

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
UNIDADE ACADÊMICA CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA –
PRODUÇÃO VEGETAL



TROCAS GASOSAS E EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA DE PLÂNTULAS DE
PINHÃO-MANSO (*Jatropha curcas* L.) EM DUAS ÉPOCAS NO SERTÃO
DE ALAGOAS

FELIPE CARDOSO SOUZA

FELIPE CARDOSO SOUZA

TROCAS GASOSAS E EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA DE PLÂNTULAS DE
PINHÃO-MANSO (*Jatropha curcas* L.) EM SISTEMA DE PLANTIO
DIRETO NO SERTÃO DE ALAGOAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, do Centro de Ciências agrárias, da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal.

Orientação: Prof. Dr. Lauricio Endres

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecário Responsável: Valter dos Santos Andrade

S729t Souza, Felipe Cardoso.
Trocas gasosas e eficiência fotoquímica de plântulas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em duas épocas no sertão de Alagoas. / Felipe Cardoso Souza.– 2014.
59 f. : il.

Orientador: Laurício Endres.
Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2014.

Bibliografia: f. 47-54.

1. Pinhão-manso – Cultivo. 2. *Jatropha curcas* L. 3. Plantas - Trocas Gasosas. 4. Fotossíntese. 5. Planta Oleaginosa. 6. Sertão de Alagoas. I. Título.

CDU: 633.85

TERMO DE APROVAÇÃO

FELIPE CARDOSO SOUZA

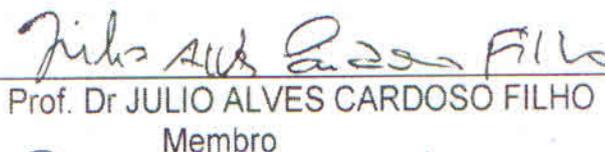
(Matrícula 12130116)

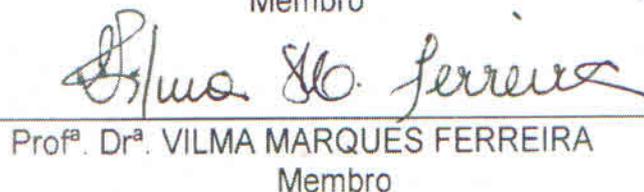
“TROCAS GASOSAS E EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA DA PLÂNTULAS DE PINHÃO-MANSO (*Jatropha curcas* L. SEMEADOS EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO NO SERTÃO DE ALAGOAS”.

Dissertação apresentada e avaliada pela banca examinadora em quinze de maio de 2014, como parte dos requisitos para obtenção de Mestre em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal do Programa de Pós-Graduação em Agronomia “Produção Vegetal” da Unidade Acadêmica Centro de Ciências Agrárias da UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS.


Prof. Dr. LAURICIO ENDRES
Presidente


Prof. Dr. GILBERTO COSTA JUSTINO
Membro


Prof. Dr JULIO ALVES CARDOSO FILHO
Membro


Prof^a. Dr^a. VILMA MARQUES FERREIRA
Membro

RIO LARGO – AL
Maio/2014

Aos meus Pais,

Carlos Augusto Menezes de Souza e Martha de Almeida Cardoso de Souza por serem os meus maiores incentivadores.

Aos meus irmãos,

Fenando Cardoso e Thiago Cardoso pelo apoio em todos os momentos e pelo companheirismo.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Lauricio Endres, que me recebeu de braços abertos. Gostaria de agradecer por ter acreditado em mim e no meu trabalho. Obrigado pelo incentivo, pelas orientações, pela paciência e pelos ensinamentos transmitidos. Agradeço pela oportunidade de ser orientado por esse grande profissional que sempre vou me orgulhar em seguir seus modelos de ensino, amizade e convivência na minha vida profissional;

A Universidade Federal de Alagoas e principalmente ao Centro de Ciências Agrárias que foi a minha casa durante de sete anos;

Aos colegas do laboratório de Fisiologia Vegetal pela convivência, amizade e principalmente pela ajuda na execução do trabalho;

Aos meus colegas de turma do Programa de Pós-graduação pela amizade e companheirismo

Aos participantes da banca Prof. Gilberto Costa Justino, Prof. Júlio Alves Cardoso Filho e Prof^a. Vilma Marques Ferreira pelas valiosas contribuições;

Aos meus irmãos Fernando Cardoso Souza e Thiago Cardoso Souza pelo apoio, incentivo e companheirismo;

A minha namorada Fábiana M. Madeiro pelo carinho e apoio nos momentos difíceis;

Aos meus sobrinhos Fernanda e Arthur;

As minhas cunhadas Marilena Moura e Lorena Leão.

Em especial agradeço aos meus pais Carlos Augusto M. de Souza e Martha de Almeida Cardoso de Souza pelo apoio incondicional aos quais serei eternamente grato;

“O motor a diesel pode ser alimentado por óleos vegetais, e ajudará no desenvolvimento agrário dos países que vierem a utiliza-lo... O uso de óleos vegetais como combustível pode parecer insignificante hoje em dia. Mas com o tempo irão se tornar tão importante quanto o petróleo e o carvão são atualmente.”

Rudolf Diesel 1912

RESUMO

O pinhão-manso é uma espécie oleaginosa da família das Euforbiáceas. É considerada uma das mais promissoras oleaginosas como alternativas para a produção de biodiesel no nordeste brasileiro. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento fisiológico de plântulas de pinhão-manso na época seca e chuvosa cultivados na região semiárida de Alagoas. Avaliou-se o percentual de mortes das plântulas nos cultivos de Craíbas e Santana do Ipanema. Foram feitas avaliações diárias das trocas gasosas utilizando o IRGA e a eficiência fotoquímica através de um fluorômetro. A incidência de mortes foi alta em ambos os cultivos, causado principalmente pela baixa precipitação pluvial no primeiro ano após a semeadura que foi de 258,62 mm em Santana do Ipanema e 485,6 mm em Craíbas. O horário de maior fotossíntese foi no período da manhã baixando a partir das 11:00 horas devido principalmente ao aumento do déficit de pressão de vapor que causou a redução da condutância estomática e conseqüentemente a diminuição da transpiração. Na época seca, às 13:00 horas ocorreu a fotoinibição dinâmica com uma rápida recuperação durante a tarde. Estes resultados demonstram uma certa adaptabilidade dessa espécie ao clima seco da região, porém não foram suficientes para evitar a morte da maioria das plantas.

Palavras-chave: Pinhão-manso. Fotossíntese. Trocas Gasosas. Oleaginosa.

ABSTRACT

The physic nut is a species of oleaginous family of Euphorbia. Considered the most promising oil bearing crops as alternatives to the production of biodiesel in northeastern. The present work had as objective to evaluate the physiological behavior of the seedlings of the physic nuts, in dry season and in rainy season, grown in the semi-arid region of Alagoas. Assessed the percentage of deaths of seedlings in Craíbas and Santana do Ipanema crops. Were made daily evaluations of gas exchange using IRGA and photochemical efficiency through fluorometer. The incidence of deaths was high in both crops, caused due mainly to low rainfall in the first year after sowing, that was 258,62 mm in Santana do Ipanema and 485,6 mm in Craibas. The most photosynthesis time was in the morning,, dropping from 11:00 hours due mainly to the increase of the vapour pressure deficit that caused reduction in the stomatal conductance and consequently, the transpiration decreases. In dry season, at 13:00 hours, occurred the dynamic photoinhibition with a rapid recovery in the afternoon. These results show a certain adaptability of this species to the dry climate of the region, however where not sufficient to avoid the death of most the plants.

Keywords: Physic nut, photosynthesis, gas exchange, oleaginous

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIações

UR – Umidade Relativa

T – Temperatura

ETR – Evapotranspiração Real

DAP – Dias Após o Plantio

DPV – Déficit de Pressão de Vapor

Ψ_w – Potencial Hídrico

A – Fotossíntese

E – Transpiração

gs – Condutância Estomática

A/Ci – Eficiência de Carboxilação

EUA – Eficiência do Uso da Água

Fv/Fm – Eficiência Quântica Máxima do fotossistema II

Yield ($\Phi_{PS II}$) – Eficiência Quântica Efetiva do fotossistema II

IRGA - Analisador Portátil de CO₂ a Infravermelho

Lista de Figuras

- Figura 1:** Médias históricas da precipitação pluvial mensal em mm nos municípios de Santana do Ipanema nos anos de 1912 a 1985 e Arapiraca (agreste) nos anos de 1971 a 2005.....212
- Figura 2:** Precipitação mensal (A), Evapotranspiração Real (B), Excesso ou déficit hídrico no solo (C) dos meses de jan de 2012 até out de 2013 nos municípios de Santana do Ipanema e Craíbas.....223
- Figura 3:** Média mensal da umidade relativa do ar (A), Média mensal da temperatura (B) e Déficit de Pressão de Vapor (C) dos meses de jan de 2012 até out de 2013 nos municípios de Santana do Ipanema e Craíbas.....234
- Figura 4:** Umidade do solo (A) e Potencial hídrico do solo (B) no cultivo de Santana do Ipanema no dia das análises fisiológicas na época Chuvosa e Seca.267
- Figura 5:** Variação diurna da Temperatura (A) e Déficit de Pressão de vapor (B) em setembro de 2012 (época Chuvosa) e dezembro de 2012 (época seca) no município de Santana do Ipanema, dados obtido através do IRGA. Radiação Solar (C) em dezembro de 2012 (época seca) no município de Santana do Ipanema, dados obtidos através da estação meteorológica.....30.....
31
- Figura 6:** Altura das plantas de pinhão manso nos cultivos de Santana do Ipanema e Craíbas de março de 2012 a junho de 2013.323
- Figura 7:** Diâmetro das plantas de pinhão manso nos cultivos de Santana do Ipanema e Craíbas de março de 2012 a junho de 2013.323

Figura 8: Incidência de morte das plântulas de pinhão-manso no cultivo de Santana do Ipanema no plantio em 16 de julho de 2011 e no replantio em 01 de junho de 2012.....	345
Figura 9: Incidência de morte das plântulas de pinhão-manso no cultivo de Craíbas no plantio em 15 de julho de 2011 e no replantio em 04 de julho de 2012.	345
Figura 10: Variação diurna da condutância estomática (gs) na época chuvosa e seca em plântulas de pinhão-manso cultivadas no município de Santana do Ipanema.	356
Figura 11: Variação diurna da taxa de fotossíntese (A) na época chuvosa e seca em plântulas de pinhão-manso cultivadas no município de Santana do Ipanema.	378
Figura 12: Variação diurna da transpiração (E) na época chuvosa e seca em plântulas de pinhão-manso cultivadas no município de Santana do Ipanema.	389
Figura 13: Variação diurna da concentração interna de CO ₂ (Ci) na época chuvosa e seca em plântulas de pinhão-manso cultivadas no município de Santana do Ipanema.	40
Figura 14: Variação diurna da Eficiência do Uso da Água (E/A) na época chuvosa e seca em plântulas de pinhão-manso cultivadas no município de Santana do Ipanema.	4041
Figura 15: Variação diurna da Eficiência de Carboxilação (A/Ci) na época chuvosa e seca em plântulas de pinhão-manso cultivadas no município de Santana do Ipanema.	412

Figura 16: Variação diurna da Eficiência quântica efetiva do fotossistema II ($\Phi_{PS II}$) na época chuvosa e seca em plântulas de pinhão-manso cultivadas no município de Santana do Ipanema.....	434
Figura 17: Variação diurna da Eficiência Quântica Máxima do fotossistema II (F_v/F_m) na época chuvosa e seca em plântulas de pinhão-manso cultivadas no município de Santana do Ipanema. As médias dos horários foram comparadas pelo teste t. Médias sobrescritas de ** Probabilidade ($p < 0,01$), * Probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$) e ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$)..	44
Figura 18: Índice SPAD em plântulas de pinhão-manso cultivado no município de Santana do Ipanema, AL na época chuvosa (set/12) e época seca (dez/2012). As médias foram comparadas pelo teste t. As letras indicam comparação entre as épocas pelo teste t ($P < 0,05$)....	45
Figura 19A: Vista parcial do campo experimental de Craíbas (A) e de Santana do Ipanema (B)....	45
Figura 20A: Fenologia das plântulas de pinhão-manso no cultivo de Craíbas: Altura das plantas (A) e Diâmetro do caule (B).....	45
Figura 21A: Medições de Trocas Gasosas no cultivo de Santana do Ipanema.....	45
Figura 22A: Instalação dos Tubos para medição da umidade do solo no cultivo de Craíbas.....	5945
Figura 23A: Planta de pinhão-manso do cultivo de Santana do Ipanema selecionada para a fenologia (A) e Planta de pinhão-manso atacada pelo fungo Rizoctonia que causa o apodrecimento do colo da planta e conseqüentemente sua morte (B).....	6045

Lista de Tabelas

Tabela 1: Coeficientes de correlação entre as variáveis de trocas gasosas (correlações representando todos os dados), em plantas jovens de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) na época seca, em condições de campo..... 412

Tabela 2: Coeficientes de correlação entre as variáveis de trocas gasosas (correlações representando todos os dados), em plantas jovens de pinhão-manso (*Jatropha curcas*.L.) na época chuvosa, em condições de campo.423

SUMÁRIO

1. Introdução.....	12
2. Revisão de Literatura.....	14
2.1. Biodiesel	14
2.2. Pinhão-manso	15
2.3. Fenologia	17
2.4. Trocas Gasosas	17
2.5. Fluorescência da Clorofila a	18
2.6. Interferência dos fatores abióticos nas trocas gasosas	19
3. Material e Métodos	21
3.1. Local do Experimento	21
3.1.1. Montagem do Campo Experimental	24
3.2. Parâmetros Morfológicos	25
3.2.1. Pegamento das plantas de Pinhão-manso	25
3.2.2. Fenologia	25
3.3. Determinação da Umidade e Potencial Hídrico do Solo	25
3.4. Parâmetros Fisiológicos	26
3.4.1. Medidas de Trocas Gasosas	27
3.4.2. Eficiência Fotoquímica	27
3.4.3. Índice SPAD	27
3.5. Análises Estatísticas	28
4. Resultados & Discussão.....	29
4.1. Caracterização Climatológica	29
4.2. Parâmetros Morfológicos Viabilidade do Cultivo	31
4.3. Parâmetros Fisiológicos	34
4.3.1. Trocas Gasosas	34
4.3.2. Eficiência Fotoquímica do Fotossistema II	42
5. Conclusão.....	46
6. Referências.....	47
Apêndice	55

1. Introdução

O uso de combustíveis de origem fóssil tem sido apontado como o principal responsável pela poluição do ar. Por isso, a Comunidade Europeia, os Estados Unidos, Brasil e diversos outros países vêm estimulando a substituição do petróleo por combustíveis de fontes renováveis, incluindo principalmente o biodiesel e o bioquerosene, diante de sua expressiva capacidade de redução da emissão de diversos gases causadores do efeito estufa, a exemplo do gás carbônico e enxofre.

O governo brasileiro com o intuito de reduzir essas taxas criou o PNPB (Plano Nacional de Produção e Uso do Biodiesel) que em 2005 autorizou a mistura de 2% de biodiesel ao diesel comum a qual passou a ser obrigatório a partir de 2008. Em janeiro de 2010 a mistura passou a ser de 5% gerando uma demanda de 2,7 bilhões de litros.ano⁻¹ e a tendência é que essa mistura passe para 10% nos próximos anos aumentando a demanda para 5,4 bilhões de litros.ano⁻¹ (UBRABIO 2012). Para isso se faz necessário que se tenha toda uma cadeia estruturada com capacidade de suprir a demanda do comércio sem que haja risco de desabastecimento nas indústrias a cada safra ruim, causando um aumento no preço do biocombustível, prejuízos e instabilidade no setor energético do país.

Neste contexto pode ser citado o pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), uma oleaginosa pertencente à família Euphorbiaceae como uma fonte promissora de matéria prima para a produção de óleo para o biodiesel.

Segundo AUGUSTUS (2002) o pinhão-manso é uma planta nativa das Américas, que se apresenta de forma espontânea nas regiões tropicais e subtropicais do globo e é amplamente distribuída na Ásia, África e Índia.

O pinhão-manso adapta-se às condições edafoclimáticas mais variáveis no Brasil, sua distribuição geográfica vai desde o estado de São Paulo até o Norte e Oeste do país. É encontrado principalmente nos estados do Nordeste, em Goiás e Minas Gerais (EPAMIG, 2003), por ser uma espécie nativa e com forte tolerância à seca é considerada uma interessante opção agrícola para a região Nordeste, (ARRUDA et al., 2004).

Os trabalhos de pesquisa sobre esta planta iniciaram-se na década de 80 e a partir de 2007 montou-se uma coleção, para fins de pesquisa e ainda em expansão. No entanto, as ações de pesquisa ainda estão em desenvolvimento

visando cultivares mais produtivos e com características de interesse agroindustrial (BARROS et al., 2006).

Além das vantagens econômicas, há também as vantagens ambientais já que o biodiesel é um combustível que não emite gases tóxicos na sua combustão, diminuindo assim na atmosfera a quantidade de gases causadores do efeito estufa e é obtida através de uma fonte renovável, não haverá o risco de se esgotar ao longo dos anos.

Devemos considerar também o aspecto social, de fundamental importância, sobretudo a possibilidade de conciliar sinergicamente todas essas potencialidades. De fato, o cultivo de matérias-primas e a produção industrial de biodiesel, ou seja, a cadeia produtiva do biodiesel tem grande potencial de geração de empregos, promovendo, dessa forma, a inclusão social, especialmente quando se considera o amplo potencial produtivo da agricultura familiar (CORTESÃO, 1956). Atualmente, 34% da matéria prima para a produção de biodiesel vêm da agricultura familiar, beneficiando mais de 105 mil famílias em todo país e envolvendo mais de 60 cooperativas no Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (UBRABIO 2012). Por ser uma planta perene o pinhão-manso pode ser utilizado na agricultura familiar e ser consorciado com outras culturas anuais como, por exemplo, algumas leguminosas e hortaliças incrementando a renda e garantindo o sustento do pequeno produtor. Segundo diversos autores o pinhão-manso é uma planta de fácil cultivo, que se adapta bem em solos com baixa fertilidade e pode ser considerada uma planta com uma forte tolerância à seca.

Mediante o exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento fisiológico de plântulas de *Jatropha curcas L.* em duas épocas distintas, a primeira na época chuvosa e a segunda na época seca cultivados no sertão de Alagoas.

2. Revisão de Literatura

2.1. Biodiesel

O biodiesel é um combustível biodegradável derivado de fontes renováveis como óleos vegetais e gorduras animais. Estimulados por um catalisador, eles reagem quimicamente com álcool. Existem diferentes espécies de oleaginosas no Brasil que podem ser usadas para produzir o biodiesel. Entre elas estão o pinhão-mansão, dendê, canola, girassol, amendoim, soja e algodão, entre outras. Matérias-primas de origem animal, como o sebo bovino e gordura suína, também podem ser utilizadas na fabricação do biodiesel.

Segundo a Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005 definiu que biodiesel é um biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento para a geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2006). Um estudo realizado pelo grupo PSA Peugeot Citroen no Brasil mostrou que a mistura B30, ou seja, 70% de diesel e 30% de biodiesel podem ser utilizadas tranquilamente em carros de passeio sem que haja a necessidade de adaptação do motor ou peças desses carros, além disso, constatou-se uma redução de 23% na emissão de material particulado, de 11% em hidrocarbonetos, de 11% de monóxido de carbono e um aumento, pouco significativo, segundo os técnicos, de 5% na emissão de óxidos de nitrogênio (BIODIESELBR 2006).

O Brasil vem se destacando no cenário mundial no que se refere à produção de biocombustíveis. O Brasil produziu 1,15 bilhão de litros de biodiesel de janeiro a maio de 2013, o maior patamar já alcançado nos cinco primeiros meses do ano, esses dados foram divulgados pela Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (Abiove), com base em informações da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Combustível (ANP). Devido a essa crescente projeção dos biocombustíveis, a Petrobras Biocombustível investiu na construção de duas usinas no Nordeste, a usina de Candeias (BA) e a de Quixadá (CE) (BIODIESELBR 2006).

Atualmente no Brasil todo óleo fornecido para suprir a cadeia do biodiesel é oriundo de três principais fontes, a soja com 73%, a gordura animal com 20% e o algodão com 3%. As demais culturas constituem com apenas 3%. (UBRABIO 2011)

2.2. Pinhão-manso

O gênero *Jatropha* possui 175 espécies distribuídas pela América Tropical, Ásia e África (AUGUSTUS, 2002). Acredita-se que a espécie *Jatropha curcas* L. proceda da América do Sul, possivelmente originária do Brasil. Embora seja uma planta conhecida e cultivada no continente americano desde a época pré-colombiana, e esteja disseminada em todas as regiões tropicais e até em algumas temperadas, o pinhão-manso ainda encontra-se em processo de domesticação (SATURNINO et al., 2005).

A espécie *Jatropha curcas* L. (Pinhão-manso), pertence à família das Euforbiáceas, mesma da mamona (*Ricinus* sp.), mandioca (*Manihot* sp.) e seringueira (*Hevea* spp.), também conhecida como pinhão do Paraguai, purgueira, pinha de purga, grão de maluco, pinhão de cerca, pinhão bravo, pinhão do inferno, pinhão das barbadás, dentre outros (DRUMMOND et al., 1984). É um arbusto grande, caducifólio, de crescimento rápido, cuja altura normal é dois a três metros, mas pode alcançar até cinco metros em condições especiais de manejo. O diâmetro do tronco é de aproximadamente 20 cm, possui raízes curtas e pouco ramificadas, caule liso, de lenho mole e pouco resistente, floema com longos canais que se estendem até as raízes, nos quais circula o látex, suco leitoso que corre com abundância de qualquer ferimento. O tronco ou fruste é dividido desde a base em compridos ramos, com numerosas cicatrizes produzidas pela queda das folhas na estação seca, as quais ressurgem logo após as primeiras chuvas (BRASIL, 1985).

As folhas do pinhão-manso são verdes, esparsas e brilhantes, largas e alternas, em forma de palma com três a cinco lóbulos e pecioladas, com nervuras esbranquiçadas e salientes na face inferior. O pinhão-manso possui floração monóica, apresentando na mesma planta, mas, com sexo separado, flores masculinas em maior número nas extremidades das ramificações e femininas nas ramificações, as quais são amarelo-esverdeadas e diferenciam-se pela ausência de

pedúnculo articulado nas femininas que são largamente pedunculadas (BRASIL, 1985).

O pinhão já é tradicionalmente utilizado como cerca viva para pastos no Norte de Minas Gerais, com a vantagem de não ocupar áreas importantes para outras culturas e pastagens e favorecer o consórcio nos primeiros anos, pois o espaçamento entre plantas é grande (PURCINO e DRUMMOND, 1986).

De acordo com PURCINO e DRUMMOND (1986) o pinhão-manso é uma planta produtora de óleo com todas as qualidades necessárias para ser transformado em biodiesel. Além de perene e de fácil cultivo, apresenta boa conservação da semente colhida, podendo se tornar grande produtora de matéria prima como fonte opcional de combustível. Para aqueles autores, esta é uma cultura que pode se desenvolver em pequenas propriedades, com a mão-de-obra familiar, sendo mais uma fonte de renda para as propriedades rurais da Região Nordeste. Além disso, como é uma cultura perene, segundo PEIXOTO (1973), pode ser utilizado na conservação do solo, pois o cobre com uma camada de matéria seca, reduzindo, dessa forma, a erosão e a perda de água por evaporação, evitando enxurradas e enriquecendo o solo com matéria orgânica decomposta.

A produtividade do pinhão-manso está bem acima das demais oleaginosas (três vezes superior à mamona e duas vezes superior ao girassol) possui também um óleo de excelente qualidade para a produção de biodiesel sendo que esta produtividade varia muito em função da região de plantio, método de cultivo e tratos culturais, idade da cultura, bem como da quantidade de chuva e da fertilidade do solo (PURCINO e DRUMMOND, 1986). Segundo BRASIL (1985), o rendimento anual de óleo pode atingir de 3,0 a 4,0 t.ha⁻¹. De acordo com CARNIELLI (2003), produz, no mínimo, duas toneladas de óleo por ha.ano⁻¹. ADAM (1953) observou um rendimento de 4 a 5 kg.planta⁻¹ de frutos e PEIXOTO (1973) afirma que o rendimento dessa cultura varia de 0,5 a 1,2 t.ha⁻¹ de sementes limpas. Segundo MEIRELLES (2003) o pinhão-manso possui uma produtividade de grãos que varia de 2 a 12 t.ha⁻¹ e suas sementes possuem um teor de óleo entre 50 a 52%, podendo chegar a um rendimento de 1 a 6 t.ha⁻¹ de óleo.

Em cultivos comerciais, a produtividade média é de 5 t.ha⁻¹, com a cultura estabelecida e em condições favoráveis, ou seja, com disponibilidade de água e

nutrientes, e cerca de 32% deste valor pode ser convertido em óleo vegetal (aproximadamente 1.600 L.ha⁻¹) (TEIXEIRA, 2005).

2.3. Fenologia

A fenologia refere-se ao comportamento dos eventos biológicos vegetativos e reprodutivos das plantas tais como: brotamento, abscisão foliar, formação de botões, flores, frutos e suas relações com mudanças no ambiente biótico e abiótico (FERRAZ et al., 1999). Os levantamentos fenológicos fornecem informações sobre padrões de florescimento e de frutificação de uma espécie que são a base para se compreender o processo e o sucesso reprodutivo (FISCH et al., 2000).

Além disso, a avaliação do comportamento fenológico propicia o conhecimento e a definição das épocas em que ocorrem as diversas fases do período vegetativo das plantas, o que pode auxiliar na escolha das práticas culturais indicando, por exemplo, a melhor época de colheita e de plantio para cada espécie (BERGAMASCHI, 2008).

Para LARCHER (2004), o conhecimento da fenologia mesmo é baseado nas observações de estágios de desenvolvimento extremamente visíveis (fenofases) como, por exemplo, a germinação de sementes, desenvolvimento das folhas, floração, descoloração das folhas e senescência das herbáceas.

2.4. Trocas Gasosas

Sob concentrações de CO₂ muito baixas, a fotossíntese é fortemente limitada, enquanto que as taxas respiratórias não são afetadas. Como resultado verifica-se balanço negativo entre o CO₂ fixado pela fotossíntese e o produzido pela respiração e, com isso, um efluxo líquido de dióxido de carbono proveniente da planta. Com o aumento da concentração de CO₂ até o ponto que esses dois se equilibram, a planta atinge o ponto de compensação de CO₂.

A planta tem que equilibrar a necessidade de conservar água e assimilar CO₂ atmosférico, fazendo com que a área foliar desempenhe papel importante na difusão do dióxido de carbono e no vapor de água entre os estômatos. Transpiração e

fotossíntese, com a conseqüente acumulação de massa seca estão relacionadas às trocas gasosas entre os estômatos e a atmosfera.

A resistência estomática, ou seja, o grau de fechamento dos estômatos é regulado pela planta, de forma que a transpiração é proporcional ao balanço de energia, sem induzir o aquecimento excessivo das folhas. Acredita-se que o status hídrico das células epidérmicas é o responsável pela abertura estomática, e não o aumento do status hídrico da folha (LARCHER, 2004).

A maior resistência estomática observada em plantas resulta de uma extraordinária e constante taxa de transpiração pela planta, apesar de ocorrer aumentos na área foliar. Folhas e raízes podadas resultam em decréscimo na resistência, tanto que a transpiração por planta é mantida praticamente no mesmo nível. Esses dados sugerem um mecanismo homeostático para a manutenção quase que constante do status hídrico foliar em diferentes tamanhos de espécies vegetais e condições ambientais, desde que a água do solo não seja limitante. Assim, pode-se concluir que o aumento do status hídrico foliar é controlado pela abertura estomática, e não o inverso (INMAN-BAMBER & SMITH, 2005).

2.5. Fluorescência da Clorofila a

Uma técnica importante no diagnóstico do fotossistema II é a fluorescência (Schreiber et al., 1998). Vários artigos foram publicados sobre a base teórica e aplicações na ecofisiologia relacionados à fluorescência (SCHREIBER et al., 1998). Segundo KRAUSE e WEIS (1991), a medição da fluorescência pode ser considerada como uma medida de complemento às medições do processo fotossintético.

Todos os organismos fotossintéticos contêm um ou mais pigmentos orgânicos capazes de absorver a radiação visível que iniciará as reações fotoquímicas da fotossíntese. Em plantas superiores, os principais pigmentos fotossintéticos são as clorofilas (a e b) e os carotenóides (TAIZ & ZEIGER, 2006). Entretanto, nem toda a luz incidente sobre a folha é absorvida pelas moléculas de clorofila, alguns fótons podem ser transmitidos e outros podem ser refletidos. As moléculas de clorofila absorvem a energia luminosa (fótons) e alteram temporariamente as suas

configurações eletrônicas. Estes pigmentos passam do estado basal para o estado excitado.

A emissão da fluorescência mostra o nível da energia de excitação nos complexos pigmentos/proteínas, energia esta que controla a fotossíntese (SCHOLLES e HORTON, 1993). Por meio da fluorescência, é possível obter informações detalhadas sobre a estrutura, a distribuição de energia e função do aparato fotossintético, em especial o PSII (STRASSER et al., 2000). Por ser precisa, rápida, não-destrutiva e, ainda, podendo ser utilizada em condições de campo, é uma técnica que permite efetuar o diagnóstico da distribuição da energia no PSII, antes mesmo que os sintomas do dano neste fotossistema sejam externados (BOLHAR-NORDENKAMPF et al., 1989).

Como a fluorescência pode mostrar a estrutura e funcionamento do PSII (STRASSER et al., 2000) e este fotossistema está inserido nas membranas dos tilacóides, uma desestruturação de tais membranas poderá comprometer sensivelmente a emissão da fluorescência. Segundo OLIVEIRA (2005), uma alta fonte de irradiância sobre o tecido fotossintetizante pode conduzir para uma série de reações de estresse, conhecidas como fotoinibição, as quais provocam uma diminuição circunstancial na eficiência de liberação fotossintética do O₂ e induz as alterações nas reações fotoquímicas associadas à clorofila a.

Outro parâmetro da cinética de fluorescência é a eficiência quântica efetiva do fotossistema II ($\Phi_{PS II}$) que indica qual a proporção de luz que foi absorvida pelas clorofilas associadas ao fotossistema II utilizada na fotoquímica, como tal, informa a quantidade de elétrons transportado sendo um indicativo da intensidade de fotossíntese (BAKER & ROSENQVIST, 2004).

A intensidade da fotoinibição pode ser avaliada pela redução na eficiência quântica do fotossistema II (relação Fv/Fm). Comumente, esta característica da fluorescência é usada como indicador de estresse, quando fatores bióticos ou abióticos alteram a funcionalidade do fotossistema II (DIAS & MARENCO, 2007).

2.6. Interferência dos fatores abióticos nas trocas gasosas

Fatores ambientais, tais como intensidade e qualidade de luz, temperatura, umidade relativa e concentração intracelular de CO₂, são percebidos pelas células-

guarda e esses sinais são integrados em respostas estomáticas bem definidas (TAIZ & ZEIGER, 2006).

A condutância estomática é um dos principais fatores que regulam o processo fotossintético nas plantas (PIMENTEL, 2004). Na maioria das vezes os estômatos fecham em resposta a seca antes mesmo de qualquer alteração no potencial hídrico ou no conteúdo de água nas folhas, podendo fechar também com o aumento do déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar aumenta (SOCIAS, et al., 1997). A transpiração é proporcional ao déficit de pressão de vapor de água na atmosfera. O controle da transpiração é feito pelo fechamento estomático, que é o único processo contínuo solo-planta-atmosfera que possui essa resposta instantânea (PIMENTEL, 1998). A transpiração é o principal mecanismo envolvido na regulação da temperatura foliar e que quanto menor a abertura estomática menor será também a taxa transpiratória, ocasionando um aumento da temperatura do tecido foliar (MACHADO et al., 2005).

Fatores externos influenciam a transpiração na medida em que alteram a diferença de pressão de vapor entre a superfície da planta e o ar que a envolve. Portanto, a transpiração aumenta com diminuição da umidade relativa e aumento da temperatura do ar (LARCHER, 2004). Segundo o mesmo autor, quando os estômatos estão totalmente abertos, a absorção de CO₂ é mais limitada pela resistência de transferência do que a perda de água por transpiração.

O déficit de pressão de vapor também induz o fechamento estomático que é mais frequente sob níveis saturantes de energia solar. Além disso, há diferenças de resposta caso a folha seja de sol ou de sombra e entre estômatos das superfícies abaxial e adaxial. O estômato responde, também, ao vento, em parte devido aos efeitos sobre a condutância da camada limítrofe da folha e a consequente variação da transpiração e do balanço hídrico da folha (ANGELOCI, 2002). Além da umidade do ar os estômatos são influenciados pela radiação solar e pela concentração de CO₂ do ar e da câmara sub-estomática (MACHADO et al., 2005). Ao meio dia, devido as fortes irradiâncias, ao intenso calor e a alta capacidade evaporativa do ar, os estômatos tendem a se fechar, a concentração intracelular de CO₂ (C_i) aumenta e a eficiência fotoquímica do fotossistema II diminui. Ao entardecer a temperatura diminui e as taxas fotossintéticas devem se elevar (LARCHER, 2004).

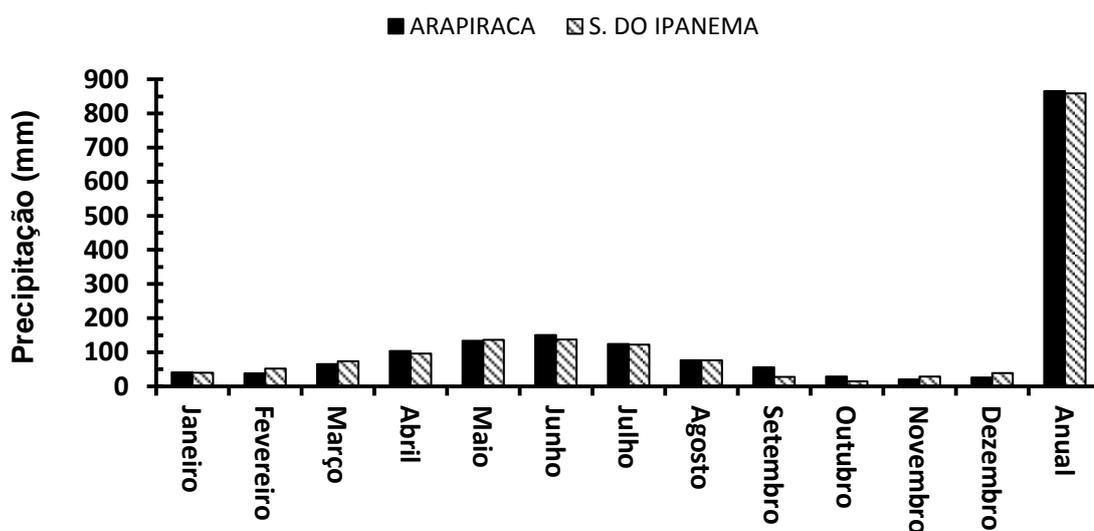
3. Material e Métodos

3.1. Local do Experimento

O experimento foi conduzido em condições de campo em duas regiões distintas do Estado de Alagoas. Foram utilizados os campos experimentais da SEAGRI (Secretaria de Agricultura do Estado de Alagoas) localizado no município de Santana do Ipanema, Sertão, nas coordenadas geográficas 09^o 24' S e 37^o 13' W, altitude 280 m e o campo experimental da Mineradora Vale Verde, localizado no município de Craíbas, Agreste, situado nas coordenadas geográficas 09^o 32' S e 36^o 37' W, altitude de 260 m.

O município de Santana do Ipanema esta localizado numa região semiárida, com uma média histórica de precipitação pluvial de 858,9 mm, às quais ocorrem durante no máximo cinco meses, dando vazão a estiagens que duram às vezes mais de dez meses. A região de Craíbas possui um clima tropical semiárido e se caracteriza por ter uma estação chuvosa bem definida nos meses de abril a julho e um período seco que vai de agosto a março, com uma pluviosidade média anual de 865,9 mm. (Figura 1).

Figura 1: Médias históricas da precipitação pluvial mensal em mm nos municípios de Santana do Ipanema nos anos de 1912 a 1985 e Arapiraca (agreste) nos anos de 1971 a 2005.



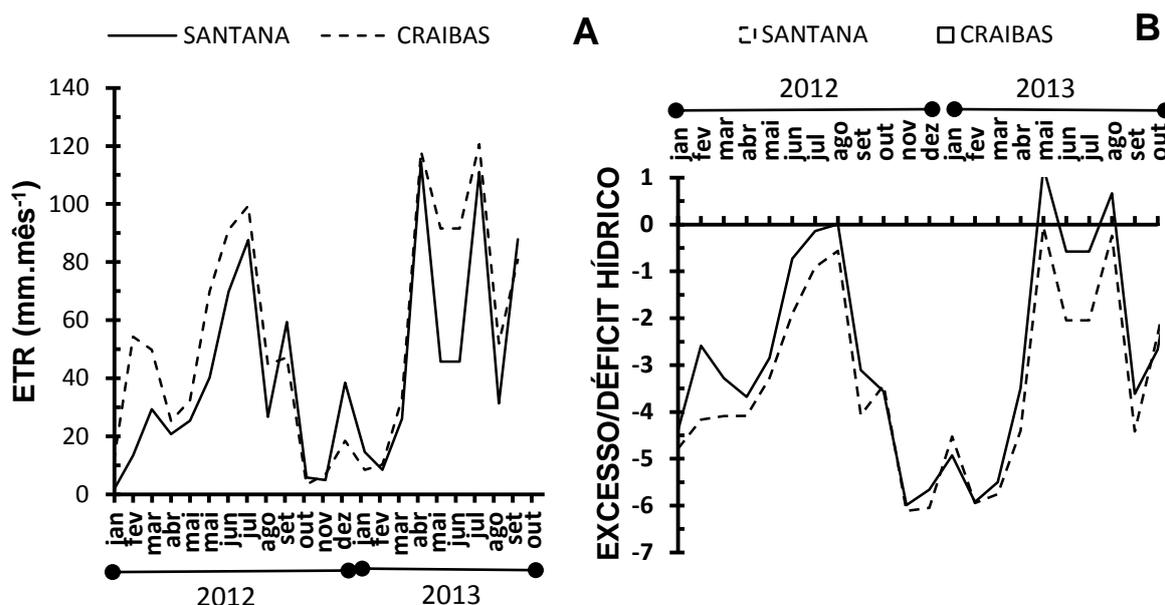
Fonte: SUDENE e SEAP/AL.

Os dados referentes à temperatura, precipitação pluvial e umidade relativa do ar durante o experimento foram coletadas através do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2014), que possui uma estação convencional no município de Pão de Açúcar – AL distante 47,1 km de Santana do Ipanema e outra em Palmeira dos Índios distante 37,6 km de Craíbas. No dia das análises fisiológicas foi utilizada uma estação meteorológica automática modelo WS - GP1 (DELTA-T Devices, Cambridge - England), instalada na área do experimento, fazendo leituras da temperatura e da umidade relativa a cada 5 minutos e da radiação solar a cada 10 segundos e registrando a média das leituras a cada 15 minutos.

O déficit de pressão de vapor ($DPV_{(folha-ar)}$) ao longo do dia foi obtido calculando-se a diferença entre as pressões de saturação (e_s) e real (e) do ar, utilizando-se medidas de temperatura da folha (T_f), e umidade relativa do ar na câmara (UR). Segundo a fórmula.

$$DPV_{(folha-ar)} = e_s - e = \left[0,6108 \exp\left(\frac{17,27.T}{237,3 + T}\right) \right] - \left(\frac{es - UR}{100}\right)$$

Figura 2: Evapotranspiração Real (A), Excesso ou déficit hídrico no solo (B), Precipitação pluvial mensal (C) dos meses de jan de 2012 até out de 2013 nos municípios de Santana do Ipanema e Craíbas.



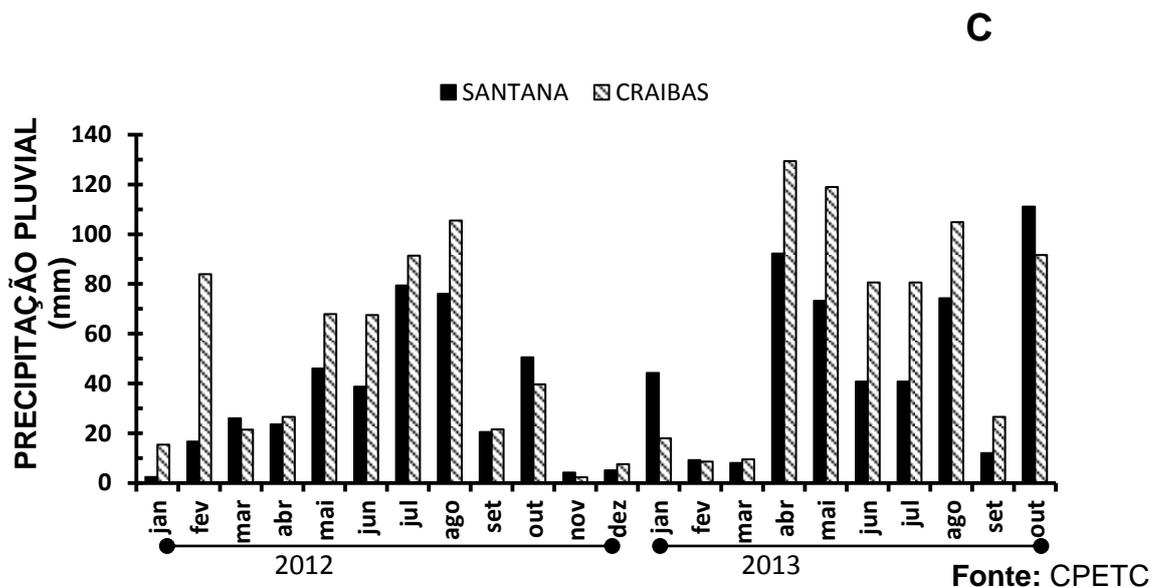
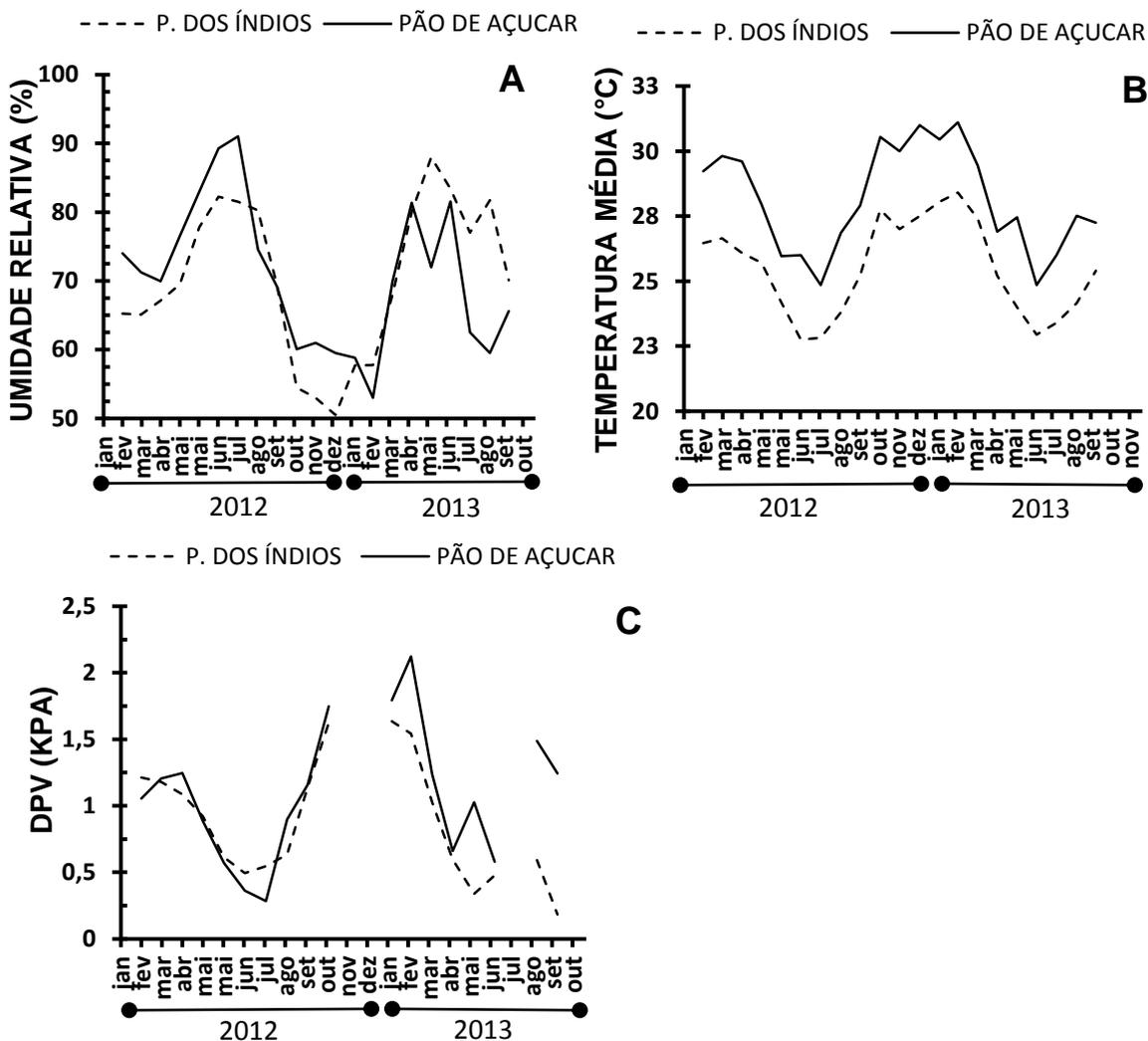


Figura 3: Média mensal da umidade relativa do ar (A), Média mensal da temperatura (B) e Déficit de Pressão de Vapor (C) dos meses de jan de 2012 até out de 2013 nos municípios de Santana do Ipanema e Craibas.



3.1.1. Montagem do Campo Experimental

O preparo da área foi realizada uma aplicação de glifosato para eliminação das plantas daninhas e quinze dias após a aplicação realizou-se o plantio. A semeadura ocorreu no início do período chuvoso no mês de julho de 2011 em sistema de plantio direto em espaçamento 5 x 3. Foram semeadas cinco sementes por cova e posteriormente feito o desbaste deixando apenas uma planta por cova, totalizando 368 plantas no cultivo de Santana do Ipanema e 336 plantas no cultivo de Craíbas. Durante a semeadura foi realizado uma adubação de fundação com 150g por planta de NPK na formulação 10-10-10.

Devido à estiagem prolongada no primeiro ano as plantas localizadas no município de Santana do Ipanema foram submetidas a uma irrigação de salvação, fornecendo-se dois litros.H₂O.plantas⁻¹ duas vezes na semana. Os tratos culturais consistiram no coroamento das plantas sempre que necessário. As medições de trocas gasosas, eficiência fotoquímica e índice SPAD foram realizadas 545 dias após o plantio.

O experimento consistiu de duas avaliações no cultivo de Santana do Ipanema, a primeira avaliação foi realizada na época de maior precipitação pluvial no dia 07 de setembro de 2012 e a segunda na época de menor precipitação pluvial no dia 09 de dezembro de 2012. Não foi possível realizar as medições no cultivo de Craíbas, pois as plantas não apresentavam folhas na época das análises.

Os parâmetros morfológicos avaliados foram índice de mortalidade das plântulas e a fenologia.

Os parâmetros fisiológicos avaliados foram trocas gasosas, eficiência fotoquímica do fotossistema II e índice SPAD.

3.2. Parâmetros Morfológicos

3.2.1. Pegamento das plantas de Pinhão-manso

Após a instalação do cultivo foi realizado mais um replantio no município de Santana do Ipanema e um no município de Craíbas. O replantio em Santana do Ipanema foi realizado no dia 01 de junho de 2012 utilizando mudas com três meses de idade produzidas no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas para isso, foi aplicado em torno de 150 g de ureia no fundo da cova. Em Craíbas o replantio foi realizado no dia 04 de julho de 2012 através de sementes, semeando-se cinco sementes por cova. Avaliou-se o percentual de mortes das plantas a cada novo replantio com o intuito de se verificar a viabilidade da implantação de um cultivo de pinhão-manso em condições de sequeiro no semiárido alagoano utilizando o sistema de plantio direto.

3.2.2. Fenologia

No período de março de 2012 até junho de 2013 foi avaliado, em cada local, o desenvolvimento das plantas, para isso foram marcadas 20 plantas e mensurado os seguintes parâmetros: diâmetro do caule e altura da planta. Para determinação do diâmetro do caule foi utilizado um paquímetro medindo-se a base da planta aproximadamente a 15 cm de altura do chão. Para a determinação da altura da planta foi utilizado uma trena medindo do chão até o meristema apical.

3.3. Determinação da Umidade e Potencial Hídrico do Solo

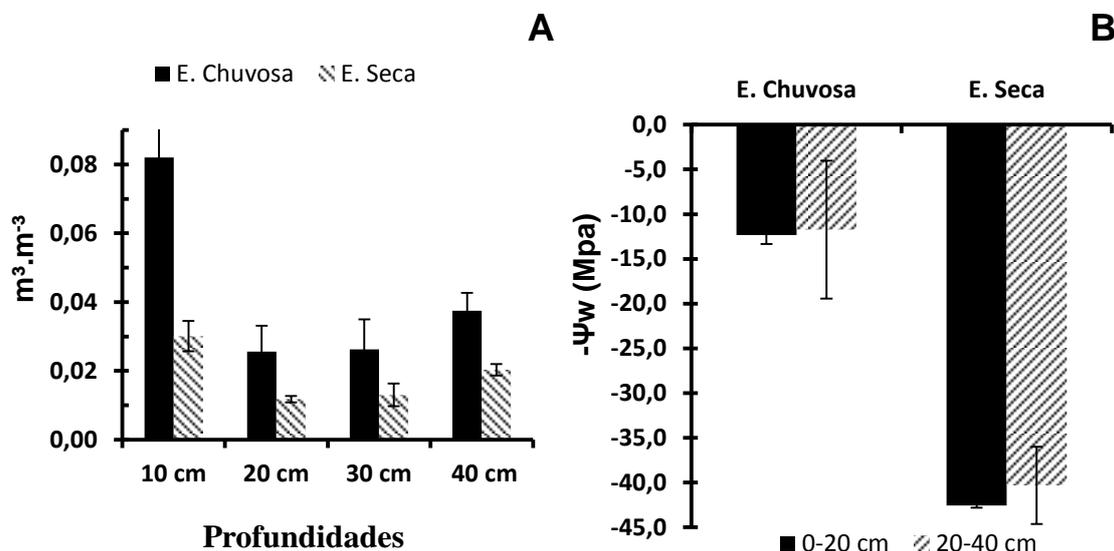
No dia das análises fisiológicas foi determinado a umidade do solo, para isso, utilizou-se uma sonda multisensor de capacitância do tipo PR2/4, da Delta-T Devices Ltd. que mede a umidade em quatro profundidades 10, 20, 30 e 40 cm. Para fazer as leituras foram instalados três tubos de acesso próprio do equipamento de forma aleatória na área, foram realizadas três leituras por tubo. Foi utilizado um equipamento portátil acoplado a sonda, denominado HH2 que mostra e registra os

resultados das medições em teor de umidade em base volumétrica (m^3m^3). (Figura 4).

O potencial hídrico do solo foi quantificado com o equipamento WP4 (Dewpoint Potential Meter) que mede a tensão da água em (Mpa). Para isso, foram coletadas amostras de aproximadamente 5g nas profundidades de 0–20 e 20–40 cm perfazendo-se três repetições para cada amostra. Desta forma foi possível observar o potencial hídrico do solo no dia das análises fisiológicas durante o período de seca e de chuva. (Figura 4).

Figura 4: Umidade do solo (A) e Potencial hídrico do solo (B) no cultivo de Santana do Ipanema no dia das análises fisiológicas na época Chuvosa e Seca.

1



Fonte: Autor

3.4. Parâmetros Fisiológicos

As avaliações fisiológicas foram realizadas em 10 plantas escolhidas aleatoriamente, utilizando preferencialmente a primeira folha totalmente expandida e em boas condições fitossanitárias a partir do ápice, medindo-se uma folha por planta. Essas avaliações foram realizadas aproximadamente nos seguintes horários: 05:00, 07:00, 09:00, 11:00, 13:00, 15:00.

As avaliações diárias foram registradas em duas datas distintas sendo uma na estação de maior precipitação pluvial no dia 07 de setembro de 2012 e a outra na

estação de baixa precipitação pluvial no dia 09 de dezembro de 2012, no município de Santana do Ipanema.

3.4.1. Medidas de Trocas Gasosas

As medições de trocas gasosas foram realizadas utilizando-se um analisador portátil de CO₂ a infravermelho (IRGA), da LI-COR[®], modelo LI-6400XT com fonte de luz de 1200 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. As variáveis analisadas foram: taxa fotossintética (A), transpiração (E), condutância estomática (gs) e concentração de CO₂ intracelular (Ci). Através dos valores de A, E e Ci, foi calculado a eficiência do uso da água (A/E), e a eficiência de carboxilação (A/Ci).

3.4.2. Eficiência Fotoquímica

Foi avaliada a eficiência fotoquímica ao longo do dia nas plântulas de pinhão-manso. Para isso, foi utilizado um medidor de fluorescência modulada PAM-2500 que emprega a medição de luz por modulação em amplitude de pulso (PAM – Pulse Amplitude Modulation) para promover o fechamento dos centros de reações do PSII, de acordo com o método descrito por MAXWELL & JONHNSON (2000). Os parâmetros analisados foram: eficiência quântica máxima do fotossistema II (Fv/Fm) e eficiência quântica efetiva do FSII (YELD).

A eficiência quântica máxima (Fv/Fm) foi determinada após adaptar as folhas ao escuro, por aproximadamente 20 minutos por meio de pinças foliares.

Para quantificação da eficiência quântica efetiva do FSII ($\Phi\text{PS II}$) foi utilizada uma haste de medida (leaf clip holder) que permitia a fixação do ângulo e distância entre a fibra óptica e o tecido foliar.

As avaliações foram realizadas na mesma folha que foi utilizada para as medidas de trocas gasosas, realizando-se duas medições por folha.

3.4.3. Índice SPAD

A medida indireta da clorofila (leitura SPAD) foi realizada na primeira folha expandida e em boas condições fitossanitárias a partir do ápice. Foram

analisadas 10 plantas em cada época de avaliação, através do método não destrutivo, o clorofilômetro, SPAD-502 (Minolta, Japan), sendo a média obtida de cinco leituras aleatórias na folha.

3.5. Análises Estatísticas

As médias foram comparadas pelo teste t a 5% de probabilidade.

4. Resultados & Discussão

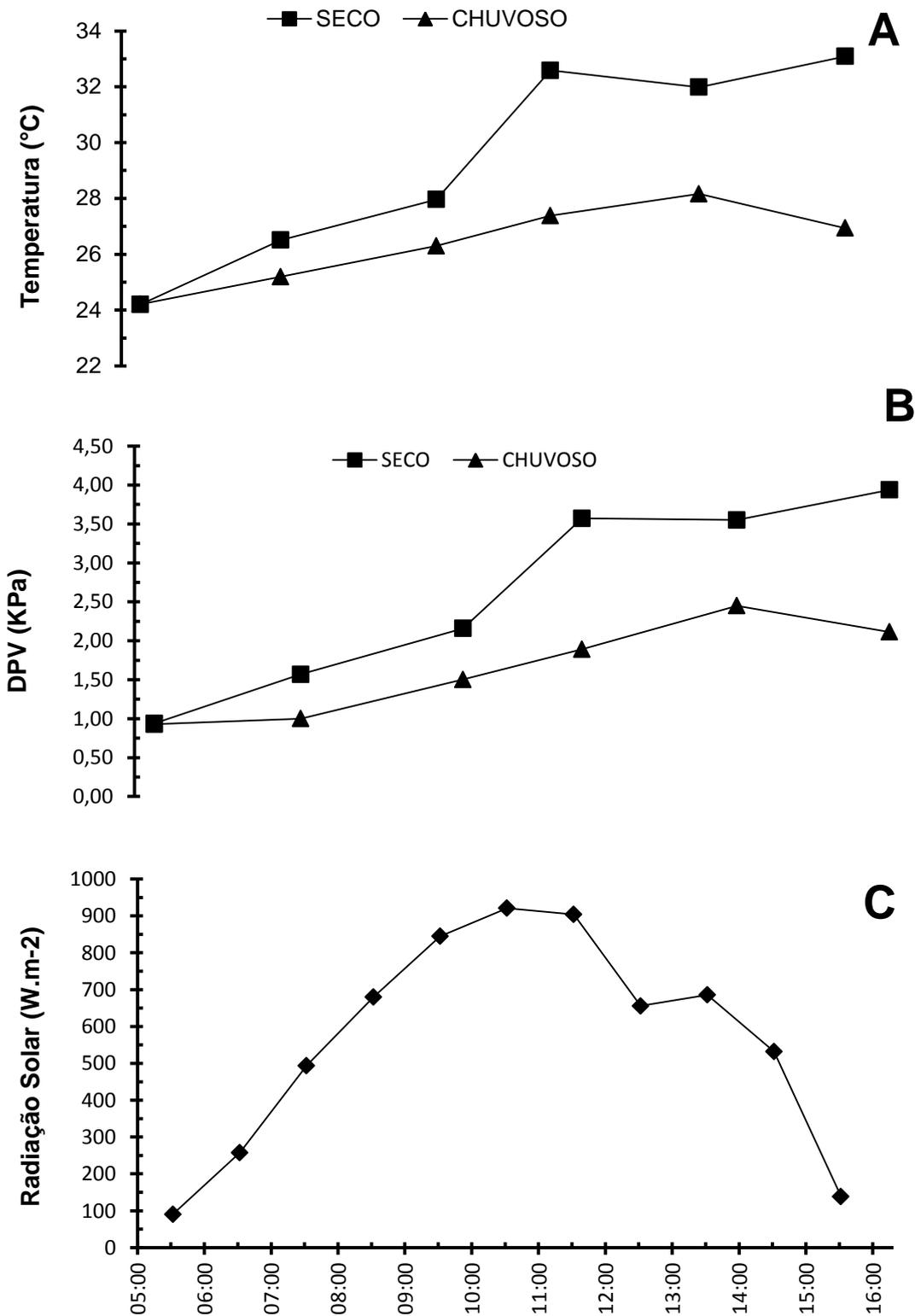
4.1. Caracterização Climatológica

Pode-se verificar que o local onde foi conduzido o experimento, na região do município de Santana do Ipanema (semiárido), apresentou uma grande diferença nas condições climáticas entre as épocas das análises. Na época chuvosa, a temperatura máxima foi de 28,16°C e mínima de 24,21°C uma variação de aproximadamente 4°C ao longo do dia, enquanto que na época seca, a máxima foi de 33,08°C e mínima de 24,20°C variando aproximadamente 9°C. Essa variação pode ter influenciado a fotossíntese já que o aumento da temperatura irá aumentar o $DPV_{\text{folha-ar}}$ e este por sua vez vai influenciar na redução da condutância estomática diminuindo assim a saída de vapor de água (transpiração) e a entrada de CO_2 para a fotossíntese. (Figura 5).

Com relação à radiação não foi observado grandes diferenças entre as épocas analisadas sendo a época seca a que apresentou a maior radiação ao longo do dia, chegando ao valor máximo de 160,06 $W.m^{-1}$ às 11:00 horas e mínimo de 159,97 $W.m^{-1}$ às 15:00 horas

Em ambas as épocas ocorreram menor volume de chuva e baixo armazenamento de água no solo quando comparados com a média histórica da região. Em 2012 o acumulado de chuvas foi de 485,6 mm na região de Craíbas e de 248,62 mm na região de Santana do Ipanema. Enquanto que em 2013 o acumulado de chuvas foi de 661,0 mm na região de Craíbas e 379,68 mm na região de Santana do Ipanema.

Figura 5: Variação diurna da Temperatura (A) e Déficit de Pressão de vapor (B) em setembro de 2012 (época Chuvosa) e dezembro de 2012 (época seca) no município de Santana do Ipanema, dados obtido através do IRGA. Radiação Solar (C) em dezembro de 2012 (época seca) no município de Santana do Ipanema, dados obtidos através da estação meteorológica.



Fonte: Autor

4.2. Parâmetros Morfológicos Viabilidade do Cultivo

4.2.1. Análise de Crescimento

As plantas de pinhão manso atingiram 73,3 cm de altura e 40,7 mm de diâmetro do caule no cultivo de Santana do Ipanema e de 73,3 cm de altura e 38,2 mm de diâmetro do caule aos 14 meses de idade. SANTOS (2008) estudando o crescimento do pinhão-manso na região da zona da mata de Alagoas observou que a espécie apresentou 30 cm de altura e 23 mm de diâmetro do caule. (figura 6 e 7)

RATREE (2004), estudando o crescimento do pinhão-manso, constatou que as plântulas de pinhão-manso apresentaram altura média entre 83 a 110 cm com 14 meses de idade.

Segundo ARRUDA et al. (2004), o pinhão-manso apresenta crescimento rápido, chegando a altura de dois a três metros quando adultas e podendo alcançar até cinco metros em condições especiais e apresenta diâmetro do tronco de aproximadamente 20 cm.

A espécie apresentou entre os meses de março de 2012 a junho de 2013 uma taxa de crescimento médio de $1,65 \text{ cm.mês}^{-1}$ em Craíbas e uma taxa maior em Santana do Ipanema de $3,6 \text{ cm.mês}^{-1}$. Pode-se notar que esses períodos de crescimento lento coincidiram com a época de menor precipitação pluvial. A sua maior aceleração no crescimento vegetativo ocorreu durante a estação chuvosa (Figura 6) entre março e julho de 2012 no cultivo de Santana do Ipanema e no período de abril a junho de 2013 no cultivo de Craíbas (Figura 6). O diâmetro do caule apresentou crescimento médio entre os meses de março de 2012 a junho de 2013 de $1,25 \text{ mm.mês}^{-1}$ no cultivo de Craíbas e de $3,06 \text{ mm.mês}^{-1}$ no cultivo de Santana do Ipanema no mesmo período. (Figura 7). De acordo SANTOS e CARTESSO (1998) a diminuição do teor de água no solo afeta acentuadamente a morfologia da planta.

Efeitos negativos no desenvolvimento da altura e do diâmetro da planta em condições de estresse hídrico ocorrem devido a um declínio no crescimento celular (JALEEL et al., 2009). Efeito este encontrado também por ACHTEN et al. (2010) em plantas de pinhão-manso que apresentaram reduções na altura de 90 cm para 50 cm.

De acordo com SATURNINO et al. (2005) conforme a região, o desenvolvimento inicial das mudas de pinhão-manso pode ser influenciado pela época de chuvas, ventos dominantes e outras ocorrências climáticas típicas de cada local.

Figura 6: Altura das plantas de pinhão manso nos cultivos de Santana do Ipanema e Craibas de março de 2012 a junho de 2013. As médias dos horários foram comparadas pelo teste t. Médias sobrescritas de ** Probabilidade ($p < 0,01$), * Probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$) e ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$).

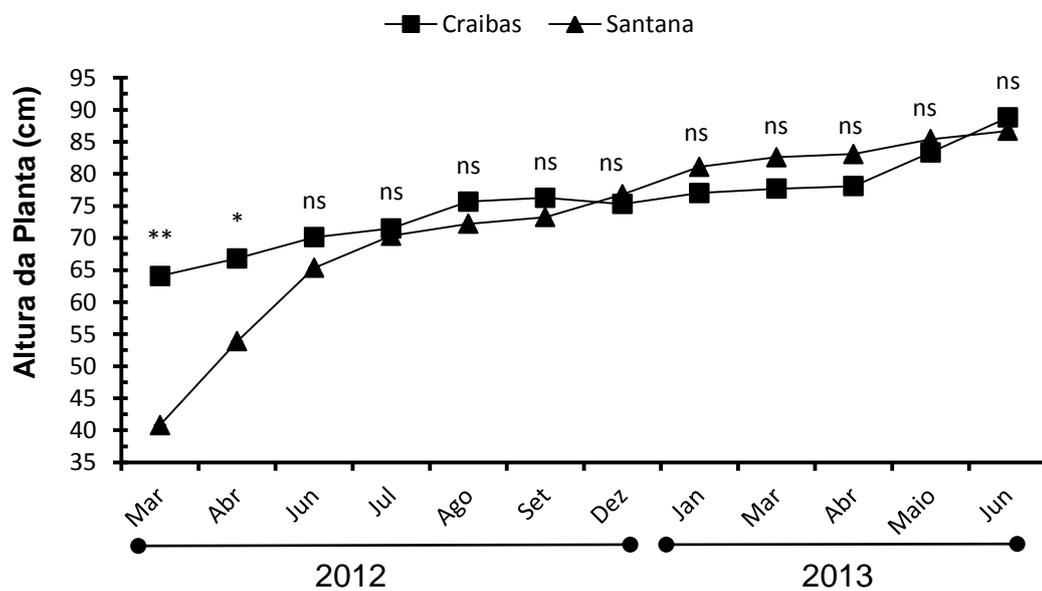
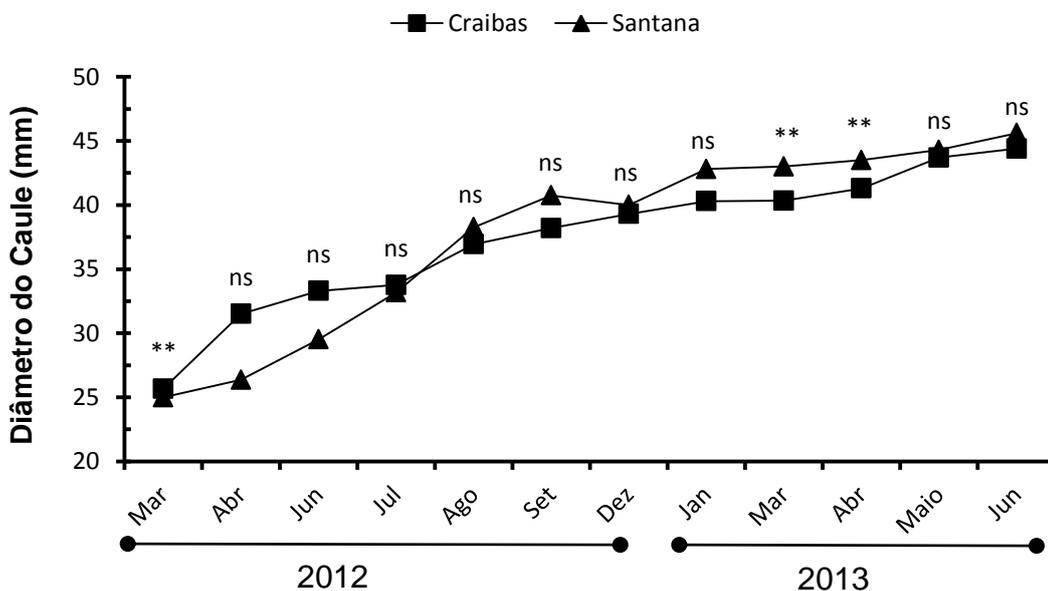


Figura 7: Diâmetro das plantas de pinhão manso nos cultivos de Santana do Ipanema e Craibas de março de 2012 a junho de 2013.



4.2.2. Viabilidade do Cultivo

As plantas de pinhão-mansão tiveram uma alta taxa de mortalidade nas duas regiões. Em Santana do Ipanema do total de 368 plantas semeadas em 16 de julho de 2011, 247 morreram no primeiro ano, um índice de 67,12% de mortalidade. Em 01 de junho de 2012 foi realizado um replantio com 223 mudas de aproximadamente três meses de idade com o intuito de reduzir essas falhas, ficando o cultivo com 321 plantas, em 18 de setembro de 2013 observou-se que 164 plantas haviam morrido um índice de mortalidade de 51,1%, ficando o cultivo com 157 plantas (Figura 8).

No cultivo de Craíbas houve a emergência de 336 plântulas em 15 de julho de 2011 e no dia 04 julho de 2012 haviam morrido 240 plantas, um percentual de 71,42%, restando apenas 96 plantas. Foi realizado um replantio através de sementes em 04 de julho de 2013 sendo que nenhuma semente chegou a germinar. Em 18 de setembro de 2013 foi realizado mais uma contagem das plantas e constatou que das 96 plantas restantes 53 haviam morrido, um índice de 55,21% de mortalidade, totalizando apenas 43 plantas no cultivo (Figura 9).

Essa alta taxa de mortalidade das plântulas ocorreu devido também à baixa precipitação pluviométrica nos dois anos (figura 2) em que a média histórica de chuvas é de 865,9 mm em Craíbas e 858,9 mm em Santana do Ipanema, e a precipitação pluviométrica observada foi de 248,6 em 2012 e 379,6 485,6 mm na região de Santana do Ipanema e 485,6 mm em 2012 e 661,0 mm em 2013 na região de Craíbas.

Figura 8: Incidência de morte das plântulas de pinhão-manso no cultivo de Santana do Ipanema no plantio em 16 de julho de 2011 e no replantio em 01 de junho de 2012.

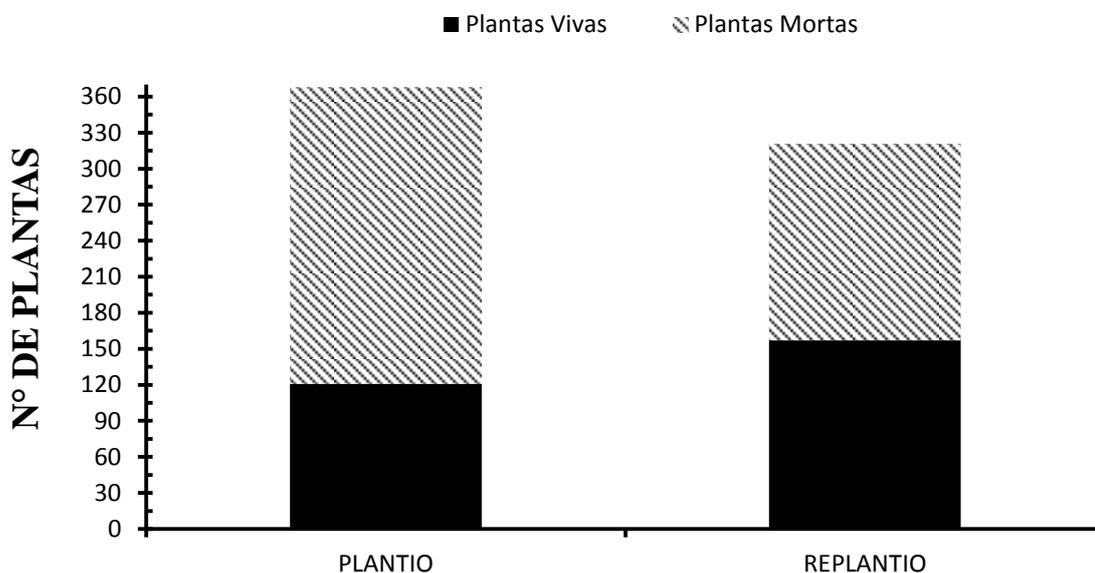
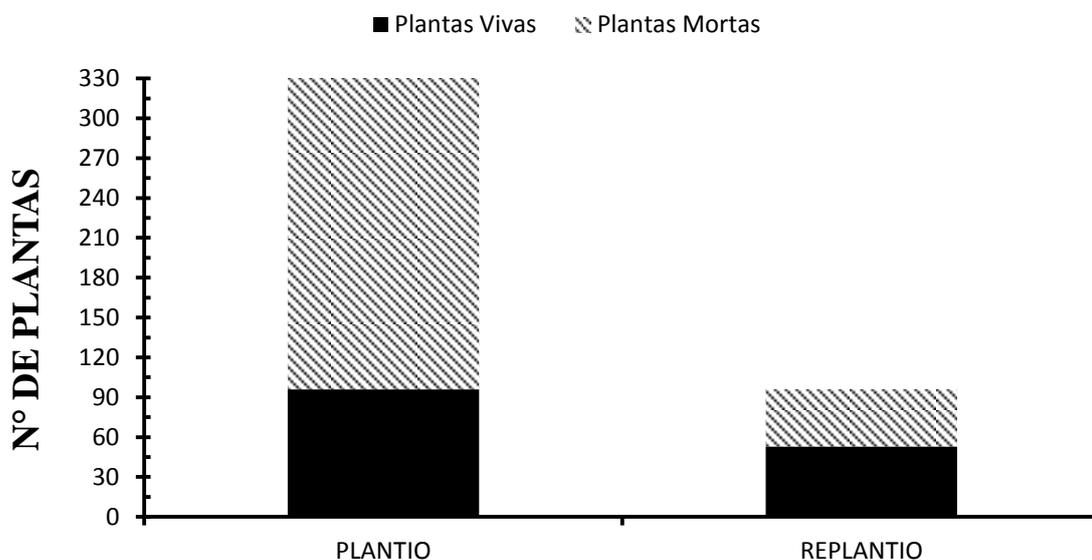


Figura 9: Incidência de morte das plântulas de pinhão-manso no cultivo de Craíbas no plantio em 15 de julho de 2011 e no replantio em 04 de julho de 2012.



4.3. Parâmetros Fisiológicos

4.3.1. Trocas Gasosas

Não houve diferença na condutância estomática entre as épocas avaliadas. A maior condutância observada foi às 05:00 hrs com valores $0,175 \text{ mol.H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ e $0,198 \text{ mol.H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ nas épocas seca e chuvosa, respectivamente. Em seguida a

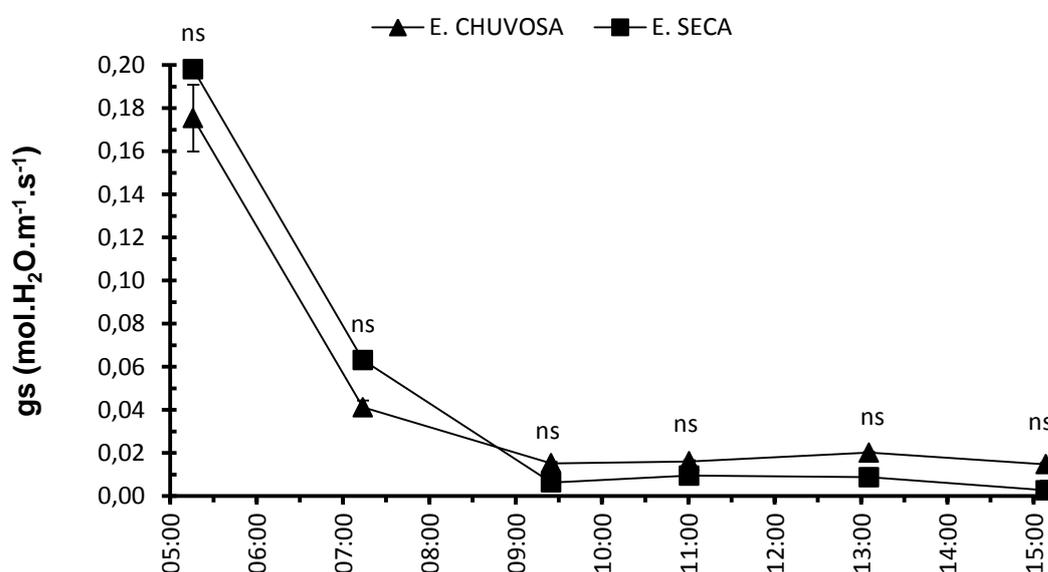
gs caiu rapidamente chegando a valores próximos a zero a partir das 09:00. (Figura 10).

Observou-se que apesar de o horário das 5:00 horas ter sido o horário com a maior condutância estomática isso não refletiu num aumento da taxa fotossintética já que, a condutância estomática influencia diretamente esta taxa.

A condutância estomática se manteve baixa ao longo do dia provavelmente influenciado pelo aumento do DPV. Foi observado uma alta correlação negativa entre a gs e o $DPV_{\text{folhar-ar}}$ ($r = -0,6941$ época seca e $r = -0,6941$ época chuvosa). (Tabela 1 e 2).

ENDRES (2007) avaliando pinheiras (*Annona squamosa* L.) observou que durante a estação seca, o aumento do déficit pressão de vapor favoreceu a redução da condutância estomática.

Figura 10: Variação diurna da condutância estomática (gs) na época chuvosa e seca em plântulas de pinhão-manso cultivadas no município de Santana do Ipanema. As médias dos horários foram comparadas pelo teste t. Médias sobrescritas de ** Probabilidade ($p < 0,01$), * Probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$) e ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$).



Em plantas de *Euterpe oleracea* submetidas a 61 dias de supressão de água a recuperação da condutância estomática só ocorreu 14 dias após a reidratação do solo (Moraes, 2000).

O gs também teve grande efeito sobre o Ci de pinhão-manso. Isso pode ser observado pela relação direta entre o fechamento dos estômatos e a redução da

concentração intercelular de CO₂, ($r = 0,9722$ na época seca e $r = 0,9704$ na época chuvosa, tabela 1 e 2), o que provoca decréscimos na assimilação do CO₂ e no rendimento quântico do fotossistema II (QUEIROZ et al., 2002). Entretanto, também tem sido relatado que sob estresse hídrico severo, além das restrições estomáticas no suprimento de CO₂, podem ocorrer limitações em componentes não estomáticos, com danos nos centros de reação do fotossistema II, os quais podem apresentar reversão parcial após reidratação (QUEIROZ et al., 2002).

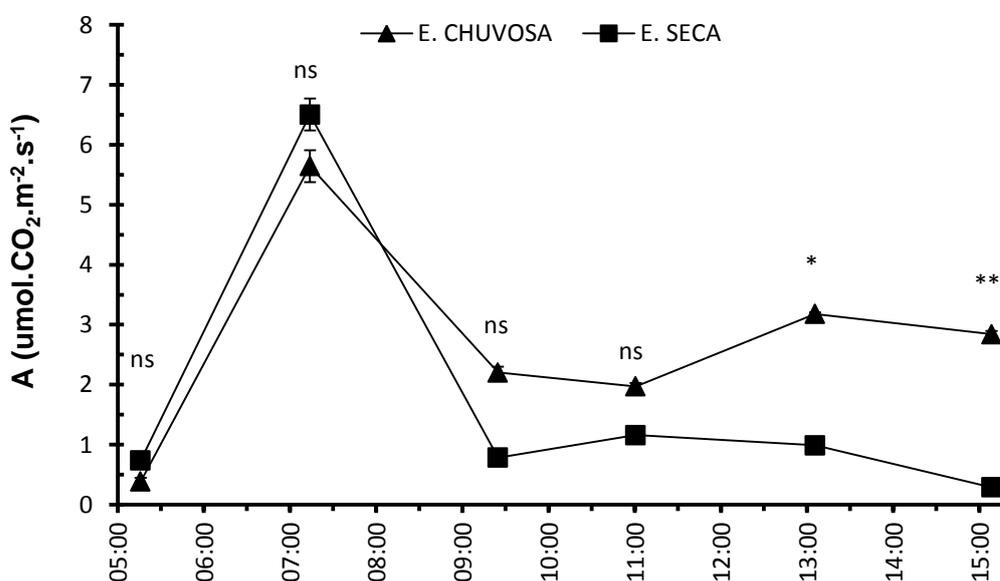
A taxa fotossintética variou de acordo com as condições climáticas do ambiente ao longo do dia. A diminuição na fotossíntese deve-se principalmente pelo aumento do DPV ($r = -0,3499$ na época seca e $r = -0,0175$ na época chuvosa) a partir das 09:00 horas o que causou uma redução na condutância estomática diminuindo a perda de água para o ambiente e mantendo a turgidez das células e por consequência a diminuição da fotossíntese. No horário das 07:00 foi constatada a maior taxa fotossintética nas duas épocas, diminuindo em seguida. Somente na época úmida pode se observar uma recuperação da fotossíntese ao entardecer. (Figura 11).

Pode-se constatar que tanto para a época seca como para a chuvosa as plântulas de pinhão-mansinho apresentaram uma taxa fotossintética extremamente baixa ao longo do dia, isso influenciado principalmente pelo elevado déficit de pressão de vapor (DPV) que apresentou uma correlação negativa para as duas épocas ($r = -0,3499$ época seca e $r = -0,0175$ época chuvosa, tabela 1 e 2). O elevado déficit de pressão de vapor e a baixa disponibilidade hídrica fizeram com que ocorresse redução na condutância estomática e por consequência diminuição nas trocas gasosas entre a folha e o ar. SANTOS (2008) estudando plantas de pinhão-mansinho em Igaci, região semiárida de Alagoas, nos meses de setembro e dezembro de 2007 observou valores maiores de A do que os encontrados neste trabalho.

Em condições de déficit hídrico as plantas normalmente apresentam um decréscimo paralelo de A e g_s (NI e PALLARDY, 1992). Um rápido fechamento estomático pode estar associado a uma rápida adaptação das plantas ao estresse hídrico (MENCUCCINI et al., 2000). No pinhão-mansinho a sensibilidade de g_s demonstrada frente ao elevado DPV e baixa hídrica no solo indicam uma forte regulação estomática permitindo à planta menor transpiração controlando a perda de água e diminuindo os possíveis danos à planta, apesar da redução da assimilação

de CO₂ (A). Sensibilidade da gs a redução da disponibilidade hídrica também foi encontrada por MAES et al. (2010) em estudo realizado com o pinhão-manso, com valores semelhantes aos encontrados no presente estudo (abaixo de 0,006 mol.H₂O.m⁻².s⁻¹) durante a época seca.

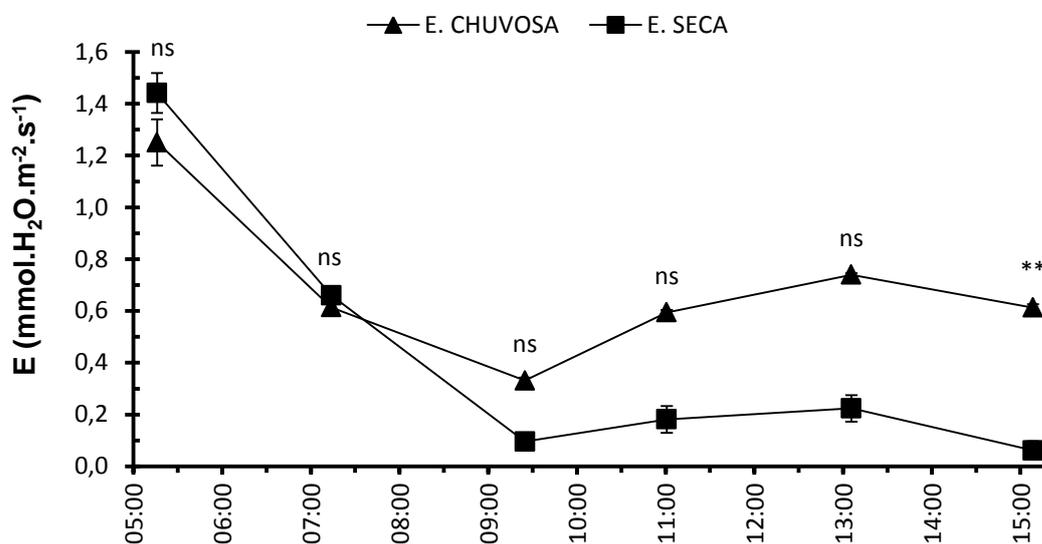
Figura 11: Variação diurna da taxa de fotossíntese (A) na época chuvosa e seca em plântulas de pinhão-manso cultivadas no município de Santana do Ipanema. As médias dos horários foram comparadas pelo teste t. Médias sobrescritas de ** Probabilidade (p < 0,01), * Probabilidade (0,01 =< p < 0,05) e ^{ns} não significativo (p >= 0,05).



WU et al. (2008) sugeriram que sob estresse hídrico, uma diminuição na taxa de fotossíntese pode estar associada à diminuição do teor de clorofilas, o que não foi observado nesse trabalho em que, na época chuvosa, as plantas apresentaram um índice SPAD médio de 43,8 enquanto que na época seca as plantas apresentaram um índice SPAD de 47,3 (Fig 18).

A transpiração (E) diferiu apenas às 15:00 horas. Como a transpiração é influenciada diretamente pelo grau de abertura estomática esta, seguiu aproximadamente as variações da condutância estomática (r= 0,9736 época seca e r= 0,8909 época chuvosa, tabela 1 e 2). O horário das 05:00 da manhã apresentou os maiores valores médios com 1,25 mmol.H₂O.m⁻².s⁻¹ na época chuvosa e 1,44 mmol.H₂O.m⁻².s⁻¹ na época seca decaindo ao longo do dia.

Figura 12: Variação diurna da transpiração (E) na época chuvosa e seca em plântulas de pinhão-mansó cultivadas no município de Santana do Ipanema. As médias dos horários foram comparadas pelo teste t. Médias sobrescritas de ** Probabilidade ($p < 0,01$), * Probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$) e ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$).



A concentração interna de CO₂ (C_i) teve uma grande variação ao longo do dia apresentando diferença entre as épocas nos horários das 07:00, 13:00 e 15:00. Notou-se um comportamento diferente entre as épocas avaliadas, enquanto que na época chuvosa houve um decréscimo na C_i ao longo do dia, na época seca ocorreu o inverso. (Figura 13).

Segundo JADOSKI et al. (2005) a concentração interna de CO₂ (C_i) no mesófilo foliar é reduzida pelo fechamento estomático, com consequente diminuição na taxa de assimilação de CO₂, o que pode decorrer da resposta aos estresses abióticos, como estresse hídrico. EL-SHARKAWY e COCK (1984), estudando plantas de mandioca sob condição de déficit hídrico, observaram alta condutância estomática e concentração interna de CO₂ também elevada em plantas não estressadas.

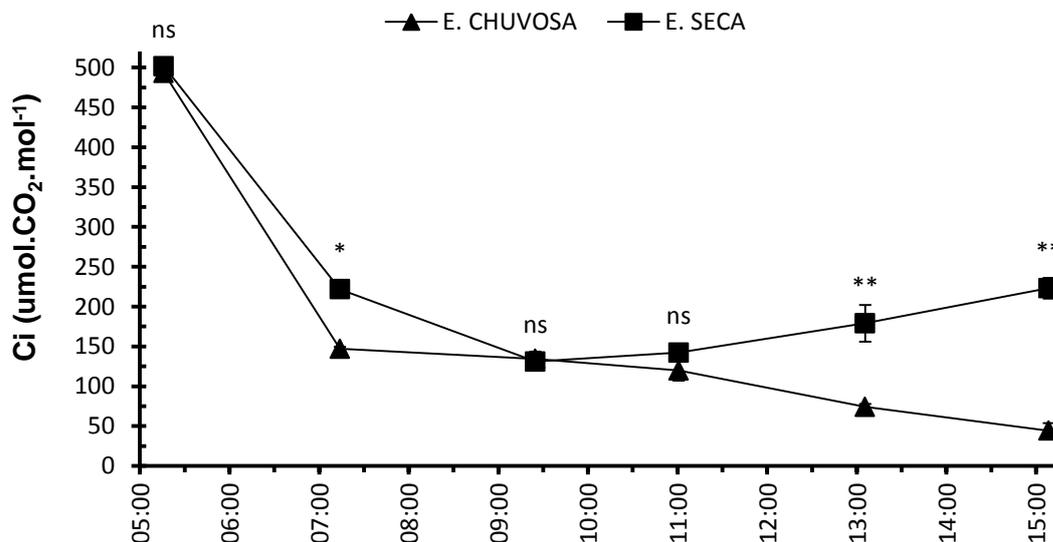
A redução da taxa de assimilação de CO₂ durante o estresse hídrico deve-se à redução da disponibilidade de CO₂ no interior da folha, causada pelo fechamento dos estômatos em resposta à redução da disponibilidade de água no solo (ROSA et al., 1991). Esse aumento da resistência à difusão gasosa e a diminuição na taxa de assimilação de CO₂ determina uma menor perda de água por transpiração, além de afetar a fotossíntese (CHAVES e OLIVEIRA, 2004).

Segundo ROUHI et al. (2007), o aumento de C_i com os estômatos fechados indica uma diminuição na eficiência de carboxilação, tal como se verificou neste trabalho na época seca. Isto significa que limitações bioquímicas prevalecem sobre as limitações estomáticas, para as condições impostas as plântulas de pinhão-mansão durante a época seca.

MACHADO et al. (1999) sugerem que o aumento de C_i , sob baixa disponibilidade hídrica, pode estar relacionado à queda na atividade de enzimas envolvidas no processo de fixação de CO_2 . Fatores não estomáticos, como redução da atividade e concentração da enzima Ribulose 1,5 bifosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco), fotoinibição, taxa de transferência de elétrons e redução da eficiência fotoquímica de FS II, em condições de estresse hídrico podem prejudicar a fotossíntese.

Por outro lado, na época chuvosa, a diminuição de C_i ao longo do dia mostra que houve limitação estomática para entrada de CO_2 na folha.

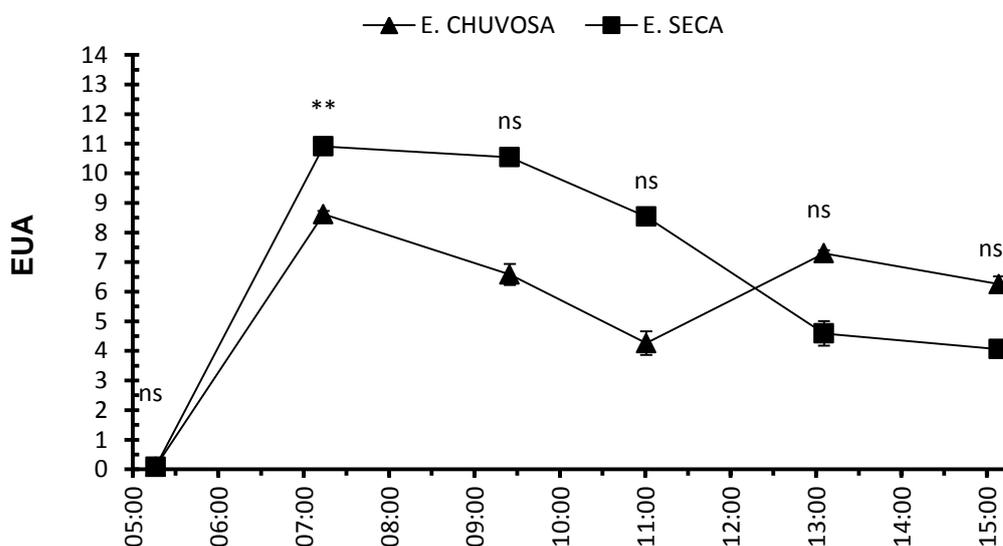
Figura 13: Variação diurna da concentração interna de CO_2 (C_i) na época chuvosa e seca em plântulas de pinhão-mansão cultivadas no município de Santana do Ipanema. As médias dos horários foram comparadas pelo teste t. Médias sobrescritas de ** Probabilidade ($p < 0,01$), * Probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$) e ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$).



A eficiência do uso da água (EUA) foi máxima em torno das 07:00 horas diminuindo em seguida nas duas épocas. A eficiência do uso da água teve uma forte correlação negativa com a condutância estomática apresentando valores de $r = -0,6734$ na época seca e de $r = -0,7488$ na época chuvosa.

No presente trabalho, apesar da assimilação de CO_2 e da condutância estomática variarem no mesmo sentido, a relação A/E aumentou com o decréscimo de condutância estomática, indicando que o fechamento dos estômatos contribuiu para otimizar a eficiência no uso da água nas plantas, como pode ser observado em *Cocos nucifera* (GOMES et al., 2002). Esse aumento na eficiência do uso da água indica que a planta utilizou com mais eficiência a água, ou seja, produziu maior quantidade de matéria seca em razão da menor disponibilidade hídrica. Resultados semelhantes foram obtidos por CALBO e MORAES (1997), em plantas de *Stryphondendron adstringens* que registraram um aumento na eficiência do uso da água, quando a condutância estomática e a transpiração foram menores. Indicando que o pinhão-manso é uma espécie bem adaptada ao déficit hídrico.

Figura 14: Variação diurna da Eficiência do Uso da Água (E/A) na época chuvosa e seca em plântulas de pinhão-manso cultivadas no município de Santana do Ipanema. As médias dos horários foram comparadas pelo teste t. Médias sobrescritas de ** Probabilidade ($p < 0,01$), * Probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$) e ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$).



A eficiência de carboxilação (A/Ci) teve comportamento diferente entre as épocas de cultivo. Na época chuvosa, o A/Ci foi máxima ao amanhecer, diminuindo nas horas mais quentes do dia e se recuperando parcialmente durante a tarde. Na época seca, a A/Ci diminuiu ao longo do dia não se recuperando à tarde (fig. 15)

O maior valor observado foi na época chuvosa às 07:00 enquanto que o menor valor observado foi na época seca às 15:00. A eficiência de carboxilação apresentou uma correlação negativa com a concentração interna de CO_2 para as

duas épocas avaliadas ($r = -0,2959$ na época seca e $r = -0,3047$ na época chuvosa, tabela 1 e 2).

Figura 15: Variação diurna da Eficiência de Carboxilação (A/Ci) na época chuvosa e seca em plântulas de pinhão-manso cultivadas no município de Santana do Ipanema. As médias dos horários foram comparadas pelo teste t. Médias sobrescritas de ** Probabilidade ($p < 0,01$), * Probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$) e ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$).

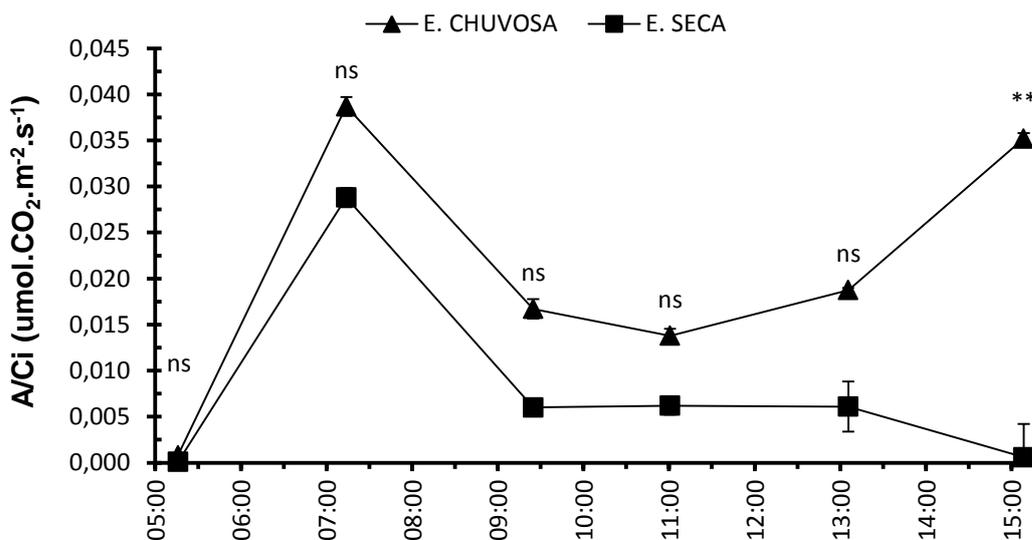


Tabela 1: Coeficientes de correlação entre as variáveis de trocas gasosas (correlações representando todos os dados), em plantas jovens de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) na época seca, em condições de campo.

Variável	A	Ci	E	EUA	A/Ci	DPV _(folha-ar)	Fv/Fm	Yield
gs	-0,1634 ^{ns}	0,9722 ^{**}	0,9736 ^{**}	-0,6734 ^{ns}	-0,3584 ^{ns}	-0,6992 ^{ns}	0,3804 ^{ns}	0,7761 ^{ns}
A	—	-0,1784 ^{ns}	0,0545 ^{ns}	0,6128 ^{ns}	0,1409 ^{ns}	-0,3499 ^{ns}	0,5321 ^{ns}	0,2317 ^{ns}
Ci		—	0,9375 ^{**}	-0,7684 ^{ns}	-0,2959 ^{ns}	-0,5915 ^{ns}	0,2142 ^{ns}	0,7355 ^{ns}
E			—	-0,5518 ^{ns}	-0,3132 ^{ns}	-0,7700 ^{ns}	0,4758 ^{ns}	0,8609 [*]
EUA				—	-0,0632 ^{ns}	-0,0089 ^{ns}	0,4363 ^{ns}	-0,3860 ^{ns}
A/Ci					—	0,4173 ^{ns}	-0,6662 ^{ns}	-0,2521 ^{ns}
DPV _(folha-ar)						—	-0,8303 [*]	-0,5281 ^{ns}
Fv/Fm							—	0,4417 ^{ns}

** Probabilidade ($p < 0,01$), * Probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$), ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$).

A – Fotossíntese, Ci – Concentração interna de CO₂, E – Transpiração, EUA – Eficiência do uso da água, A/Ci – Eficiência de Carboxilação, DPV(folha-ar) – Déficit de pressão de vapor.

Tabela 2: Coeficientes de correlação entre as variáveis de trocas gasosas (correlações representando todos os dados), em plantas jovens de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) na época chuvosa, em condições de campo.

Variável	A	Ci	E	EUA	A/Ci	DPV _(folha-ar)	Fv/Fm	Yield
gs	-0,4197 ^{ns}	0,9704 ^{**}	0,8909 [*]	-0,7488 ^{ns}	-0,1895 ^{ns}	-0,6941 ^{ns}	0,7207 ^{ns}	0,8276 [*]
A	—	-0,5814 ^{ns}	-0,4263 ^{ns}	0,8803 [*]	0,8947 [*]	-0,0175 ^{ns}	-0,0733 ^{ns}	-0,3536 ^{ns}
Ci		—	0,8232 [*]	-0,8366 [*]	-0,3047 ^{ns}	-0,6837 ^{ns}	0,6704 ^{ns}	0,8408 [*]
E			—	-0,7343 ^{ns}	-0,2698 ^{ns}	-0,3256 ^{ns}	0,4191 ^{ns}	0,5095 ^{ns}
EUA				—	0,6602 ^{ns}	0,3026 ^{ns}	-0,3802 ^{ns}	-0,6131 ^{ns}
A/Ci					—	-0,3254 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	-0,1142 ^{ns}
DPV _(folha-ar)						—	-0,8706 [*]	-0,8797 [*]
Fv/Fm							—	0,9384 ^{**}

** Probabilidade ($p < 0,01$), * Probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$), ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$).

A – Fotossíntese, Ci – Concentração interna de CO₂, E – Transpiração, EUA – Eficiência do uso da água, A/Ci – Eficiência de Carboxilação, DPV(folha-ar) – Déficit de pressão de vapor.

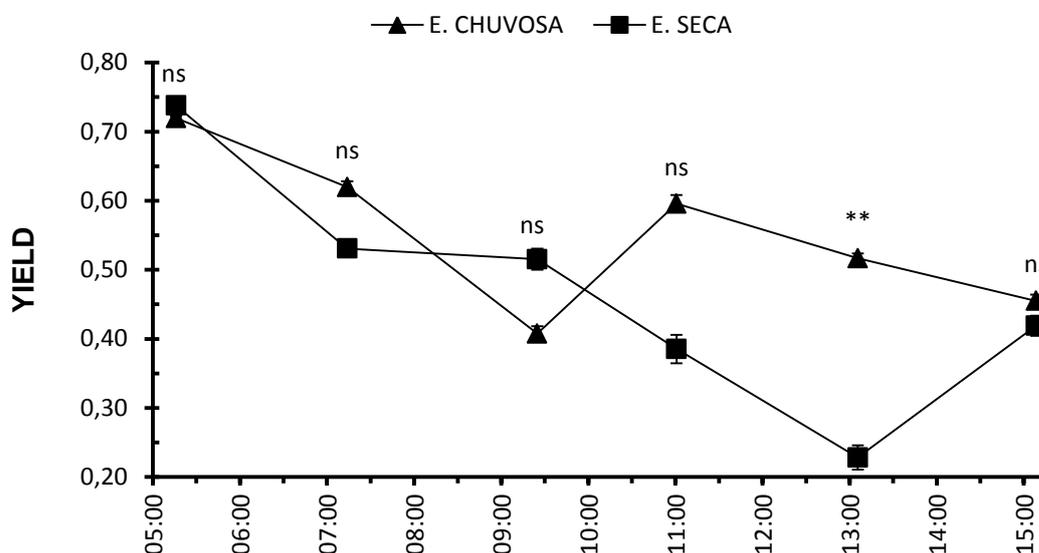
4.3.2. Eficiência Fotoquímica do Fotossistema II

A eficiência quântica efetiva ($\Phi_{PS II}$), de modo geral, diminui ao longo do dia. Quando comparado $\Phi_{PS II}$ entre as épocas, constatou-se que houve diferença apenas às 13:00 o que sugere que nesse horário houve um menor aproveitamento da energia luminosa na época seca em relação a época chuvosa. (Figura 16)

Isso provavelmente se deve principalmente pela baixa disponibilidade hídrica no solo, em combinação com altos níveis de irradiância, o que pode ter causado uma redução significativa na eficiência fotossintética nas plantas de pinhão-manso. Segundo MAXWELL e JOHNSON, (2000), reduções da eficiência quântica efetiva ($\Phi_{PS II}$) é um índice fisiológico indicado para se avaliar a eficiência in vivo do fotossistema II, indicando, nesse caso, que uma baixa proporção de energia absorvida foi utilizada nas reações fotoquímicas.

SANTOS (2008), estudando plantas de pinhão-manso nas regiões, semi-úmida e semi-árida, do estado de Alagoas, observou valores médios de 0,28 e 0,25 de Φ_{PSII} , respectivamente, mas nos períodos mais secos do ano houve redução, com valores de 0,15 e 0,11 de Φ_{PSII} , respectivamente para as duas regiões, sugerindo que nesses meses a energia luminosa foi menos aproveitada.

Figura 16: Variação diurna da Eficiência quântica efetiva do fotossistema II (Φ_{PSII}) na época chuvosa e seca em plântulas de pinhão-manso cultivadas no município de Santana do Ipanema. As médias dos horários foram comparadas pelo teste t. Médias sobrescritas de ** Probabilidade ($p < 0,01$), * Probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$) e ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$).



A eficiência quântica potencial F_v/F_m foi máxima ao amanhecer caindo em seguida até em torno das 13:00 (Figura 18). Não se notou um aumento significativo de F_v/F_m no período da tarde. Também não foi observada diferença de F_v/F_m entre as épocas. Esses valores indicam uma fotoinibição dinâmica da fotossíntese. Isso se deve pela exposição a níveis altos de excesso de luz, que danificam o sistema fotossintético e diminuem a eficiência quântica e a taxa fotossintética máxima. Segundo DEMMIG-ADAMS et al., (1996) esse decréscimo na eficiência do fotossistema II está relacionado aos danos causados pela baixa disponibilidade hídrica do solo, associado ao excesso de irradiância é denominado fotoinibição.

Via de regra, ocorre ao meio dia, certa fotoinibição dinâmica, quando as folhas estão expostas à fortes irradiâncias, acarretando, por conseguinte, redução da fixação do CO_2 .

Entretanto, uma parcela reversível relacionada à fotoinibição da fotossíntese não deverá ser vista como um dano, mas sim como um mecanismo de proteção que permite dissipar o excesso de energia termal (CAMPOSTRINI, 1997).

O pinhão-manso apresentou valores de F_v/F_m superior a 0,70 em ambas as épocas, o que indica que o aparato fotossintético das plantas não estavam sendo severamente afetadas pela seca, alta radiação e altas temperaturas.

Segundo LEMOS-FILHO, (2000) sob estresse hídrico severo, as plantas apresentam um marcante efeito fotoinibitório, caracterizado por um decréscimo significativo no rendimento quântico potencial o que não foi observado neste trabalho já que a eficiência quântica potencial não diferiu estatisticamente entre as épocas. Essas similaridades nos resultados exprimem justamente a adaptação do pinhão-manso às condições ambientais da região semiárida.

Figura 173: Variação diurna da Eficiência Quântica Máxima do fotossistema II (Fv/Fm) na época chuvosa e seca em plântulas de pinhão-manso cultivadas no município de Santana do Ipanema. As médias dos horários foram comparadas pelo teste t. Médias sobrescritas de ** Probabilidade ($p < 0,01$), * Probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$) e ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$).

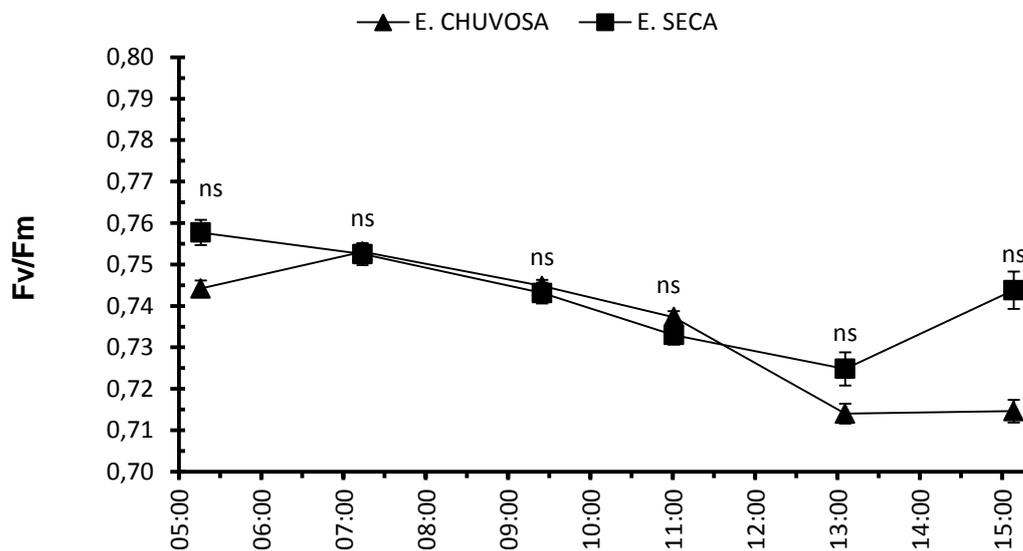
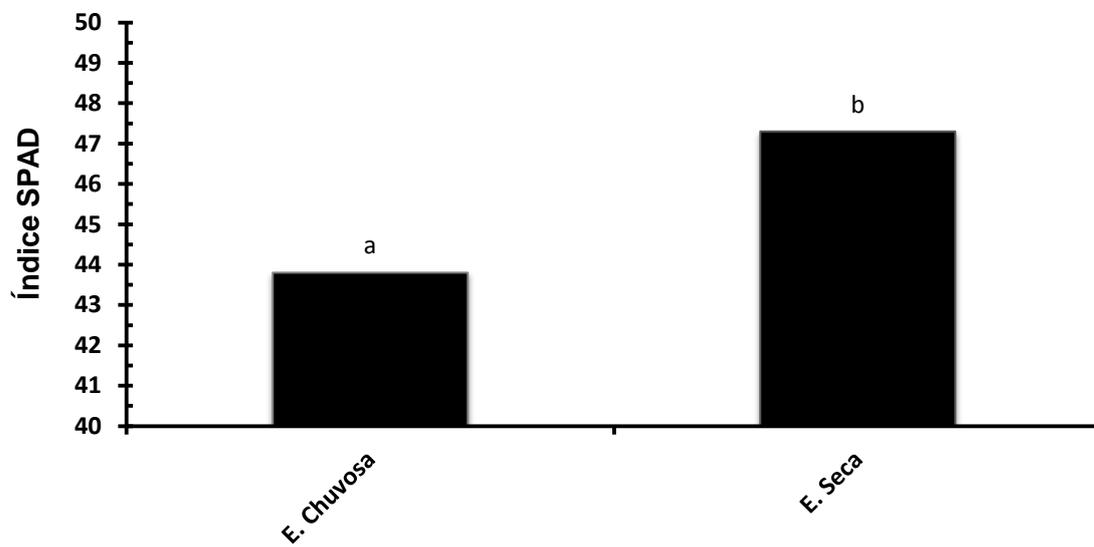


Figura 18: Índice SPAD em plântulas de pinhão-manso cultivado no município de Santana do Ipanema, AL na época chuvosa (set/12) e época seca (dez/2012). As médias foram comparadas pelo teste t. As letras indicam comparação entre as épocas pelo teste t ($P < 0,05$).



5. Conclusão

Em anos de baixa precipitação pluvial o pinhão-manso apresentou alta taxa de mortalidade após os períodos de chuvas no primeiro ano após a semeadura, não sendo viável o plantio de sementes de pinhão-manso em sistema de plantio direto em condições de sequeiro nos municípios de Craíbas e Santana do Ipanema.

As plântulas de pinhão-manso apresentaram certa adaptabilidade ao clima seco da região como, por exemplo, a redução drástica na condutância estomática nos horários com o maior $DPV_{(folha-ar)}$, conseguindo, com isso, diminuir a perda de água para a atmosfera e aumentar a eficiência do uso da água, mas, devido a condição de estresse prolongado, essas estratégias não foram suficientes para evitar a morte da maioria das plantas.

6. Referências

- ACHTEN W. M. J., MAES M. H., REUBENS B., MATHIJS, E., SINGH, V. P., VERCHOT, L., MUYS B.. Biomass production and allocation in *Jatropha curcas* L. seedlings under different levels of drought stress. *Biomass Bioenergy*, p. 1–10. 2010.
- ADAM, J. Les plantes à matiere grasse. Paris: [s.n.], v. 4, 224p. 1953.
- ANGELOCCI, L. R. Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: introdução ao tratamento biofísico. Piracicaba: ESALQ/USP, 272 p. 2010.
- ARRUDA, F. P. et al. Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o semiárido nordestino. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas*, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 789-799, 2004.
- AUGUSTUS, G. D. P. S. et al. Evaluation and bioinduction of energy components of *Jatropha curcas*. *Biomass & Bioenergy*, Silver Spring, n. 23, p. 161-164, 2002.
- BAKER, N. R.; ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*, v. 55, n. 403, p. 1607–1621, 2004.
- BARROS, G. S. C. et al. Custo de produção de biodiesel no Brasil. *Revista de Política Agrícola*, Brasília, ano 15, n. 3, p. 36-50, jul./set. 2006.
- BERGAMASCHI, H. O clima como fator determinante da fenologia das plantas. In: REGO, G. M.; NEGRELLE, R. R. B.; MORELLATO, L. C. (Org.). *Fenologia ferramenta para conservação, melhoramento e manejo de recursos vegetais arbóreos*. 1. ed. Colombo: Embrapa Florestas, p. 291-310. 2007.
- BIODIESEL, 2006. Disponível em: <<http://www.pinhaomanso.com.br/tudo-sobre-pinhao-mansojatropha-curcas.html>>. Acesso jul. 2013.

Bolhàr- Nordenkamp, H.R., Long, S.P., Baker, N.R., Öquist, G., Schreiber, U., Lechner, E.G. (1989) Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. *Functional Ecology*, 3: 497 - 514.

BRASIL. Ministério da Indústria e do Comércio. Secretária de Tecnologia Industrial. Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais. Brasília: STI/CIT, 1985. 364p. (Documentos, 16).

Calbo M.E.R., Moraes J.A.P.V.. Fotossíntese, condutância estomática, transpiração e ajustamento osmótico de plantas de buriti submetidas a estresse hídrico. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 9, 117-123. 1997.

CAMPOSTRINI, E. Fluorescência da clorofila a: considerações teóricas e aplicações práticas. 1997. Disponível em: <http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/CENTRO_pdf>. Acesso em: 20 março 2008.

CARNIELLI, F. O combustível do futuro. 2003. Disponível em: www.ufmg.br/boletim/bul1413. Acesso em outubro de 2013.

CPTEC. Centro de Previsões de tempo e Estudos Climáticos. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br>>. Acesso em: 28 de nov de 2013.

CORTESÃO, M. Culturas tropicais: plantas oleaginosas. Lisboa: Clássica, 231p. 1956.

DEMMIG-ADAMS, B., ADAMS, W. W III., 1996. Xanthophyll cycle and light stress in nature: uniform response to excess direct sunlight among higher plant species. *Planta*, 198, p. 460-470.

- DIAS, D. P.; MARENCO; R. A. Fotossíntese e fotoinibição em mogno e acariquara em função da luminosidade e temperatura foliar. Pesquisa agropecuária brasileira, v. 42, n. 3, p. 305-311, 2007.
- DRUMMOND, O. A.; PURCINO, A. A. C.; CUNHA, L. H. S.; VELOSO, J.M. Cultura do pinhão manso. EPAMIG, n. 131, 1984.
- EL-SHARKAWY, M.A.; COCK, J.H. water use efficiency of cassava. I. Effects of air humidity and water stress on stomatal conductance and gas exchange. Crop Science, v.24, p.497-509, 1984.
- EMBRAPA SEMIÁRIDO. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária do Semiárido. Pinhão-manso: pesquisa da Embrapa avalia planta para produção de biodiesel no semiárido. Disponível em <<http://www.cpatsa.embrapa.br/>>. Acesso em: 20 de nov de 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.
- EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais). Coletânea sobre pinhão-manso. 2003. Disponível em: <<http://www.epamig.br>> Acesso em: 10 de dez de 2013.
- Ferraz, D.K.; Artes, R.; Mantovani, W. & Magalhães, L.M.. Fenologia de árvores em fragmento de mata em São Paulo, SP. **Revista Brasileira de Biologia** 59(2): 1999.
- FISCH, S. T. V.; NOGUEIRA JR, L. R.; MANTOVANI, W. Fenologia reprodutiva de *Euterpe edulis* Mart. na Mata Atlântica (Reserva ecológica do Trabiçu, Pindamonhangaba–SP). Revista Biociência de Taubaté, v. 6, n. 2, p. 31-37, 2000.

- GOMES, F. P., MIELKE, M. S., ALMEIDA, A-A. F.. Leaf gas exchange of green dwarf coconut (*Cocos nucifera* L. var. *nana*) in two contrasting environments of the Brazilian north east region. *Journal Horticultural Science Biotechnology*, 77, p.766-772. 2002.
- INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. *Field Crops Research*, v. 92, p. 185-202, 2005.
- JADOSKI, S.O.; KLAR, A.E.; SALVADOR, E.D. Relações hídricas e fisiológicas em plantas de pimentão ao longo de um dia. *Ambiência*, v.1, n.1, p.11-19, 2005.
- JALEEL, C. A., MANIVANNAN, P., WAHID, A., FAROOQ, M., AL-JUBURI, H. J., SOMASUNDARAM, R., PANNEERSELVAM, R.. Drought Stress in Plants: A Review on Morphological Characteristics and Pigments Composition. *International Journal Agricultural Biology*, 11, p. 100–105. 2009.
- Krause, G.H., Weis, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. *Annual Review of Plant Physiology and Biology*, 42:313-349. 1991.
- LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*, São Carlos, SP: Rima artes, 531 p. 2004.
- LEMOS-FILHO, J. P. Fotoinibição em três espécies do cerrado (*Annona crassifolia*, *Eugenia dysentericae* *Campomanesia adamantium*) na estação seca e na chuvosa. *Revista brasileira de Botânica*, v. 23, n. 1, p. 45-50, 2000.
- MCT. Ministério de Ciência e Tecnologia. Programa Nacional de Produção e uso de Biodiesel. Disponível em < <http://www.biodiesel.gov.br>>. Acesso em: 11 de jan de 2014.
- MACHADO, E. C., MEDINA, C. L., GOMES, M. M. A.. Teor de água no substrato de crescimento e fotossíntese em laranja “Valença”. *Bragantia*, 58, p. 217-226. 1999

- MACHADO, E.C. et al. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. Pesquisa agropecuária brasileira, v. 40, n. 12, p. 1161-1170, 2005.
- MAES M.H., ACHTEN W. M. J., REUBENS B., RAES, D., SAMSON R., MUYS B.. Plant-water relationships and growth strategies of *Jatropha curcas* L. saplings under different levels of drought stress. Journal Arid Environ, 73, p. 877–884. 2009.
- MAXWELL, K.; JOHNSON, G.N. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. Journal of Experimental Botany, v. 51, p. 659-668, 2000.
- MEIRELLES, F. S. Viabilidade de utilização de óleo vegetal: biodiesel. 2003. Disponível em: <<http://www.faespsenar.com.br/faesp/economico/EstArtigos/biodiesel.pdf>>. Acesso em: out. 2013.
- MENCUCCINI M., MAMBELLI S. & COMSTOCK J.. Stomatal responsiveness to leaf water status in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is a function of time of day. Plant, Cell and Environment, 23, p. 1109–1118. 2000.
- MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, Portal do Biodiesel. Disponível em: <http://www.biodiesel.gov.br>. Acesso em: set. 2013.
- MIRAGAYA, J. C. G. Biodiesel: tendências no mundo e no Brasil. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p. 7-13, 2005.
- NI, B. PALLARDY, S. G.. Stomatal and non stomatal limitation to net photosynthesis in seedlings of woody angiosperms. Plant Physiology, 99, p. 1502-1508. 1992.
- OLIVEIRA, C.R.M. et al. Trocas gasosas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) e seringueiras (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) em diferentes sistemas de cultivo na região de lavras, MG. Revista Árvores, v. 30, n. 2, p. 197-206, 2006.

- OPENSHAW, K. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. *Biomass & Bioenergy*, Silver Spring, n. 19, p. 1-15, 2000.
- Queiroz C.G.S., Garcia Q.S., Filho J.P.L.. Atividade fotossintética e peroxidação de lípidios de membrana em plantas de aroeira-do-sertão sob estresse hídrico e após reidratação. *Braz. J. Plant Physiol.*, 14 (1), 59-63. 2002.
- PEIXOTO, A.R. Plantas oleaginosas arbóreas. São Paulo: Nobel, 284p. 1973.
- PIMENTEL, C. Relações hídricas em dois híbridos de milho sob dois ciclos de deficiência hídrica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 34, n. 11, p. 2021-2027, 1998.
- PIMENTEL, C. Respostas fisiológicas à falta d'água: limitação difusiva ou metabólica? In: NOGUEIRA, R.J.M.C.; ARAÚJO, E. DE L.; WILLADINO, L.G.; CAVALCANTE, U.M.T. (eds.). *Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas*. Recife: UFRPE, cap. 1, p. 13-21. 2004.
- PURCINO, A. A. C.; DRUMMOND, O.A. Pinhão manso. Belo Horizonte: EPAMIG, 7p. 1986.
- Ratree, S. A preliminary study on physic nut (*Jatropha curcas* L.) in Thailand. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, v.7, p.1620-1623, 2004.
- ROUHI, V., SAMSON, R., LEMEURE, R., Van DAMME, P.. Photosynthetic gas exchange characteristics in three different almond species during drought stress and subsequent recovery. *Environmental Experimental Botany*, 59, p. 117-129. 2007.
- Rosa L., Dillenburg L., Forseth I.. Responses of soybean leaf angle, photosynthesis and stomatal conductance to leaf and soil water potential. *Ann Botany*, 67, 51-58. 1991.

- SATURNINO, H. M. et al. Cultura do pinhão-mansô (Jatropha curcas L.). Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p. 44-78, 2005.
- SANTOS, R. F. e CARLESSO, R.. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2, n.3, p. 287-294. 1998.
- SANTOS, C.M. Fenologia e capacidade fotossintética do pinhão-mansô (Jatropha curcas L.) em diferentes épocas do ano no estado de Alagoas. Rio Largo-AL: UFAL, 2008. 67f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo-AL, 2008.
- SANTOS, C.M. et al. 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.
- SATURNINO, H. M. et al. Implantação de unidades de validação de tecnologia pinhão-mansô. Nova Porteirinha, 2006. 5 p. Projeto de Pesquisa, Centro Tecnológico do Norte de Minas Gerais, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Nova Porteirinha, 2006.
- Scholes, J. D., Horton, P. Photosynthesis and chlorophyll fluorescence: simultaneous measurements. In: Hendry, G.A.F., Grime, J.P. (eds), Methods in comparative plant ecology: a laboratory manual. 1. ed. London: Chapman & Hall, p. 130 – 135. 1993.
- Schreiber, U.S., Bilger W., Hormann H. Neubauer C. Chlorophyll fluorescence as a diagnostic tool: basics and some aspects of practical relevance. In: Raghavendra, A.S., Photosynthesis: a comprehensive treatise. Cambridge University , p. 320 – 336. 1998.

Strasser, R.J., Tsimilli- Michael, M., Srivastava, A.. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. In: Yunus, M., Pather, U., Mohanly P. (eds.). Probing Photosynthesis: Mechanisms, Regulation and Adaptation. Taylor and Francis, London, p 445-483. 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. Porto Alegre: Artmed, 719 p. 2004.

TEIXEIRA, L. C. Potencialidades de oleaginosas para produção de biodiesel. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p. 18-27, 2005.

Wu F.Z., Bao W.K., Li F.L., Wu N.. Effects of water stress and nitrogen supply on leaf gas exchange and fluorescence parameters of *Sophora davidii* seedlings. *Photosynthetica*, 46 (1), 40-48. 2008.

Apêndice

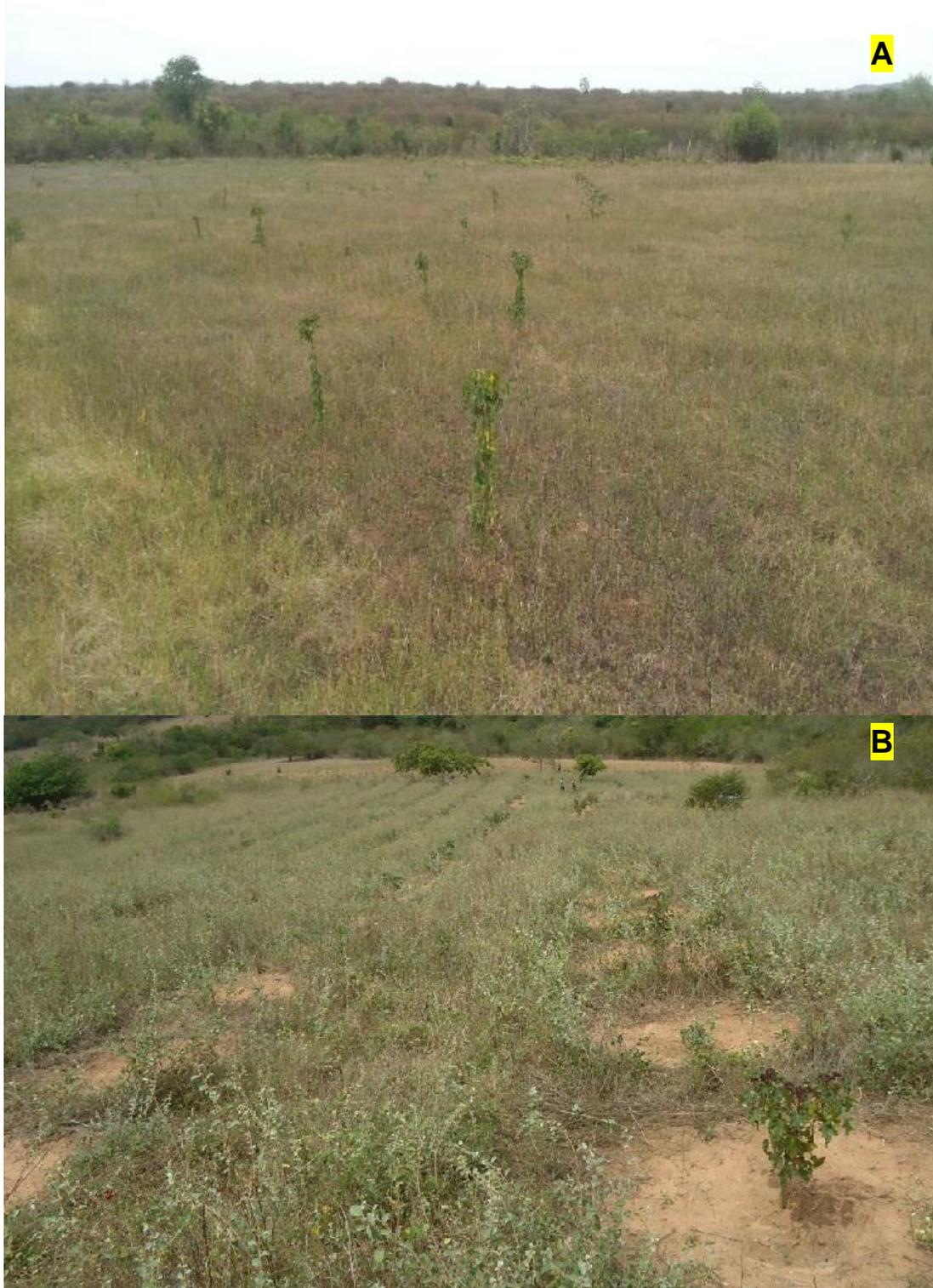


Figura 19A: Vista parcial do campo experimental de Craibas (A) e de Santana do Ipanema (B).



Figura 20A: Fenologia das plântulas de pinhão-manso no cultivo de Craíbas: Altura das plantas (A) e Diâmetro do caule (B).



Figura 21A: Medições de Trocas Gasosas no cultivo de Santana do Ipanema.



Figura 22A: Instalação dos Tubos para medição da umidade do solo no cultivo de Craíbas.



Figura 23A: Planta de pinhão-mansó do cultivo de Santana do Ipanema selecionada para a fenologia (A) e Planta de pinhão-mansó atacada pelo fungo Rizoctonia que causa o apodrecimento do colo da planta e consequentemente sua morte (B).