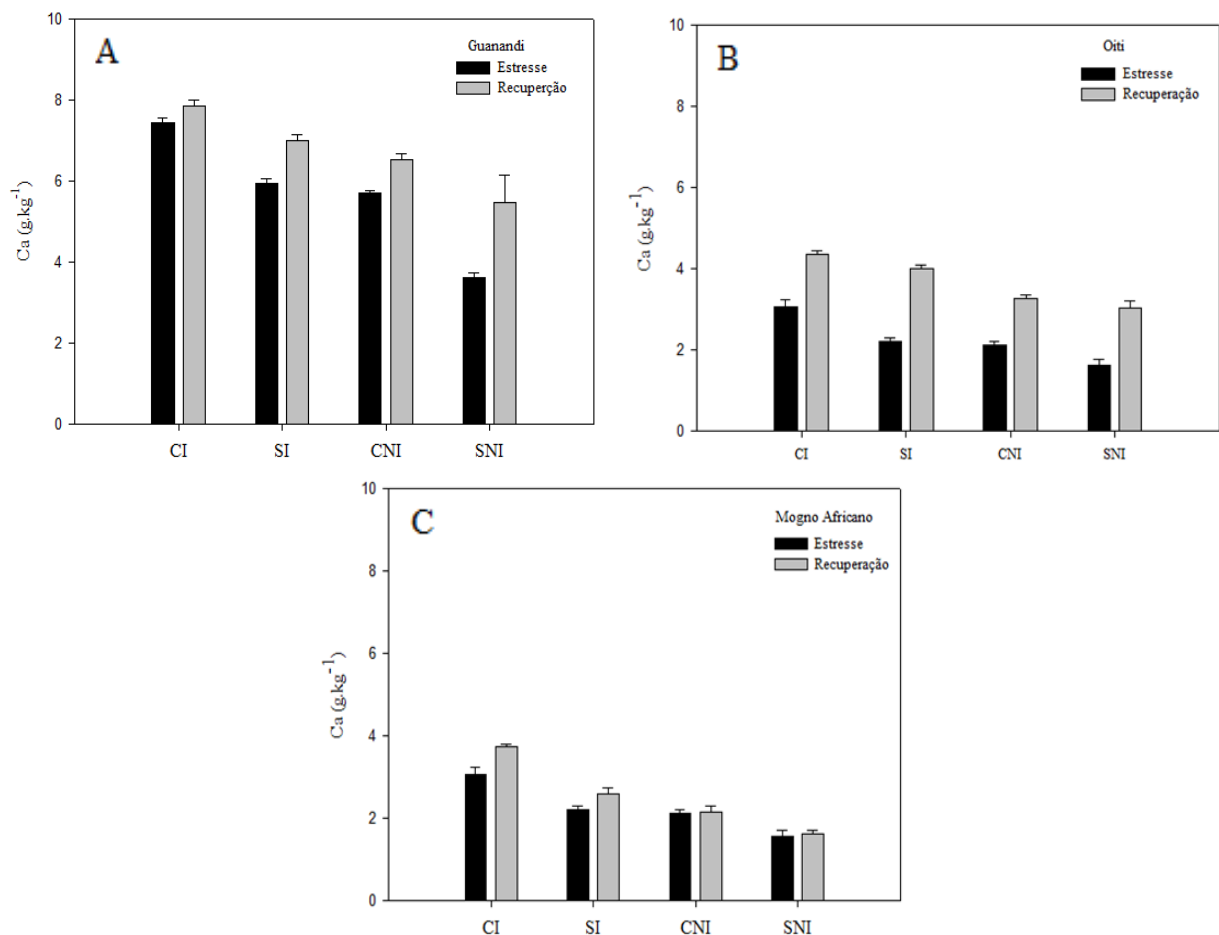
Cada valor representa a média de três repetições ($n = 3$) e os seus erros padrão (\pm SE). (CI- solo com matéria orgânica irrigado; SI- solo sem matéria orgânica irrigado; CNI- solo com matéria orgânica não irrigado; SNI- solo sem matéria orgânica não irrigado).

Os resultados mostraram que as plantas com e sem matéria orgânica e não irrigadas tiveram um percentagem maior de recuperação em comparação as plantas irrigadas, com exceção do oiti, enquanto as plantas com matéria orgânica e irrigadas apresentaram a percentagem maior, exceto o mogno africano. Provavelmente, o maior teor de P nas plantas com matéria orgânica deve estar relacionado com a maior disponibilidade no solo, por esse nutriente está presente no substrato (Tabela 1). Entretanto, as plantas sem matéria orgânica recuperaram a absorção de forma mais lenta, logo a recuperação da absorção de nutrientes depende diretamente da recuperação da transpiração e conseqüentemente do fluxo de nutrientes para as raízes até a parte aérea da planta (KRAMER; BOER 1995; MCGRATH; LOBELL, 2013).

O teor de Ca no período de recuperação nas plantas sem matéria orgânica no guanandi era 33,75% não irrigadas para 15,38% irrigadas, no oiti era 46,88% não irrigadas para 44,75% irrigadas e no mogno africano era 2,46% não irrigadas para 14,67% irrigadas. Por outro lado, o teor de Ca nas plantas com matéria orgânica no guanandi, era 12,53% não

irrigadas para 95,21% irrigadas, no oiti era 35,27% não irrigadas para 29,74% irrigadas e no mogno africano era 1,86% não irrigadas para 18,13% irrigadas (Figura 33). Os resultados mostraram que as plantas sem matéria orgânica e não irrigadas tiveram um porcentagem maior de recuperação em comparação as plantas irrigadas, com exceção do mogno africano, enquanto as plantas com matéria orgânica e irrigadas apresentaram a porcentagem maior com exceção do oiti. Tal fato deve ser atribuído a retenção de umidade da matéria orgânica contribuindo para abastecimento de água decorrente da suspensão da irrigação permitindo a absorção de Ca mesmo que em quantidade reduzida em relação as plantas irrigadas. Nessa condição, com o retorno da irrigação as plantas permanecem com os teores maiores que as plantas sem matéria orgânica.

Figura 33 Teor de Ca em três espécies guanandi (A), oiti (B) e mogno africano (C) em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse e de recuperação.

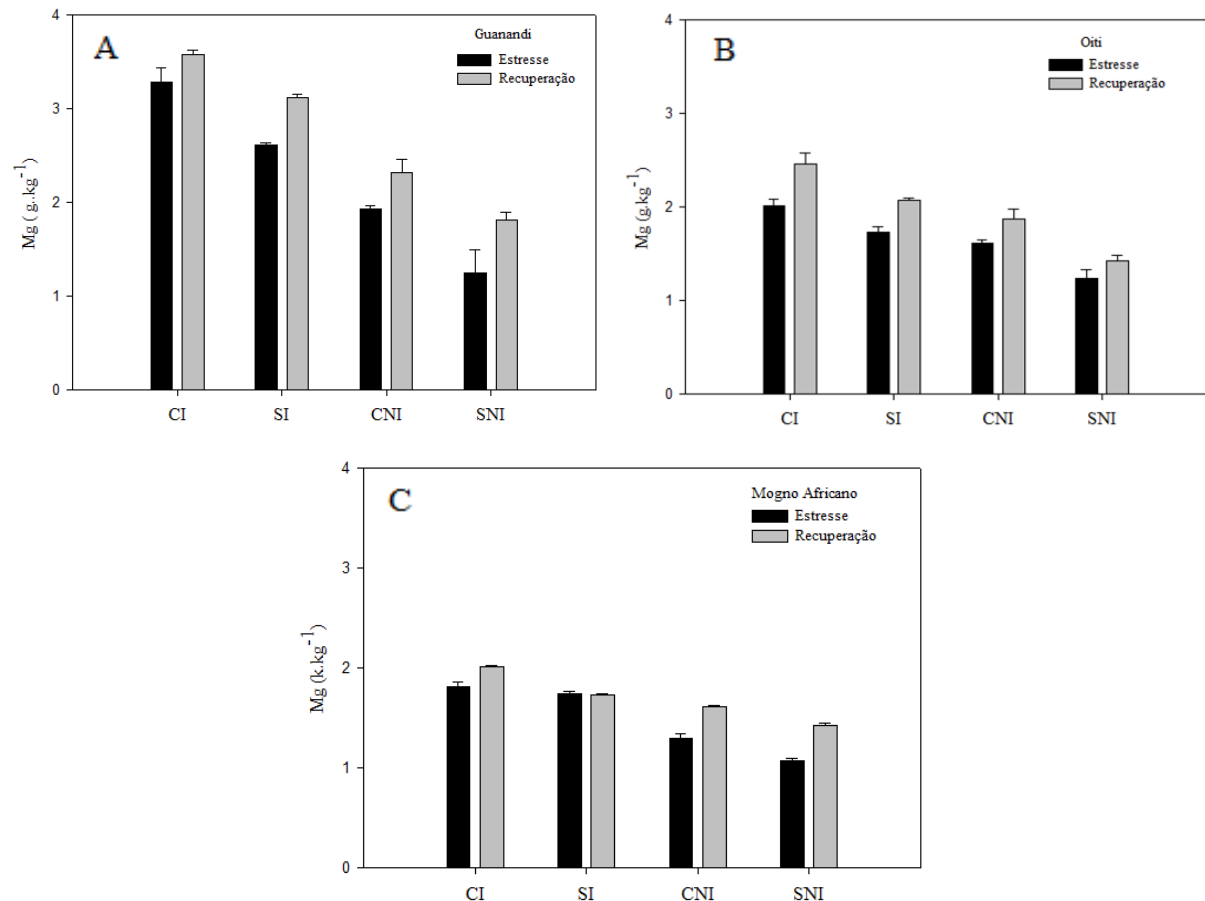


Cada valor representa a média de três repetições ($n = 3$) e os seus erros padrão (\pm SE). (CI- solo com matéria orgânica irrigado; SI- solo sem matéria orgânica irrigado; CNI- solo com matéria orgânica não irrigado; SNI- solo sem matéria orgânica não irrigado).

O teor de Mg no período de recuperação nas plantas sem matéria orgânica no guanandi era 30,93% não irrigadas para 16,02% irrigadas, no oiti era 13,28% não irrigadas

para 16,42% irrigadas e no mogno africano era 25,17% não irrigadas para 2,29% irrigadas. Por outro lado, o teor de K nas plantas com matéria orgânica no guanandi era 16,81% não irrigadas para 8,10% irrigadas, no oiti era 13,90% não irrigadas para 18,29% irrigadas e no mogno africano era 19,25% não irrigadas para 9,45% irrigadas (Figura 34).

Figura 34 Teor de Mg em três espécies guanandi (A), oiti (B) e mogno africano (C) em função do regime hídrico e da adubação orgânica no período de estresse e de recuperação.



Cada valor representa a média de três repetições ($n = 3$) e os seus erros padrão (\pm SE). (CI- solo com matéria orgânica irrigado; SI- solo sem matéria orgânica irrigado; CNI- solo com matéria orgânica não irrigado; SNI- solo sem matéria orgânica não irrigado).

Os resultados mostraram que as plantas com e sem matéria orgânica e não irrigadas tiveram um porcentagem maior de recuperação em comparação as plantas irrigadas, com exceção do oiti com e sem matéria orgânica. Possivelmente durante o estresse as plantas sem matéria orgânica reduziram a absorção de Mg, devido a redução da disponibilidade de água no solo (HUANG *et al.*, 2007). Assim, quando a imposição do estresse é severa a recuperação da absorção dos nutrientes depende da recuperação das trocas gasosas (CHAVES *et al.*, 2011; FLEXAS *et al.*, 2007; MIYASHITA *et al.*, 2005)

5 CONCLUSÃO

O estresse hídrico reduziu o potencial hídrico foliar afetando o crescimento, a absorção de nutrientes e as respostas fisiológicas das plantas no período de estresse. Sendo que no período de recuperação as plantas recuperam a turgescência, mas a recuperação do crescimento, das trocas gasosas e do acúmulo de nutrientes apresentou-se mais lenta, sugere que essas espécies necessitam de um período maior de recuperação e o mogno africano foi a espécie mais afetado com suspensão da irrigação.

A adição de matéria orgânica no solo favoreceu a retenção de água permitindo o fornecimento de água para as plantas durante o déficit hídrico reduzindo os efeitos deletérios do estresse hídrico sobre o crescimento, as funções fisiológicas e o acúmulo de nutriente no período de estresse. Sendo que no período de reidratação o solo com esse insumo as plantas tiveram uma melhor recuperação, devido à redução dos efeitos negativos induzidos pelo estresse hídrico.

REFERÊNCIAS

- ARKIN, G.F.; BLUM, A.; BURNETT, E. **A root observation chamber field installation USA**, Texas Agric. Exp. Stn. Misc. Pub. 1978,1386p.
- ANYIA, A.O., HERZOG, H. Genotypic variability in drought performance and recovery in cowpea under controlled environment. **J. Agron. Crop Sci.**, v.190, n. 2 p. 151–159, 2004.
- AWAL, M.A., IKEDA, T.. Recovery strategy following the imposition of episodic soil moisture deficit in stands of peanut (*Arachis hypogaea* L.). **J. Agron. Crop Sci.**, v.188, n.3, p.185–192, 2002.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. **Dinâmica e função da matéria orgânica**. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole. 2008. p.7-18.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas Jaboticabal**: Funep. 1988. 42p.
- BEN SALEM-FNAYOU, A., HANANA, M., FATHALLI, N., SOUID, I., ZEMNI, H., BESSIS, R., GHORBEL, A. Adaptative anatomical characteristics of grapevine leaf in the South of Tunisia. **J. Int. Sci. Vigne Vin.** v.39, n.1, 11–18, 2005.
- BERGAMASCHI H. **Desenvolvimento de déficit hídrico em culturas**. In: BERGAMASCHI, H. Agrometeorologia aplicada à irrigação. Porto Alegre: UFRGS, Ed. Universidade, 1992. p. 25-32.
- BLATT, M.R. Cellular signaling and volume control in stomatal movements in plants. **Annual Review of Cell and Developmental Biology**, v. 16, p. 221–241, 2000.
- BLUM, A.; EBERCON, A. Genotypic responses in sorghum to drought stress. III. Free proline accumulation and drought resistance. **Crop Science**, v.16, p.428-431, 1976.
- CAMPOS, H.; TREJO, C. PENA-VALDIVIA, C. B.; GARCÍA-NAVA, F. ; CONDE-MARTÍNEZ, V. CRUZ-ORTEGA, M. R. Stomatal and non-stomatal limitations of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) plants under water stress and re-watering: Delayed restoration of photosynthesis during recovery. **Environmental and Experimental Botany**, v.98, p. 56–64, 2014.
- CARVALHO, P.E.R. Influência da intensidade luminosa e do substrato no crescimento, no conteúdo de clorofila e na fotossíntese de *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. subsp. *canjerana*, *Calophyllum brasiliense* Camb. E *Centrotobium robustum* (Vell.) Mart. ex Benth., na fase juvenil. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1996. 157p. Tese Doutorado.
- CERDÀ, A. Soil aggregate stability under different Mediterranean vegetation types. **Catena**. v. 32, p.73–86, 1998.
- CHAVES, M. M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data. **J. of Exp. Bot.**, v. 62, n. 3, p. 869–88, 2011.

CHAVES, M. M., FLEXAS, J., PINHEIRO, C., Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell, **Ann. Bot.** v.103, p.551–560, 2009.

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

CUNHA, A. O.; ANDRADE, L. A. de; BRUNO, R. de L. A.; SILVA, J. A. L. dca; Souza, V. C. Efeito dos substratos e das dimensões dos recipientes na qualidade de mudas de *Tabebuia impetiginosa* (Mart. Ex. D. C.) Standl. **Revista Árvore**, v.29, n.4, p.507-516, 2005.

DAVIES, W. J.; WILKINSON, S.; LOVEYS, B. Stomatal control by chemical signaling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture. **New Phytologist, Lancaster**, v. 153, n. 3, p. 449-460, 2002.

DODD, I. C.; EGEE, G.; DAVIES, W. J. ABA signalling when soil moisture is heterogeneous: decreased photoperiod sap flow from drying roots limits ABA export to the shoots. **Plant. Cell and Environment**, v. 31, p. 1263–1274, 2008.

EAMUS, D., TAYLOR, D.T., MACINNIS-NG, C.M.O., SHANAHAN, S., SILVA, L. Comparing model predictions and experimental data for the response of stomatal conductance and guard cell turgor to manipulations of cuticular conductance, leaf-to-air vapour pressure difference and temperature: feedback mechanisms are able to account for all observations. **Plant, Cell and Environment**, v.31, p.269–277, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA-EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de solos. **Manual de métodos de análise do solo.** 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA-EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Novo Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos.** Brasília: Embrapa, 2013

ENDRES, L. Daily and seasonal variation of water relationship in sugar apple (*Annona squamosa* L.) under different irrigation regimes at semi-arid Brazil. **Scientia Horticulturae.** v. 113, p.149–154, 2007.

FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOBAYASHI, N.;FUJITA, D.;BASRA, S. M. A. Plant drought Stress: Effects, mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable and Development**, v. 29, n. 01, p. 185-212, 2009.

FIGUEREDO JUNIOR, L. G. M.; DOURADO NETO, D.; OLIVEIRA, R. F.; MANFRON, P. A.; MARTIN, T. N. Modelo para estimativa do índice de área foliar da cultura de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 4, n. 1, p. 8-13, 2005.

FLEXAS, J.; BOTA, J.; GALME´S, J.; MEDRANO, H.; RIBAS-CARBO,´M. Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress. **Physiologia Plantarum**; v. 127, p. 343–352, 2006.

FLEXAS, J.; DIAZ-ESPEJO, A.; GALMÉS, J.; KALDENHOFF, R.; MEDRANO, H.; RIBAS-CARBO, M. Rapid variations of mesophyll conductance in response to changes in CO₂ concentration around leaves, **Plant Cell Environ.** v. 30, p.1284–1298, 2007.

FLEXAS, J.; RIBAS-CARBÓ, M.; DIAZ-ESPEJO, A.; GALMÉS, J.; MEDRANO, H. Mesophyll conductance to CO₂: current knowledge and future prospects. **Plant Cell Environ.** v. 31, p.602–621, 2008..

FRANCO, A.C.; BUSTAMANTE, M.M.; CALDAS, L.S.; GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F.C.; KOZOVITS, A.R.; RUNDEL, P. & CORADIN, V.T.R. Leaf functional traits of Neotropical savanna trees in relation to seasonal water deficit. **Trees Structure and Function**, v.19, n. 3, p. 326-335, 2005.

GALMÉS, J.; MEDRANO, H.; FLEXAS, J. Photosynthetic limitations in response to water stress and recovery in Mediterranean plants with different growth forms. **New Phytol.** v.175, p. 81–93, 2007.

GAHOONIA, T.S.; RAZA S.; NIELSEN, N.E. Phosphorus depletion in the rhizosphere as influenced by soil moisture. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.159, p.213-218, 1994.

GOVEIA, D.; MELO, C. A. de; OLIVEIRA, L. K. de; FRACETO, L. F. ; ROCHA, J. C. ; DIAS FILHO, N. L.; ROSA, A. H. Adsorption and release of micronutrients by humin extracted from peat samples. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v.24, p.721-730, 2013.

GUTSCHICK V.P.; BASSIRIRAD H. Extreme events as shaping physiology, ecology, and evolution of plants: toward a unified definition and evaluation of their consequences. **New Phytologist.** v. 160, p. 1-21, 2003.

HAIDER, K. Problems related to the humification processes in soils of temperate climates. In: Stotzky, G., Bollag, J.M. (Eds.), **Soil Biochemistry.** v. 7, p. 55–94, 1992.

HARRISON-KIRKA, T. M.; BEAREA, H.; MEENKENA, E.D.; CONDRON, L.M. Soil organic matter and texture affect responses to dry/wet cycles: Effects on carbon dioxide and nitrous oxide emissions. **Soil Biology & Biochemistry.** v.57, p. 43-55, 2013.

HESSINI, K., MARTÍNEZ, J.P., GANDOUR, M., ALBOUCHI, A., SOLTANI, A., ABDELLY, C., Effect of water stress on growth, osmotic adjustment, cell wall elasticity and water-use efficiency in *Spartina alterniflora*. **Environmental and Experimental Botany.** v. 67, p.312–319, 2009.

HOLDRIDGE, L.R.; POVEDA, L. S. **Arboles de Costa Rica.** San José: Centro Científico Tropical, 1975. 546p.

HSIAO, T. C.; FRENSCH, J.; ROJAS-LARA, B. A The pressure-jump technique shows maize leaf growth to be enhanced by increases in turgor only when water status is not too high, **Plant Cell Environ.**, v. 21, p. 33-42, 1998.

HU, L.; WANG, Z.; HUANG, B. Diffusion limitations and metabolic factors associated with inhibition and recovery of photosynthesis from drought stress in a C₃ perennial grass species. **Physiologia Plantarum**, v. 139, p. 93–106, 2010.

HUANG, M.L., DENG, X.P., ZHAO, Y.Z., ZHOU, S.L., INANAGA, S., YAMADA, S., TANAKA, K. Water and nutrient use efficiency in diploid, tetraploid and hexaploid wheats. **J. Integr. Plant Biol.**, v.49 , n.5, p.706–715, 2007.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficit. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92 p.185-202, 2005.

JALLEL, C. A. MANIVANNAN, P., WAHID, A.; FAROOQ, M. A. L. JUBURI, H. J.. SOMASUNDARAM, R., PANNEERSELVAM, R. Drought stress in plants: A Review on Morphological Characteristics and Pigments Composition. **Internacional Journal Agricultural Biology**, v.11, p. 100-105, 2009.

JOHARI-PIREIVATLOU, M., QASIMOV, N., MARALIAN, H. Effect of soil water stress on yield and proline content of four wheat lines. **African Journal of Biotechnology**. v. 9, p. 36–40, 2010.

JOLY, A.B. **Botânica: introdução à taxonomia vegetal**. 11.ed. São Paulo: Nacional, 1993. 777p.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Ceres, 1979. p. 191-215.

KOPPEN, W. **Climatologia**. Fondo de Cultura Económica. México. 1948. 479p.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water Relations of Plants and Soils**. Academic: San Diego, 1995.

KUMAR, A.; SHARMA, K. D. Physiological responses and dry matter partitioning of summer mungbean (*Vigna radiata* L.) genotypes subjected to drought conditions. **Journal of Agronomy and Crop Science** , Berlin, v. 195, n. 4, p. 270-277, 2009.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RiMa. 2004. 531p.

LAWLOR, D.W., CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant Cell Environ.** v.25, p. 275–294, 2002.

LAWLOR, D.W., TEZARA, W. Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaf cells: a critical evaluation of mechanisms and integration of processes. **Annals of Botany** . v.103, p. 561–579, 2009.

LENZA, E.; KLINK, C. A. Comportamento fenológico de espécies lenhosas em um cerrado sentido restrito de Brasília, DF. **Rev. Bra. de Botânica**. v. 29, n.4, p. 627-638. 2006.

LIBERATO, M.A.R.; GONÇALVES, J.F. de C.; CHEVREUIL, L.R.; NINA JUNIOR, A. da R.; FERNANDES, A.V.; SANTOS JUNIOR, U.M. dos. Leaf water potential, gas exchange and chlorophyll a fluorescence in acariquara seedlings (*Minquartia guianensis* Aubl.) under water stress and recovery. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.18, p.315-323, 2006.

LÓPEZ-BUCIO, J. L. Phosphate availability alters architecture and cause changes in hormone sensitivity in the Arabidopsis root system. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 129, n. 1, p. 244-256, 2002.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 3. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2009. v. 2 384 p.

LUGATO, E.; BERTI, A. Potential carbon sequestration in a cultivated soil under different climate change scenarios: a modelling approach for evaluating promising management practices in north-east Italy. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. v. 128, p. 97–103, 2008.

MACKOVÁ, J.; VA SKOVÁ, M.; MACEK, P.; HRONKOVÁ, M.; SCHREIBER, L.; SANTRUCEK, J. Plant response to drought stress simulated by ABA application: changes in chemical composition of cuticular waxes. **Environmental and Experimental Botany**. v. 86, p.70–75, 2013.

MAK, M.; BABLAA, M.; XUB, S.; O’CARRIGANA, A.; LIU, X., GONG, Y.; HOLFORDA, P.; CHENA, Z. Leaf mesophyll K⁺, H⁺ and Ca²⁺ fluxes are involved in drought-induced decrease in photosynthesis and stomatal closure in soybean. **Environmental and Experimental Botany**, v. 98, p. 1–12, 2014.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: potafos, 1997. 319 p.

MANAVALAN L.P.;GUTTIKONDA; S. K.; TRAN L.S.P.; NGUYEN H.T. Physiological and molecular approaches to improve drought resistance in soybean. **Plant Cell Physiol**. v.50 p. 1260–1276, 2009.

MANSUR, R. J. C. N.; BARBOSA, D. C. A. Comportamento fisiológico em plantas jovens de quatro espécies lenhosas da caatinga submetidas a dois ciclos de estresse hídrico. **Phyton**, v. 68, p. 97-106, 2000.

MANZONI; S.; VICO; G.; KATUL, G.; PORPORATO, A. Biological Constraints on water transport in the soil-plant-atmosphere. **Adv. Água Resour**, v. 51, p. 292-304, 2013.

MARIA, B.G., OCTAVIO, A.J.F., DIEGO, B., MANUEL, B. K⁺ starvation inhibits water stress-induced stomatal closure. **J. Plant Physiol.**, v.165,p. 623–630, 2008.

MARQUES, M. C. M. Estudos auto-ecológicos do guanandi (*Calophyllum brasiliense* Camb. Clusiaceae) em uma mata ciliar do Município de Brotas, SP. Campinas: Universidade Estadual de Campinas,. P. 92, 1994. (Dissertação Mestrado).

MARSCHENER, A.D.; KALBITZ, K. Controls of bioavailability and biodegradability of dissolved organic matter in soils. **Geoderma**. v. 113, p.211–235, 2003.

MARSCHENER, H. **Mineral nutrition of higher** . 2.ed. London: Academic Press, 1995. 889p.

MASSACCI, A. S. M.; NABIEV. L.; PIETROSANTI, S. K. NEMATOV, T. N. CHERNIKOVA, K. THOR AND J. LEIPNER. Response of the photosynthetic apparatus of

cotton (*Gossypium hirsutum*) to the onset of drought stress under field condition studied by gas-exchange analysis and chlorophyll fluorescence imaging. **Plant Physiology Biochem.** v.46, p.189-195, 2008

MCAINSH, M.R.; PITTMAN J.K. Shaping the calcium signature. **New Phytologist**, v.181 p. 275–294, 2008.

MCDOWELL, N.; POCKMAN, W.T.; ALLEN, C.D.; BRESHEARS, D. D.; COBB, N.; KOLB, T.; PLAUT, J.; SPERRY, J.; WEST, A.; WILLIAMS, D.G.; YEPEZ, E.A.,. Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought. **New Phytol.** v. 178, p.719–739, 2008.

MCGRATH J. M.; LOBELL D. B. Regional disparities in the CO₂ fertilization effect and implications for crop yields **Environ. Res. Lett.** v.8, p. 014-054, 2013.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo - ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole. 2008. p.1-5.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. Spatial prediction of soil properties using EBLUP with a Matérn covariance function. **Geoderma**, v.140, n.4, p.324-336, 2007.

MIYASHITA, K.; TANAKAMARU, S.; MAITANI, T.; KIMURA, K. Recovery responses of photosynthesis, transpiration, and stomatal conductance in kidney bean following drought stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 53, p. 205-214, 2005.

MOREIRA, A. G.; KLINK, C. A. Biomass allocation and growth of tree seedlings from two contrasting Brazilian savannas. **Ecotropicos**, v. 13, p.43-51, 2000.

MOTT, K. A.; FRANKS, P. J. The role of epidermal turgor in stomatal interactions following a local perturbation in humidity. **Plant Cell and Environment**. v. 24, p.657– 662, 2001.

MUNDO, S. R.; DUARTE, M. do R.. Farmacobotânica foliar e caulinar de guanandi - *Calophyllum brasiliense* Cambess. (Clusiaceae). **Rev. Bras. Farm.** v.89, n.2, p.83-87, 2008.

MUNSON, R. D.; NELSON, W. L. **Principles and practices in plant analysis**. In: Society of America, 1973. p. 223-248.

NETTING, A. G. pH, abscisic acid and the integration of metabolism in plants under stressed and non-stressed conditions: cellular responses to stress and their implication for plant water relations. **Journal Experimental Botany**, 51, n. 343, p. 147-158, 2000.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; ALBUQUERQUE, M. B.; SILVA, E. C. **Aspectos ecofisiológicos da tolerância à seca em plantas da caatinga**. In: NOGUEIRA, R. J. M. C. et al. **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2005. p.22-31.

NOLDIN, V.F.; ISAIAS, D.B.; CECHINEL-FILHO, V. Gênero *Calophyllum*: importância química e farmacológica. **Quim. Nova**, v.29, n.3, p.549-554, 2006.

OADES, J.M. **An overview of processes affecting the cycling of organic carbon in soils.** In: Zepp, R.G., Sonntag, Ch (Eds.), *Role of Non Living Organic Matter in the Earth's Carbon Cycle.* Wiley. 1995. p. 55–94.

OHSUMI, A., HAMASAKI, A., NAKAGAWA, H., HOMMA, K., HORIE, T., SHIRAIWA, T. Response of leaf photosynthesis (*Oryza sativa* L.) varieties to vapor pressure difference in rice relation to stomatal and leaf internal conductance. **Plant Production Science**, v. 11, p.184–191, 2008.

OLIVEIRA, R. S.; BEZERRA, L.; DAVIDSON, E.A.; PINTO, F.; KLINK, C.A.; NEPSTAD, D.C.; MOREIRA, A. Deep root function in soil water dynamics in cerrado savannas of central Brazil. **Functional Ecology**, v.19, n. 4, p. 574-581, 2008.

OLIVER, R.J., FINCH, J.W., TAYLOR, G. Second generation bioenergy crops and climate change: a review of the effects of elevated atmospheric CO₂ and drought on water use and the implications for yield. **G.C. B. Bioenergy**, v. 1, p. 97–114, 2009.

PAIVA, R.; OLIVEIRA, L. M. **Fisiologia e Produção Vegetal.** Lavras. ed. UFLA. p. 104, 2006.

PEREIRA, A. R.; MACHADO, E. C. Análise quantitativa do crescimento de comunidades vegetais. Instituto Agrônomo de Campinas. **Boletim técnico**, n.114, 1987. 33p.

PÉREZ-MARTÍN, A., FLEXAS, J., RIBAS-CARBÓ, M., BOTA, J., TOMÁS, M., INFANTE, J.M., DIAZ- ESPEJO, A. Interactive effects of soil water deficit and air vapour pressure deficit on mesophyll conductance to CO₂ in *Vitis vinifera* and *Olea europaea*. **J. Exp. Bot.** v. 60, p. 2391–2405, 2009.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água.** Seropédica, rio de janeiro. EDUR. 2004.

PINHEIRO, C.; CHAVES, M.M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available. **J. Exp. Bot.** v.62, p. 869–882, 2011.

POPLUECHAI, S.; BREVIARIO, D.; MULPURI, S. ; MAKKAR, RAORANE, H. P. S, M.; REDDY, A. R.; PALCHETTI, E.; GATEHOUSE, A. M. R.; SYERS, J. K.; DONNELL, A. G. O.; KOHLI, A. Diversidade genética e aparente estreita fenética em *Jatropha curcas*: sucesso inicial com a geração de baixo éster de forbol híbridos interespecíficos Natureza Precedings HDL: 10101/npre. 2009. 22782.1.

PREMCHANDRA, G.S.; SANEOKA, H.; FUJITA, K.; OGATA, S. Cell membrane stability and leaf water relations as affected by phosphorus nutrition under water stress in maize. **Soil Sci. Plant Nutr.** v. 36, p.661–666, 1990.

RAIL, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes.** Piracicaba: international plant nutrition institute, 2011. 420p.

RAO, G.R., KORWAR G.R., SHANKER, A.K., RAMAKRISHNA, Y.S. Genetic associations, variability and diversity in seed characters, growth, reproductive phenology and

yield in *Jatropha curcas* (L.) accessions. *Trees; Structure and Function*, New York, v. 22, p. 697-709, 2008.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, Planta e atmosfera: Conceitos**, Processos e Aplicação. Barueri: Manole, 2012. 524p.

RENGEL, Z. The role of calcium in salt toxicity. *Plant Cell Environ*, Oxford, v.15, n.6, p.625–632, 1992.

RESCK, D. V. S.; FERREIRA, E. A. B.; FIGUEIREDO, C. C.; ZINN, Y. L. **Dinâmica da Matéria Orgânica no Cerrado**. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P. & CAMARGO, F. O. *Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: Ecossistemas Tropicais e subtropicais*. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008. p.359-417.

RIBEIRO, J.E.L.S. Flora da reserva Ducke. Guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central. Manaus: INPA-DFID, 1999. 816p.

RIZZINI, C. T.; MORS, W. R. **Botânica econômica brasileira**. 2.ed. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural. 1995. 248 p.

RYALS, R., SILVER, W.L. Effects of organic matter amendments on net primary productivity and greenhouse gas emissions in annual grasslands. *Ecol. Appl.* V. 23, p.46-69, 2013.

ROZA, F. A. Alterações morfofisiológicas e eficiência de uso da água em plantas de *jatropha curcas* l. submetidas à deficiência hídrica. Ilhes: Universidade Estadual de Santa Cruz, 2010.67p. Dissertação.

SAIBO, N.J.N., LOURENC, O, T., OLIVEIRA, M.M.,. Transcription factors and regulation of photosynthetic and related metabolism under environmental stresses. *Annals of Botany*. v. 103, p.609–623, 2009.

SALAMONI, A. T. **Apostila de aulas teóricas de Fisiologia Vegetal**. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria. Sem. 2, 2008.

SALIENDRA, N.Z., SPERRY, J.S., COMSTOCK, J.P. Influence of leaf water status on stomatal response to humidity, hydraulic conductance, and soil drought in *Betula occidentalis*. *Planta*, v.196, p.357–366, 1995.

SANTESTEBAN, L.G.; MIRANDA, C.; ROYO, J. B. Effect of water deficit and rewatering on leaf gas exchange and transpiration decline of excised leaves of four grapevine (*Vitis vinifera* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae*, v. 121, p.434–439,2009.

SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**.2.ed. ver. E atual.- Porto Alegre: Metropole, 2008. 654p.

SANTOS, C. M. DOS; VERISSIMO, V.; WANDERLEY FILHO ,H. C. DE L.; FERREIRA, V. M.; CAVALCANTE, P. G. DA S., ROLIM, E. V.; ENDRES, L. Seasonal variations of

photosynthesis, gas exchange, quantum efficiency of photosystem II and biochemical responses of *Jatropha curcas* L. grown in semi-humid and semi-arid areas subject to water stress. *Industrial Crops and Products*, v. 41, p. 203–213, 2013.

SAUTER, A.; DAVIES, W. J.; HARTUNG, W. The long-distance abscisic acid signal in the droughted plant: the fate of the hormone on its way from root to shoot. *Journal of Experimental Botany, Lancaster*, v. 52, n. 363, p. 1991-1997, 2001.

SCHOLANDER, P. F.; HAMMEL, E. D.; HEMMINGSEN, E. A. Sap pressure in **vascular plant**. *Science*, v. 148, p. 339-346, 1965.

SENGUPTA, D.; KANNAN, M.; REDDY, A. R. A root proteomics-based insight reveals dynamic regulation of root proteins under progressive drought stress and recovery in *Vigna radiata* (L.) Wilczek, *Planta*. v. 233, p.1111–1127, 2011.

SHIGAKI, F.; FREITAS, N.; BERTO, A.; CEDDIA, M. B.; ZONTA, E.; LIMA, E. Influência do estresse hídrico nos parâmetros de crescimento, acúmulo e produtividade de diferentes variedades de cana-de-açúcar em Miracema- RJ. *Revista Universidade Rural: Serie Ciência da Vida*, Seropédica, v.24, n.1, p. 63-71, 2004.

SILVA, M. A.; JIFON, J. L.; DA SILVA, J. A. G. ; SHARMA, V. use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v. 19, p. 193-201, 2007.

SILVA, J. V.; LACERDA, C. F. DE; COSTA, P. H. A. DA ; FILHO, J. E. ; FILHO, E. G.; PRISCO, J. T. Physiological responses of NaCl stressed cowpea plants grown in nutrient solution supplemented with CaCl₂. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v.15, p. 99-105, 2003.

SILVA, F. de A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. de. Principal components analysis in the software assistat-statistical attendance, In: **World Congress on Computers in Agriculture**, 7 Reno-NV-USA American Society of Agricultural and Biological engineers, 2009.

SILVA JÚNIOR. M. C.da.; NOGUEIRA, P.E.; FELFILI, J.M. **Flora lenhosa das matas de galeria no Brasil central**. do Herbário Ezechias Paulo Heringer, Brasília, v.2. p.57-75, 1998.

SINGH, D. K., SALE, P. W. G., PALLAGHY, C. K., SINGH, V. Role of proline and leaf expansion rate in the recovery of stressed white clover leaves with increased phosphorus concentration. *New Phytol*. v. 146, p. 261–269, 2000.

SINGH, V.; PALLAGHY, C. K.; SINGH, D. Phosphorus nutrition and tolerance of cotton to water stress II. Water relations, free and bound water and leaf expansion rate. *Field Crops Research*. v. 96, p.199–206, 2006.

SMIT, M. A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. *Field Crops Research*, South Africa, v.98, p. 91-97, 2006.

SOUZA, C. A. S. de; TUCCI, C. A. F.; SILVA, J. F. da; Ribeiro, W. O. Nutritional requirements and growth of mahogany (*Swietenia macrophylla* King.) plants. *Acta Amazonica*, v. 40, n. 03, ManusSept. 2010.

SOUZA, R. P., MACHADO, E. C., SILVA, J. A. B., LAGOA, A., SILVEIRA, J. A. G. Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. **Environ. Exp. Bot.** v.51, n.1, p. 45–56, 2004.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática**: guia ilustrado para identificação das famílias de fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG II. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008.

SPARPARI, M. S. **PREDPOL: Um modelo de previsão da maturação da cana-de-açúcar visando planejamento otimizado**, 2007. 120f. Tese (doutorado em fitotecnia) – escola Superior de agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

STEUDLE, E.; PETERSON, C.A. How does water get through roots. **J. Exper. Bot.**, v.49, p.775-788, 1998.

STEWART, G. R.; LEE, J. A. The role of proline accumulation in halophytes. **Plant. Berlin**, v. 120, p. 279-289, 1974.

STURION, J. A.; ANTUNES, J. B. M. **Produção de mudas de espécies florestais**. In: GALVÃO, A. P. M. (Org.) Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Colombo: Embrapa Florestas, 2000. p.125-174.

SUDENE, 2010. Superintendência de desenvolvimento do nordeste. Disponível em, <http://www.sudene.gov.br> (accessed 12.10.2013).

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.

TARDIEU, F.; DAVIES, W. J. Integration of hydraulic and chemical signalling in the control of stomatal conductance and water status of droughted plants. **Plant, Cell and Environment**, v.16 p.341-349, 1993.

TEARE, I. D.; PEET, M. M. Crop-water relations. John Wiley; Sons Publ., New York, 1983.

THOMPSON, A. J. ; ANDREWS, J.; MULHOLLAND, B. J.; MCKEE, J. M. T.; HILTON, H. W.; HORRIDGE J .S.; FARQUHAR, G. D.; SMEETON, R. C.; SMILLIE I. R. A. ; PRETO, C. R., TAYLOR, I. B. Overproduction of abscisic acid in tomato increases transpiration efficiency and root hydraulic conductivity and influences leaf expansion, **Plant Physiol.**, v.143, p. 1905-1917, 2007.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water stable aggregate. **J. of Soil Science**, v.33 p. 141-163, 1982.

TOMEMORI, H., HAMAMURA, K., TANABE, K. Interactive effects of sodium and potassium on the growth and photosynthesis of spinach and komatsuna. **Plant Prod. Sci.** v.5, p.281–285, 2002.

- VERSLUES, P.E.; AGARWAL, M.; KATIYAR-AGARWAL, S.; ZHU, J.; ZHU, J. K. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. **The Plant Journal**, v. 45, p. 523–539, 2006.
- VERZIGNASS, J. R. ; POLTRONIERI, L. S.; BENCHIMOL, R. L. Mancha-alvo em mogno-africano no Brasil. Concordia: **Embrapa Gado de Corte**, v.35 n. 01, 2009.
- VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Uma revisão sobre qualidade do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 33, p.743-755, 2009.
- WANG, Z. Q.; WUA, L. H.; ANIMESH, S. Nutrient shift in *Parthenocissus tricuspidata* seedling in response to soil water stress. **Scientia Horticulturae**, v.123, p.253–257, 2009.
- WESSELING, C.; KEIFER, M.; AHLBOM, A.; MCCONNELL, R.; MOON, J.; workers. **Int J Occup Environ Health**, v.8, p. 27-34, 2002.
- XU, Z., ZHOU, G., SHIMIZU, H. Are plant growth and photosynthesis limited by pre drought following rewatering in grass. **J. Exp. Bot.**, v. 60, p.3737–3749, 2009.
- XU, L.; HAN, L.; HUANG, B.. Membrane fatty acid composition and saturation levels associated with leaf dehydration tolerance and post-drought rehydration in Kentucky bluegrass. **Crop Science**. V. 51, p.273–281, 2011.
- XU, L.; YU, J.; HAN, L.; HUANG, B. Photosynthetic enzyme activities and gene expression associated with drought tolerance and post-drought recovery in Kentucky bluegrass. **Environmental and Experimental Botany** , v.89, p. 28– 35, 2013.
- YANG, F.; MIAO, L. **Respostas adaptativas ao estresse hídrico progressiva em duas espécies de álamo originários de diferentes altitudes**. Silva Fenn, v. 44, p. 23-37, 2010.
- YANG, J.C.; LIU, K.; ZHANG, S. F.; WANG, X. M., ZHWANG, Q.; LIU, L. J. Hormones in rice spikelets in responses to water stress during meiosis, **Acta Agronomica Sinica**. v.34, p. 111-118, 2008.
- YORDANOV, I.; VELIKOVA, V.; TSONEV, T.; Plant responses to drought, acclimation, and stress tolerance. **Photosynthetica**. v.38, p. 171–186, 2000.
- YU, D. J.; KIM, S. J.; LEE, H. J.; Stomatal and non-stomatal limitations to photosynthesis in field-grown grapevine cultivars, **Biol. Plant**. v.53, p.133–137, 2009.
- ZHAO, Y.; DU, H.; WANG, Z.; HUANG, B. Identification of proteins associated with water-deficit tolerance in C-4 perennial grass species, *Cynodon dactylon* × *Cynodon transvaalensis* and *Cynodon dactylon*. **Physiologia Plantarum**. v. 141, p. 40–55, 2011.
- ZHOU, Q.; YU, B. Changes in content of free, conjugated and bound polyamines and osmotic adjustment in adaptation of vetiver grass to water deficit. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, p.417–425, 2010.