



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Características fisiológicas, produção total de raízes e de parte aérea em acessos de *Manihot esculenta* em condições de déficit hídrico

Saulo de Tarso Aidar¹, Carolina Vianna Morgante¹, Agnaldo Rodrigues de Melo Chaves¹, Benjamim Pereira Costa Neto²; Alison Borges Vitor²; Dannielle Roseanne Pereira Santos Martins²; Robson Silva²; Jailson Lopes Cruz³, Eder Jorge de Oliveira³.

¹Researcher at Brazilian Corporation for Agricultural Research - Embrapa Semiárido, Petrolina, PE, saulo.aidar@embrapa.br, carolina.morgante@embrapa.br, agnaldo.chaves@embrapa.br, Correspondent authors. ²Graduate students at State University of Pernambuco - UPE, Petrolina, PE; ³ Researcher at Brazilian Corporation for Agricultural Research - Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA, eder.oliveira@embrapa.br.

Artigo recebido em 09/09/2015 e aceito em 10/12/2015.

RESUMO

Na região Nordeste a cultura da mandioca destaca-se como alternativa de uso agrônomo e de subsistência para a maioria dos agricultores rurais familiares. No entanto pesquisas relacionadas ao desenvolvimento de cultivares recomendáveis para sistemas produtivos dependentes de chuva são escassas. Genótipos mais produtivos em termos de produção de raízes e parte aérea sob condição de seca podem ser indicados para programas de melhoramento voltados para obtenção de materiais para alimentação humana e animal. Neste estudo, objetivou-se a identificação, em campo, de acessos com maior capacidade de produção total de raízes e de parte aérea nas condições irrigada e de déficit hídrico em 49 acessos de mandioca, e identificar quais variáveis fisiológicas estão relacionadas à maior produção. A produtividade total de raízes (PTR, t/ha), foi calculada pela soma de raízes comerciais e não comerciais, e a produtividade de parte aérea (PPA, t/ha) pela massa total de ramos e folhas, da parcela como um todo. Foram determinadas as variáveis progressão do diâmetro de caule, de diâmetro da copa, de altura da planta, da taxa relativa de expansão foliar, do índice de área foliar, do conteúdo relativo de clorofila total e da eficiência fotoquímica dos fotossistemas II. O acesso Formosa foi o mais produtivo em termos PTR tanto na condição de irrigação quanto de deficiência hídrica, enquanto BGM541 foi superior quanto à PPA em ambas condições. Considerando a soma de PTR e PPA, o acesso Formosa se manteve como o mais produtivo. As variáveis fisiológicas avaliadas apresentaram baixa correlação com PTR e PPA.

Palavras-chave: mandioca, déficit hídrico, produtividade

Physiological characteristics, total root and shoot production in accessions of *Manihot esculenta* under water stress condition

ABSTRACT

In the Northeastern region of Brazil, cassava plants stand out as an alternative to agronomical use and livelihood for most rural family farmers. Research related to the development of recommended cultivars for rain-dependent production systems are scarce. This study aimed to identify accessions with a higher total root and shoot production capacity in irrigated and water stress field conditions between 49 cassava accessions, and physiological variables related to higher production. Total Root Production (TRP, t/ha) was calculated as the sum of fresh commercial and non-commercial roots of each plot, and Shoot Production (SP, t/ha) as the sum of fresh stems and leaves. It was determined the progression of the variables crown and stem diameters, plant height, relative rate of leaf expansion, relative content of total chlorophyll, potential quantum efficiency of photosystem II, and leaf area index. The Formosa accession was the most productive in terms of TRP in the two conditions, while BGM541 accession was most productive in SP. Considering the sum of TRP and SP, the accession Formosa remained as the most productive. The physiological parameters showed low correlation with TRP and SP.

Key-words: Cassava, water deficit, productivity

Introdução

A mandioca, *Manihot esculenta* Crantz destaca-se entre as culturas perenes por sua rusticidade e tolerância a estresses ambientais. Sua capacidade de produção, mesmo em áreas marginais ou em condições de restrição hídrica, e a versatilidade de uso da planta como um todo para a alimentação humana e animal, ressaltam a importância da espécie para a segurança alimentar e sustentabilidade de sistemas produtivos em regiões tropicais na África, Ásia e América Latina (El-Sharkawy, 2004). No Brasil, o quarto maior produtor mundial (FAO, 2013), na região Nordeste, essa cultura aparece como alternativa de uso agrônomo, de subsistência e de geração de renda a agricultores rurais familiares, sobretudo em regiões semiáridas. No entanto, apesar de a região Nordeste deter aproximadamente 40% das áreas de cultivo de mandioca do Brasil, registra o menor valor de rendimento médio, 9.754 kg/ha, em oposição à média nacional de 14.681 kg/ha (IBGE, 2015). Os principais fatores que afetam a produtividade são o uso de variedades suscetíveis ao déficit hídrico e o plantio em solos marginais, com baixa fertilidade, sendo acentuados pela seca que atinge a região nos últimos cinco anos (Oliveira et al., 2015).

A tolerância à seca da mandioca pode ser explicada pela existência combinada de mecanismos fisiológicos para evitar e tolerar a desidratação (Okogbenin et al., 2013). De modo geral, se existe água disponível no solo, a planta mantém alta condutância estomática permitindo a assimilação de dióxido de carbono. O fechamento estomático, como forma de reduzir a transpiração, reduz a perda de água e a desidratação dos tecidos, podendo ser observado como rápida resposta à diminuição da pressão de vapor de água na atmosfera, mesmo sob disponibilidade de água no solo, ou em resposta ao déficit hídrico progressivo do solo (El-Sharkawy, 2004). Nesta última situação, observa-se também a redução da expansão foliar, podendo até cessar, pela diminuição da divisão e expansão celular, reduzindo a área foliar e, conseqüentemente, a superfície transpirável, porém com potencial de recuperação após reidratação (Alves e Setter, 2004a).

Sob estresse hídrico, o crescimento de todas as partes da planta é afetado negativamente (Duque e Setter, 2013). É observada diminuição da biomassa total, redução do crescimento apical e do dossel, pela redução do crescimento e queda de folhas como forma de redução da superfície

transpirável e da interceptação de luz (El-Sharkawy et al., 1992). Apesar de o crescimento de raízes ser reduzido com a baixa disponibilidade de água, observa-se a elongação da raiz principal como estratégia para a captação de água em camadas mais profundas do solo (El-Sharkawy, 2007).

O acúmulo de ácido abscísico é observado em folhas de plantas submetidas ao déficit hídrico, independentemente de sua intensidade, e coincide com a diminuição das taxas de transpiração (Alves e Setter, 2000; Duque e Setter, 2013). Apesar de haver acúmulo de ácido abscísico em plantas sob déficit hídrico, não é observada a expressão de deidrinases e a concentração de açúcares totais no interior das células diminui, apresentando correlação negativa com o ajuste osmótico (AO). A concentração de prolina aumenta, porém não a níveis significativos para causar alteração no AO, que é controlado por sais de potássio, aminoácidos e em algumas vezes açúcares redutores e não redutores (Alves e Setter, 2004a). Duque e Setter (2013) observaram, em plantas submetidas ao estresse hídrico, a diminuição da concentração de açúcares e amido em folhas e a não variação no conteúdo total de carboidratos não estruturais antes e após o estresse em raízes de reserva, indicando que esse órgão não é utilizado na remobilização durante o estresse, assim como folhas são fontes limitadas de reserva de carboidratos durante estresse prolongado. O atraso de crescimento e a redução da produção de osmólitos podem ser compreendidos como estratégias para limitar o uso de recursos durante o estresse, auxiliando a planta a recuperar seu crescimento e suas atividades metabólicas após um evento de reidratação e, assim, atingir capacidade máxima de produção (Alves e Setter, 2004b).

Apesar de a mandioca ser considerada uma cultura tolerante à seca, existem diferenças varietais no que diz respeito a esta característica (El-Sharkawy, 2007; Oliveira et al., 2015; Zhao et al., 2015). A seleção de cultivares que produzam bem em ambientes favoráveis e desfavoráveis requer o entendimento básico de mecanismos fisiológicos relacionados tanto com a tolerância ao estresse como com altos níveis de produção (El-Sharkawy et al., 1992). O aproveitamento de variedades mais resistentes à desidratação em programas de melhoramento genético constitui uma estratégia importante ao desenvolvimento de variedades de mandioca mais produtivas sob condições sujeitas à deficiência hídrica.

A tolerância à seca é uma característica quantitativa, controlada por múltiplos genes, o que torna desafiador o processo de seleção para o

rápido ganho genético em programas de melhoramento. Técnicas avançadas em genômica, melhoramento molecular e a genotipagem em larga escala vêm auxiliando o entendimento da base genética dessa característica em *M. esculenta* (Ferguson et al., 2012; Utsumi et al., 2012). Paralelamente, é essencial a programas de melhoramento genético protocolos de fenotipagem baseados em características geneticamente associadas à produtividade sob estresse, com alta herdabilidade, geneticamente variável, rápidas e fáceis de serem medidas e estáveis no período de análise. No entanto, para *M. esculenta*, estas características ainda não estão bem estabelecidas (Okogbenin et al., 2013).

Diante da inexistência de um protocolo bem estabelecido para a fenotipagem da tolerância à seca em *M. esculenta*, este trabalho teve como objetivo identificar, em campo, dentre 49 acessos de mandioca, aqueles com maior capacidade de produção total de raízes e de parte aérea nas condições irrigadas e sob déficit hídrico, e identificar variáveis fisiológicas relacionadas à maior produção.

Material e Métodos

Foram avaliadas características fisiológicas de 49 acessos do Banco Ativo de Germoplasma de *Manihot esculenta* da Embrapa Semiárido e da Embrapa Mandioca e Fruticultura (Tabela 1), incluindo variedades locais e melhoradas com histórico de tolerância à seca, seja por terem sido coletadas em regiões semiáridas ou por terem sido selecionadas em condição de seca. As avaliações foram realizadas no campo experimental da Embrapa Semiárido, localizado no perímetro irrigado de Bebedouro, Petrolina, PE, coordenadas 9° 22' de latitude Sul, 40° 22' de longitude Oeste e altitude de 365,5 m. Os tratamentos consistiram de um fatorial 49 x 2, sendo 49 acessos de *M. esculenta* analisados em duas condições hídricas (com irrigação – controle, e sob déficit hídrico). Os tratamentos foram dispostos no delineamento de blocos casualizados com três repetições. As parcelas experimentais foram compostas por dez plantas em espaçamento de 0,90 m entre linhas e 0,80 m entre plantas. Para o plantio, foram utilizadas manivas de 16 cm, seguindo as práticas agrícolas recomendadas para a cultura. O experimento foi instalado em 21/11/2012 e conduzido até a colheita em 02/12/2013. As variações climáticas durante o período foram monitoradas na Estação Meteorológica instalada no campo experimental (EMBRAPA SEMIÁRIDO, 2013). A precipitação

total no período foi de 166,04 mm, com época de estiagem marcante entre os meses de maio e outubro de 2013. A temperatura média variou entre 24,7 e 29,2 °C e a umidade relativa do ar, entre 48 e 61%. As condições meteorológicas durante a safra 2012-2013 registraram irregularidade e baixo volume de precipitação, evidenciando a seca na região, e que, associada aos baixos valores de umidade relativa do ar, proporcionaram uma condição potencial de estresse para as plantas.

Quatro meses após o plantio, a irrigação de três blocos foi suspensa e mantida a lâmina de irrigação, com base na evapotranspiração da cultura, em outros três. Durante o progresso da condição de deficiência hídrica, foram realizadas avaliações não destrutivas das seguintes variáveis: (1) diâmetro de copa, medido com uma trena entre as extremidades dos ápices das folhas mais externas às laterais opostas da copa; (2) diâmetro do caule, medido com um paquímetro a aproximadamente 15 cm da superfície do solo; (3) altura da planta, medida com uma trena a partir do colo da planta e o ápice do broto vegetativo mais alto em relação ao solo; (4) taxa relativa de expansão foliar, calculada a partir de medidas com uma régua, da base de inserção do pecíolo junto ao limbo foliar até o ápice do lobo central foliar, desde o primórdio foliar até sua completa expansão, em intervalos de dois a três dias; (5) índice de área foliar, medido com o equipamento Accupar LP-80 (Decagon) posicionando-se a linha de sensores próxima à superfície do solo sob a copa da planta, entre 11:00 e 13:00 horas, em dias com pouca nebulosidade; (6) índice relativo de clorofilas, medida com o equipamento Clorofilog CFL1030 (Falker) em folhas novas completamente expandidas; e (7) eficiência quântica potencial dos fotossistemas II (F_v/F_m), medida com o equipamento Chlorophyll Fluorometer OS30p+ (OptiScience), entre 8:00 e 11:00 horas, em folhas novas completamente expandidas pré-aclimatadas por 20 minutos à condição de escuro com “dark leaf clips”. A taxa relativa de expansão foliar foi avaliada a partir do primeiro dia de suspensão da irrigação até a parada da expansão. O índice de área foliar foi avaliado aos 30 e 60 dias da data de suspensão da irrigação. A F_v/F_m foi avaliada aos 30 dias de suspensão da irrigação. As demais variáveis foram avaliadas com periodicidade de aproximadamente 30 dias a partir da data de suspensão da irrigação até a colheita ou até a perda completa de folhas totalmente expandidas. Com exceção de F_v/F_m , as variáveis avaliadas foram expressas em área abaixo da curva de progressão (AAC), de acordo

Tabela 1. Produtividade de parte aérea (PPA) de plantas sob déficit hídrico, expressa em % em relação ao grupo sob irrigação, em ordem decrescente, de 49 genótipos de *Manihot esculenta*, em experimento conduzido no Campo Experimental de Bebedouro, Petrolina, PE, no período safra 2012-2013.

Genótipos	PPA em relação ao controle (%)	Genótipos	PPA em relação ao controle (%)	Genótipos	PPA em relação ao controle (%)
1- Engana Ladrão	113,89	18- BGM876	67,07	35-GCP001	40,45
2- Do Céu	100,37	19- GCP190	65,67	36- 9624-09	39,92
3- Paulo Rosa	100,17	20- BGM818	61,64	37- Kiriris	39,46
4- Cacau	98,69	21- GCP374	59,61	38- GCP227	38,69
5- Eucalipto	96,10	22- Gema de Ovo	59,46	39- GCP046	38,32
6- BGM785	95,98	23- GCP095	59,23	40- BGM541	37,96
7- GCP179	93,40	24- BGM598	59,19	41- Amansa Burro	36,75
8- NG310	91,02	25- GCP020	57,50	42- Formosa	35,28
9- BGM1171	88,95	26- BGM163	56,67	43- Sacai	35,10
10- GCP025	87,32	27- BGM815	52,44	44- GCP194	33,81
11- BGM089	79,37	28- BGM908	50,34	45- Cachimbo	33,03
12- BGM1195	79,26	29- BGM331	49,98	46- BGM1482	32,81
13- BGM2020	77,58	30- BGM360	43,94	47- BGM096	32,09
14- BGM279	76,81	31- Branquinha	43,59	48- BGM856	30,55
15- GCP009	72,72	32- GCP014	42,45	49-Dourada	20,36
16- GCP128	70,84	33- Mani Branca	41,25		
17- GCP043	68,90	34-BGM116	41,06		

com Campbell e Madden (1990). A umidade do solo foi monitorada ao longo do experimento com sondas conectadas ao equipamento TDR 100 (Campbell) à profundidade do solo de 20 a 30 cm. Nos blocos irrigados, a umidade manteve-se constante ao longo do período do experimento em valores próximos a 20%. Nos blocos sob déficit hídrico, os valores próximos a zero foram obtidos a partir dos 30 dias após suspensão da irrigação. Para o cálculo de Produção Total de Raízes (PTR, t/ha), foi considerada a soma de raízes comerciais e não comerciais da parcela como um todo, e os resultados expressos em porcentagem do grupo sob déficit hídrico em relação ao controle. Os dados obtidos foram submetidos à análise de correlação linear. As análises estatísticas foram realizadas no programa R (<https://www.r-project.org/>).

Resultados e Discussão

Ao longo do experimento, o contraste entre plantas dos tratamentos sob irrigação e sob déficit hídrico ficou evidente, principalmente pela redução do crescimento em altura e pela perda de folhas em plantas submetidas à restrição hídrica. Houve uma diminuição média de aproximadamente 40% da massa fresca da parte aérea de plantas sob déficit hídrico em relação ao controle irrigado, medida no momento da colheita (Tabela 1). Alves et al. (2007), em ensaio em campo com 35 acessos de *M. esculenta* submetidos ao déficit hídrico, também no município de Petrolina, PE, obtiveram uma

redução média de 25% na massa fresca da parte aérea de plantas sob esta condição em relação à irrigada, indicando a restrição desta sobre o crescimento das plantas. A diferença entre os valores obtidos pode estar relacionada aos acessos de *M. esculenta* avaliados, apenas cinco são comuns aos dois estudos, diferentes práticas de irrigação e/ou condições climáticas.

As variáveis de crescimento, que incluem diâmetro da copa, diâmetro do caule, altura, taxa relativa de expansão foliar e índice de área foliar devem refletir o estado fisiológico da planta sob condição de déficit hídrico, uma vez que a redução na disponibilidade de água para as plantas reflete primeiramente na capacidade de turgescência celular e, conseqüentemente, de expansão dos tecidos, principalmente os foliares (Pinheiro et al., 2004). Sob seca severa, plantas de *M. esculenta* são capazes de manter um potencial hídrico foliar basal pela redução da área foliar total, de forma a limitar a transpiração do dossel, e também pela captação lenta de água do solo em camadas mais profundas (El-Sharkawy, 2007).

Inicialmente são perdidas as folhas mais velhas e maiores e, havendo umidade suficiente, folhas novas podem se desenvolver, porém com menores dimensões (El-Sharkawy, 2007). Esta estratégia foi evidenciada em plantas de todos os acessos analisados sob déficit hídrico durante o experimento. Em Condição de Déficit Hídrico (CDH) prolongado, observou-se redução da área foliar em nível de copa, como forma de minimizar a perda de água dos tecidos vegetativos.

Em geral, houve uma tendência de maior limitação na produtividade total de raízes, com média de diminuição em torno de 73% (Tabela 2), do que sobre a produtividade da parte aérea (Tabela 1), com média de diminuição de aproximadamente 40%, calculados a partir da redução de produtividade na condição de deficiência hídrica, analisando-se todos os acessos conjuntamente. No entanto, de acordo com El-Sharkawy (2007), sob CDH é esperada uma diminuição na produção de túberas em menor proporção comparando-se com a diminuição sobre o crescimento da parte aérea, como estratégia para poupar recursos e garantir o potencial de recuperação após um evento de reidratação. Nossos resultados sugerem que a fase de maior crescimento das túberas foi restringida por coincidir com a fase de suspensão da irrigação.

Considerando-se a soma de Produtividade de Parte Aérea (PPA) e PTR como indicativa de capacidade de produção total de biomassa, característica potencialmente interessante para materiais voltados à produção de forragem animal, os acessos Formosa, Dourada e GCP001 se destacaram na condição irrigada (Tabela 3), sendo que sob déficit hídrico, o acesso Formosa manteve-se superior, seguido pelos acessos BGM279 e BGM815 (Tabela 4).

Foi possível diferenciar os acessos analisados quanto à PPA e PTR na condição irrigada (CI) e CDH (Figura 1 a, b, respectivamente). Na CI, os valores de PTR variaram entre 77,11 e 4,30 t/ha, com valor médio de 26,28 t/ha. Já em CDH, os valores de PTR variaram entre 28,05 e 2,02 t/ha, com valor médio de 6,07 t/ha. O acesso Formosa destacou-se com o maior valor médio de PTR nas duas condições analisadas (Figura 1), registrando perda de produção de 63,62 % em CDH, em relação à CI (Tabela 2). Já o acesso BGM 818 foi o que apresentou os menores valores de PTR em ambas condições, 4,30 e 2,02 t/ha em CI e CDH, respectivamente. O acesso Dourada, apesar de ter apresentado o terceiro maior valor de PTR sob CI, foi o que apresentou a maior perda de PTR em CDH, 97,11 %, indicando baixa tolerância à seca. Os acessos Cacau, BGM1171 e Engana Ladrão apresentaram as menores diminuições de PTR sob déficit hídrico comparando-se com a condição irrigada, com 8,23, 18,89 e 19,33% de perda, respectivamente. Uma menor diminuição da produção sob déficit hídrico, em relação à condição irrigada, pode indicar maior tolerância à seca. No entanto, para esses acessos foram registrados valores de PTR em CI de 10,32, 5,61 e 13,6 t/ha, respectivamente, os quais estão abaixo

da média geral obtida, de 26,28 t/ha. Apesar de terem se destacado com as menores diminuições de PTR sob déficit hídrico, estes acessos não são produtivos sob condição irrigada e sua utilização em programas de melhoramento voltados para o aumento da tolerância à seca deve ser considerada com cautela para que não haja diminuição da capacidade produtiva de materiais em melhoramento. Apesar de o acesso Cacau ser considerado como suscetível à seca, devido à substancial perda em PTR sob déficit hídrico, comparada à condição irrigada (Tabela 2), este material apresenta alta capacidade de retenção foliar. O genótipo Engana Ladrão é uma variedade local considerada como tolerante à seca e para BGM1171 não há informações sobre sua performance sob déficit hídrico (Oliveira et al., 2015). Diferentemente, Alves et al. (2007), em ensaio em campo, identificaram a variedade Engana Ladrão como a que apresentou a maior produção de raízes por planta em CDH.

Os resultados demonstram ampla diversidade na resposta de diferentes acessos de *M. esculenta* ao déficit hídrico e que a performance de cada acesso pode variar a depender do ciclo produtivo, sendo necessários ciclos sucessivos para uma maior rodustez na confirmação de desempenho produtivo dos acessos em CDH. Os acessos Cacau, BGM1171 e Engana Ladrão apresentaram os menores efeitos negativos em seu potencial produtivo sob estresse, porém registraram baixa produtividade, tanto em CI como em CDH, não sendo recomendáveis para plantio em áreas de produtores. No entanto, podem constituir material interessante para a investigação científica sobre os mecanismos fisiológicos e as bases genéticas da tolerância à seca.

Comparando-se a relação entre PTR e PPA de todos os acessos, observou-se uma tendência de maior acúmulo de biomassa radicular sob CI, comparada a CDH, para todos os acessos analisados. Isto pode ser visualizado na distribuição dos dados da Figura 1: quanto menor a inclinação positiva da linha de tendência que representa a distribuição dos dados, maior é o investimento em biomassa no sistema radicular. Na CDH, a relação PPA e PTR mostra-se mais equilibrada, sem favorecimento de uma das partes. Este resultado sugere que na condição de irrigação, as plantas tiveram condições de investir na formação de túberas em função da maior capacidade de produção de fotoassimilados durante o ciclo de cultivo.

Tabela 2. Produção Total de Raízes (PTR) de plantas sob déficit hídrico, expressa em % em relação ao grupo sob irrigação, em ordem decrescente, de 49 genótipos de *Manihot esculenta*, em experimento conduzido no Campo Experimental de Bebedouro, Petrolina, PE, no período safra 2012-2013.

Genótipos	PTR em relação ao controle (%)	Genótipos	PTR em relação ao controle (%)	Genótipos	PTR em relação ao controle (%)
1- Cacau	91,71	18- BGM163	30,08	35- GCP043	13,68
2- BGM1171	81,07	19- BGM1482	29,46	36- BGM360	11,84
3- Engana Ladrão	80,69	20- BGM1195	27,88	37- Kiriris	11,70
4- BGM279	48,33	21- Gema de Ovo	27,66	38- GCP227	11,49
5- BGM818	46,96	22- Branquinha	26,68	39- Amansa Burro	10,41
6- GCP128	45,40	23- BGM598	26,57	40- BGM541	9,48
7- GCP025	42,99	24- GCP179	25,88	41- BGM331	8,95
8- GCP374	37,90	25- Paulo Rosa	24,07	42- GCP194	8,89
9- Formosa	36,38	26- GCP190	22,79	43- Cachimbo	7,20
10- Sacai	35,41	27- GCP046	22,31	44- BGM856	7,00
11- Do Céu	35,30	28- GCP009	21,91	45- BGM089	6,79
12- GCP020	34,70	29- Eucalipto	21,61	46- Mani Branca	5,51
13- 9624-09	32,83	30- GCP014	21,60	47- BGM785	4,21
14- BGM876	32,08	31- BGM908	17,96	48- NG310	4,16
15- BGM2020	31,69	32- BGM096	16,42	49- Dourada	2,90
16- BGM116	31,39	33- GCP095	14,33		
17- BGM163	30,22	34- GCP001	14,25		

Os índices de correlação (R^2) entre as variáveis fisiológicas com PTR (Figuras 2 e 3) ou PPA (Figuras 4 e 5) foram baixos, indicando ausência de correlação. A maior correlação positiva foi obtida entre a variável Área Abaixo da Curva para *leaf area index* - índice de área foliar (AACLAI) e PTR (Figura 2d), com R^2 de 0,262. Este resultado pode sugerir que os materiais capazes de manter a maior área foliar apresentam maior produção na condição de deficiência hídrica. De acordo com esses dados, El Sharkawy et al. (1992) observaram em *M. esculenta* que a alta produção, tanto em CI como em CDH, está associada a um alto índice de área foliar, mantido por uma melhor retenção foliar. No entanto, para as demais variáveis fisiológicas avaliadas, como área abaixo da curva de progressão do diâmetro de copa (AACDCo) (Figura 2a), área abaixo da curva de progressão do diâmetro do caule (AACDCa) (Figura 2b), área abaixo da curva de progressão da altura (AACAI) (Figura 2c), área abaixo da curva de progressão da taxa de expansão relativa foliar (AACTCRf) (Figura 3a), área abaixo da curva de progressão do teor relativo de clorofilas totais (AACClo) (Figura 3b), e eficiência quântica potencial dos fotossistemas II (Fv/Fm) (Figura 3c), obteve-se ausência de correlação com PTR, assim como para PPA (Figuras 4 a,b,c; Figura 5 a,b,c) também não apresentou correlação com AACLAI (Figura 4d), tendo sido nestes casos $R^2 < 0,14$. Desta forma, não foi possível estabelecer qualquer determinação destes fatores sobre a produtividade

de raízes ou de parte aérea, de acordo com os períodos e métodos de avaliações utilizados.

No entanto, é importante mencionar que as avaliações foram iniciadas somente após a indução do déficit hídrico e o resultado observado pode indicar que o potencial produtivo dos diferentes acessos pode ter sido determinado antes do início da deficiência hídrica, ou seja, até os quatro meses de idade. Estudos futuros são necessários para testar esta hipótese.

No presente trabalho, a avaliação do conteúdo de clorofila, medido pelo índice relativo de clorofila total, por meio de um clorofilômetro, em plantas em CI e CDH, 105 dias após a suspensão da irrigação, evidenciou que tanto na CI como na CDH, houve diferenças significativas entre os acessos analisados.

Dos 49 acessos avaliados, apenas 11 (Mani Branca, GCP374, Cacau, BGM2020, BGM331, GCP25, BGM1171, Formosa, Do Céu, GCP95 e Gema de Ovo) apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos de CI e CDH. Desta forma, a maior parte das variações observadas nos valores de índice de clorofila total deve estar relacionada a diferenças intrínsecas entre acessos, e não à tolerância ao déficit hídrico.

Apesar da variação encontrada no índice de clorofila, para a relação Fv/Fm , que reflete a eficiência fotossintética fotossistema II, frequentemente usada como um parâmetro para indicação de tolerância ao déficit hídrico, não foram observadas diferenças significativas entre valores medidos em plantas sob CI e CDH,

Tabela 3. Somatório da Produtividade de Parte Aérea (PPA) e da Produtividade Total de Raízes (PTR) na condição irrigada, em ordem decrescente, de genótipos de *Manihot esculenta*, em experimento conduzido no Campo Experimental de Bebedouro, Petrolina, PE, no período safra 2012-2013.

Genótipos	PPA+PTR	Genótipos	PPA+PTR	Genótipos	PPA+PTR
1- Formosa	98,23	18-BGM116	47,34	35- GCP227	26,22
2-Dourada	77,70	19- GCP190	46,53	36- GCP014	28,55
3-GCP001	72,54	20- GCP020	45,20	37- GCP025	25,75
4- Kiriris	66,51	21- BGM096	43,98	38- Engana Ladrão	22,37
5- BGM815	63,01	22- GCP043	43,93	39- GCP179	20,07
6- GCP009	61,83	23- BGM279	42,78	40- Cacau	19,19
7- BGM360	59,43	24- Branquinha	42,54	41- BGM856	18,91
8- Mani Branca	59,34	25- BGM331	41,73	42- BGM2020	18,34
9- BGM163	58,27	26- GCP046	39,23	43- BGM089	16,98
10- BGM1482	54,83	27- GCP095	38,38	44- Paulo Rosa	15,48
11- BGM598	54,13	28- GCP194	37,85	45- GCP128	13,68
12- BGM541	52,20	29- BGM876	37,83	46- Eucalipto	12,28
13- 9624-09	50,26	30- GCP374	36,98	47- Do Céu	12,24
14- BGM1195	48,78	31- Amansa Burro	35,48	48- BGM1171	10,39
15- Sacai	48,56	32- Cachimbo	34,28	49- BGM818	7,58
16- BGM908	48,39	33- NG310	33,85		
17- BGM785	47,57	34- Gema de Ovo	32,82		

Tabela 4. Somatório da Produtividade de Parte Aérea (PPA) e da Produtividade Total de Raízes (PTR) na condição de deficiência hídrica, em ordem decrescente, de 49 genótipos de *Manihot esculenta*, em experimento conduzido no Campo Experimental de Bebedouro, Petrolina, PE, no período safra 2012-2013.

Genótipos	PPA+PTR	Genótipos	PPA+PTR	Genótipos	PPA+PTR
1- Formosa	35,51	18- GCP190	15,23	35- GCP179	9,03
2- BGM279	25,20	19-GCP001	14,57	36- BGM785	8,93
3- BGM815	24,32	20- GCP025	14,36	37- BGM1171	8,80
4- GCP009	22,49	21- BGM360	14,15	38- GCP194	8,66
5- BGM163	22,06	22- BGM908	14,04	39- Do Céu	8,46
6- BGM1195	22,06	23- Branquinha	13,70	40- GCP014	7,91
7- Engana Ladrão	20,97	24- Gema de Ovo	13,49	41- Amansa Burro	7,73
8- BGM598	20,78	25- GCP043	13,42	42- GCP128	7,29
9- GCP020	18,35	26- Kiriris	11,90	43- BGM089	7,02
10- Cacau	18,22	27- GCP046	11,26	44-Dourada	6,22
11- 9624-09	17,78	28- GCP095	10,79	45- GCP227	5,84
12-BGM116	17,26	29- BGM331	10,31	46- Cachimbo	5,69
13- Sacai	17,12	30- Mani Branca	10,25	47- Eucalipto	5,61
14- GCP374	16,94	31- NG310	9,73	48- BGM818	4,04
15- BGM1482	16,84	32- Paulo Rosa	9,72	49- BGM856	3,45
16- BGM876	16,41	33- BGM096	9,46		
17- BGM541	15,71	34- BGM2020	9,06		

analisados pelo teste de Kruskal-Wallis $\chi^2 = 0,18019$, $gl=1$, valor- $p = 0,6712$).

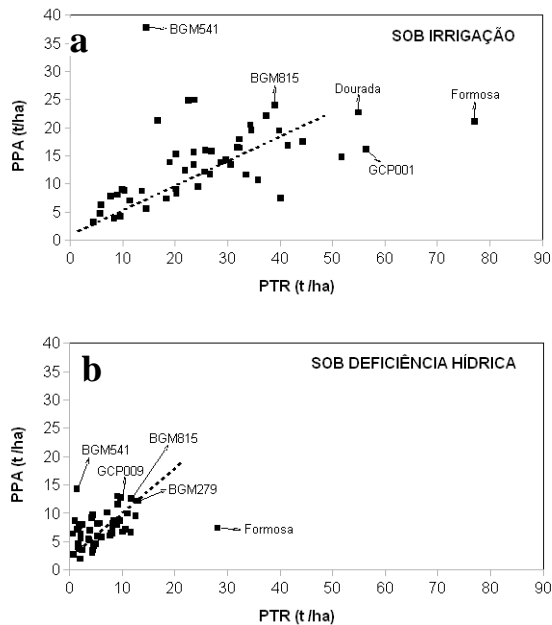


Figura 1. Estimativa de correlação entre produtividade de parte aérea (PPA, t/ha) e produção total de raízes PTR para os acessos de *M. esculenta* avaliados a) sob condição irrigada; e b) sob deficiência hídrica. Linha tracejada: linha de tendência estimativa para a correlação entre PPA e PTR. Setas indicam acessos com maior PPA ou PTR.

Também não foram observadas diferenças significativas entre os valores de F_v/F_m dos 49 acessos avaliados (Teste de Kruskal-Wallis: $\chi^2 = 54,311$, $gl=48$, valor- $p = 0,2466$). Alves (2012), analisando a resposta de seis acessos de *M. esculenta* cultivados em vasos, observaram que, sob déficit hídrico, houve variação significativa no valor de F_v/F_m para dois acessos, considerados como tolerantes à seca, em relação aos respectivos controles irrigados. Nesse caso, a diminuição de F_v/F_m pode estar relacionada à produção de espécies reativas de oxigênio, com posterior ocorrência de danos aos fotossistemas II. A redução mais proeminente de F_v/F_m no experimento em vaso poderia ser explicada pela intensidade do déficit, uma vez que a suspensão da irrigação em nesta condição pode resultar em uma desidratação do substrato mais rápida do que sob condições de campo.

Em genótipos de cafeeiro, cultivados em vasos de cinco litros de substrato e submetidos a

déficit hídrico até o potencial da água de $-3,0$ MPa, Lima et al. (2002), observaram que os materiais submetidos ao déficit hídrico não apresentaram queda em F_v/F_m , mas foi observado aumento na atividade de enzimas antioxidantes, as quais proporcionam a eliminação de espécies ativas de oxigênio.

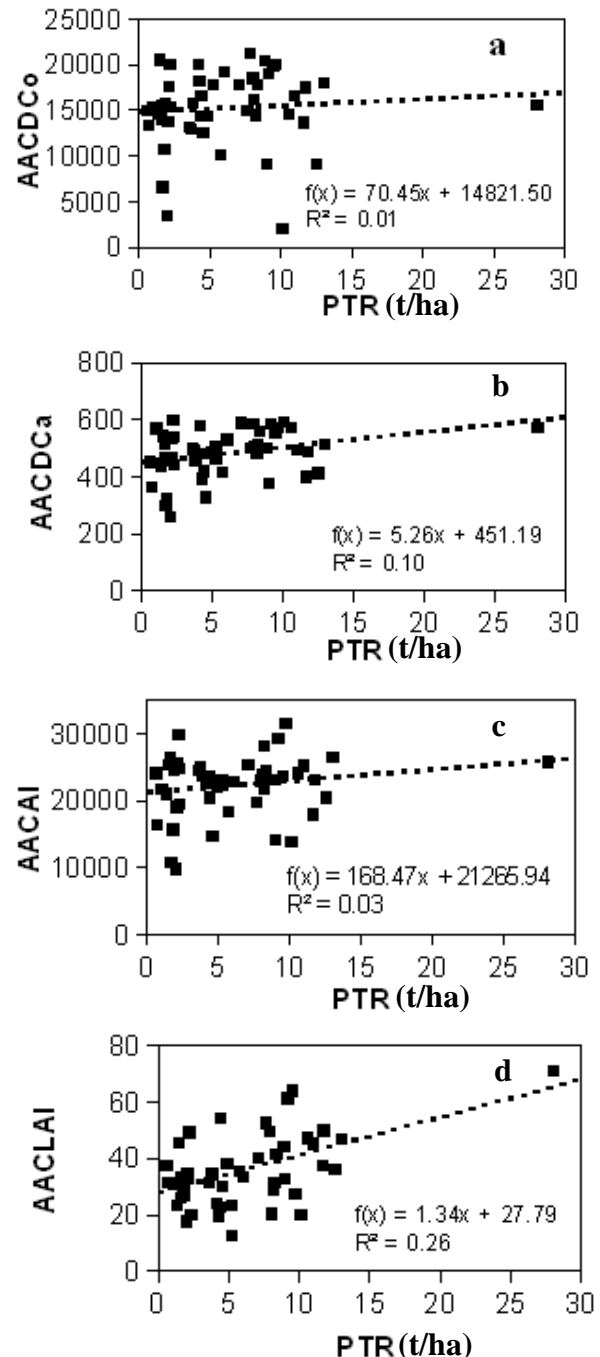


Figura 2. Estimativa de correlação entre produtividade total de raízes (PTR, t/ha) e: (a) área abaixo da curva de progressão do diâmetro de copa (AACDCo), em cm^2 ; (b) área abaixo da curva de progressão do diâmetro do caule

(AACDCa), em mm; (c) área abaixo da curva de progressão da altura (AACAI), em cm; e (d) área abaixo da curva de progressão do índice de área foliar (AACLAI), para os acessos de *M. esculenta* avaliados sob deficiência hídrica.

Entretanto, os mesmos genótipos cultivados em vasos de 120 litros de substrato e submetidos a deficiência hídrica até potencial hídrico também de $-3,0$ MPa não apresentaram diferenças em F_v/F_m e nem induziram espécies ativas de oxigênio (Pinheiro et al., 2004). Isto pode estar associado à intensidade com que o déficit hídrico ocorreu nas duas condições, uma vez que nos vasos de cinco litros o tempo para se chegar a $-3,0$ MPa foi de 11 dias e no experimento com vaso de 120 litros foi de 26 dias, além do fato dos diferentes tamanhos das plantas, que eram maiores em Pinheiro et al. (2004).

A partir dos resultados indicando baixa correlação entre PTR ou PPA e cada um dos parâmetros avaliados, outras hipóteses passam a ser exigidas para explicar fatores determinantes na produção de biomassa sob CDH. Os resultados obtidos podem sugerir que o período de avaliação das variáveis não foi adequado para explicar a redução de PTR e PPA em CDH ou que o método de avaliação das variáveis isoladamente não foi adequado para a identificação de parâmetros fisiológicos que afetam PTR e PPA em CDH. Neste sentido, para a comprovação da hipótese de que o potencial produtivo dos diferentes acessos pode ter sido determinado antes do início da deficiência hídrica, recomenda-se, para estudos futuros, que os parâmetros fisiológicos sejam avaliados desde a fase inicial de desenvolvimento das plantas, antes da suspensão da irrigação. A assimilação fotossintética, que é diretamente influenciada pela interceptação de luz e capacidade de translocação de fotoassinlados para drenos, pode ser fator determinante sobre a produção de biomassa em *M. esculenta*, assim como evidenciado por El-Sharkawy (2007).

Conclusões

- Nos 49 acessos de *M. esculenta* submetidos ao déficit hídrico, houve diminuição da produtividade total de raízes e de parte aérea, em comparação a plantas sob irrigação;
- A produtividade total de raízes foi mais afetada negativamente do que a

produtividade de parte aérea em plantas sob déficit hídrico;

- Os acessos Formosa e BGM541 foram menos afetados quanto à produção total de raízes e produção de parte aérea, respectivamente, tanto na condição irrigada quanto de déficit hídrico.

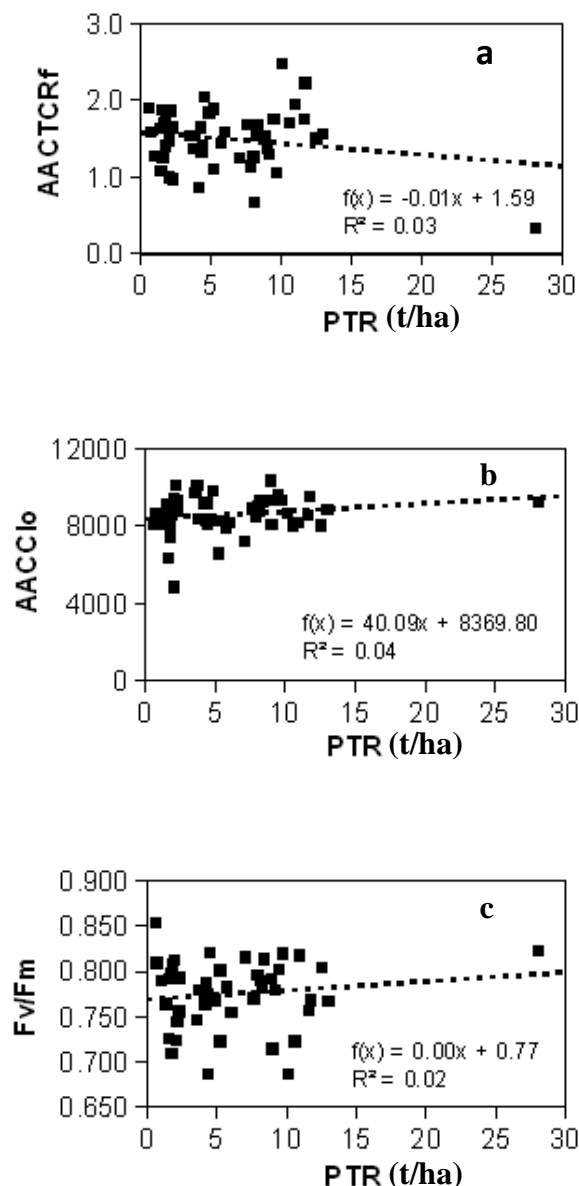


Figura 3. Estimativa de correlação entre produtividade total de raízes (PTR, t/ha) e: (a) área abaixo da curva de progressão da taxa de expansão relativa foliar (AACTCRf), em cm/dia; (b) área abaixo da curva de progressão do teor relativo de clorofilas totais (AACClO); (c) eficiência quântica potencial dos fotossistemas II (F_v/F_m), para os acessos de *M. esculenta* avaliados sob deficiência hídrica.

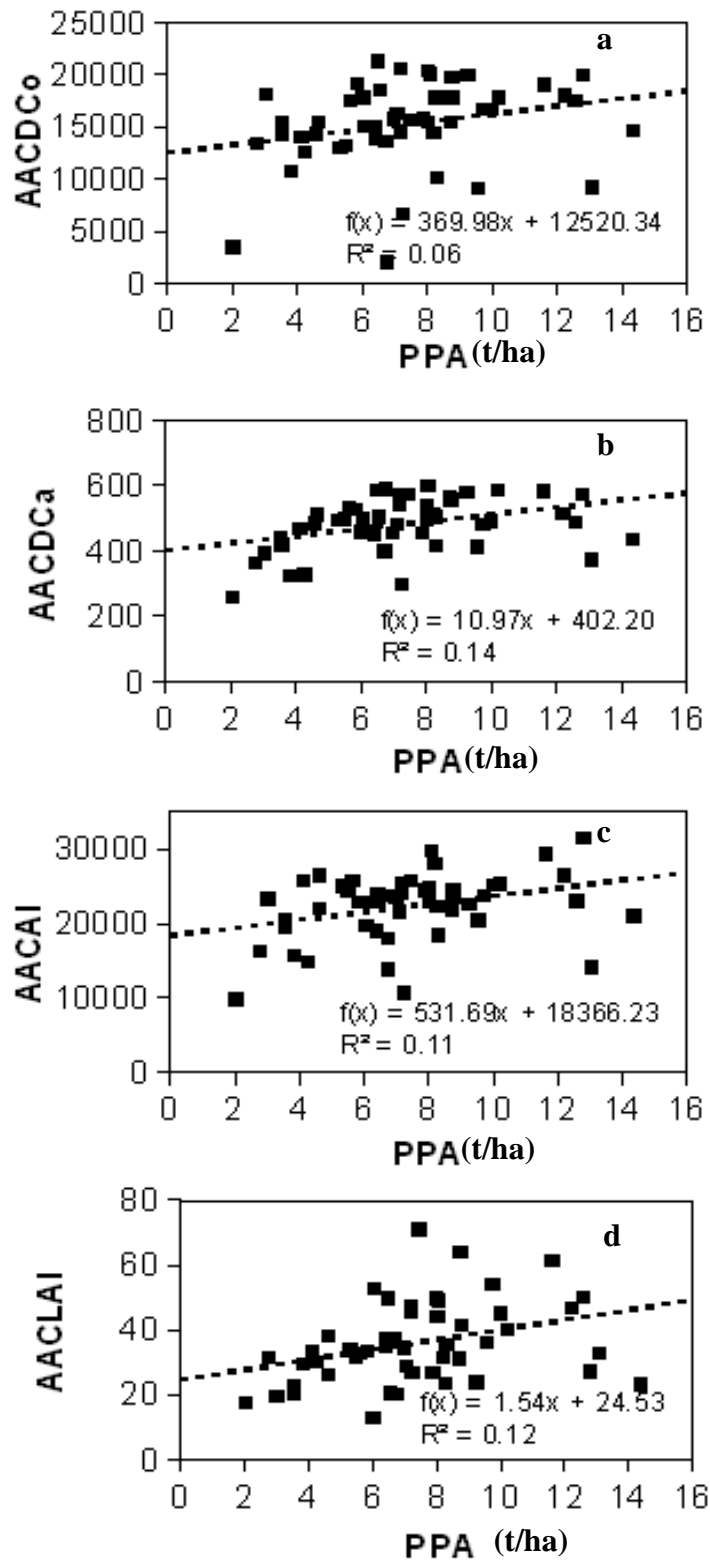


Figura 4. Estimativa de correlação entre produtividade de parte aérea (PPA, t/ha) e: (a) área abaixo da curva de progressão do diâmetro de copa (AACDCo), em cm²; (b) área abaixo da curva de progressão do diâmetro do caule (AACDCa), em cm; (c) área abaixo da curva de progressão da altura (AACAI), em cm e; (d) área abaixo da curva de progressão do índice de área foliar (AACLAI) para os acessos de *M. esculenta* avaliados sob deficiência hídrica.

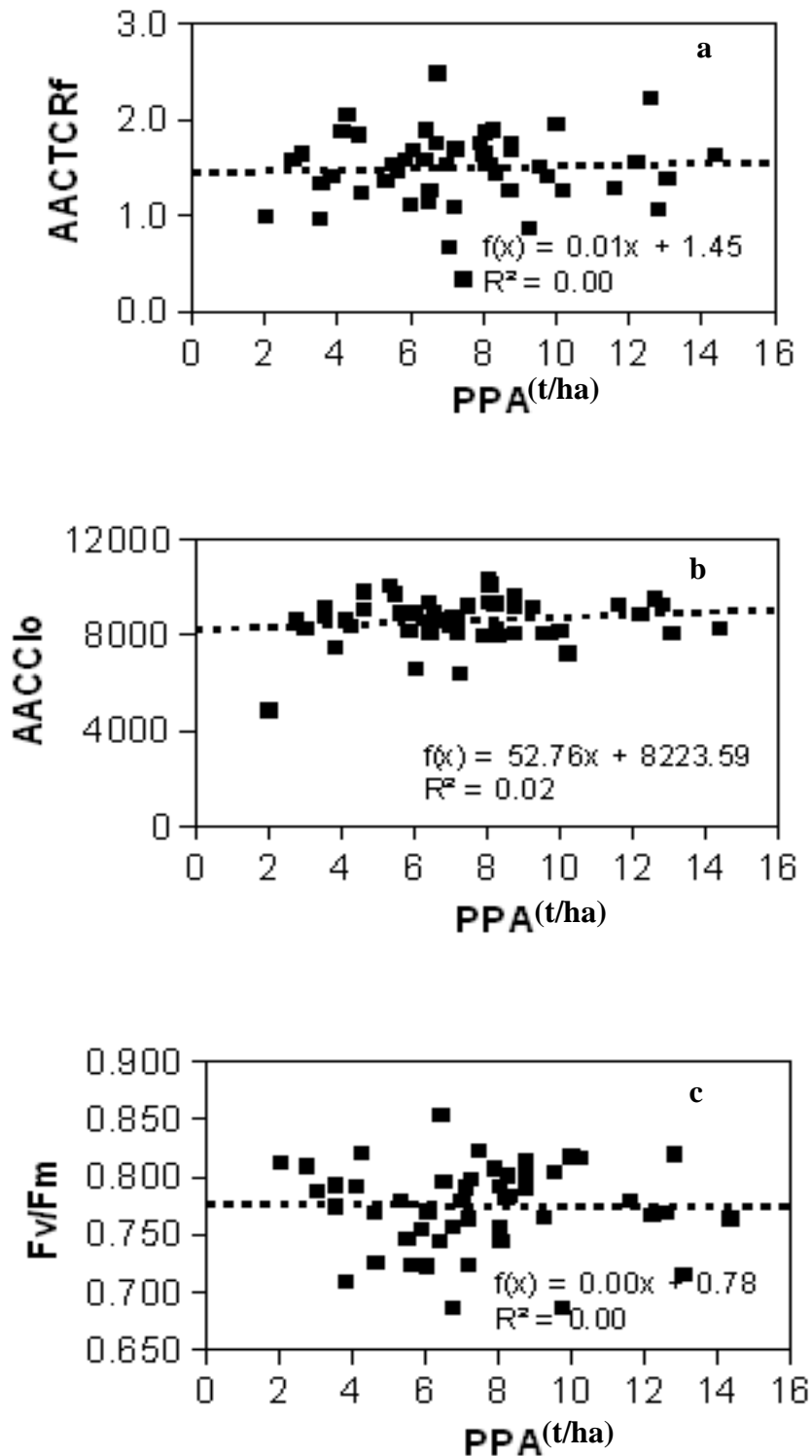


Figura 5. Estimativa de correlação entre produtividade de parte aérea (PPA, t/ha) e: (a) área abaixo da curva de progressão da taxa de expansão relativa foliar (AACTCRf), em cm/dia; (b) área abaixo da curva de progressão do teor relativo de clorofilas totais (AACClO); (c) eficiência quântica potencial dos fotossistemas II (Fv/Fm), para os acessos de *M. esculenta* avaliados sob deficiência hídrica.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (Fapesb) pelo apoio financeiro ao projeto e à Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), pela disponibilização de infraestrutura para realização dos experimentos.

Referências

- Alves, A.A.C., Setter, T.L., 2000. Response of cassava to water deficit: leaf area growth and abscisic acid. *Crop Science* 40, 131-137.
- Alves, A.A.C., Setter, T.L., 2004a. Abscisic acid accumulation and osmotic adjustment in cassava under water deficit. *Environmental and Experimental Botany* 51, 259-271.
- Alves, A.A.C., Setter, T.L., 2004b. Response of cassava leaf area expansion to water deficit: cell proliferation, cell expansion and delayed development. *Annals of Botany* 94, 605-613.
- Alves, A.A.C., Silva, A.F., Queiroz, D.C., Dita, M.A., 2007. Avaliação de variedades de mandioca para tolerância à seca, em condições semi-áridas do Brasil. *Revista Raízes e Amidos Tropicais* 3, 1-5.
- Alves, J.S., 2012. Identificação de genes relacionados com tolerância à seca em mandioca. Tese (Doutorado). Cruz das Almas, UFRB.
- Campbell, C.D., Madden, L.V., 1990. *Introduction to Plant Disease Epidemiology*. John Wiley, New York.
- Duque, L.O., Setter, T.L., 2013. Cassava response to water deficit in deep pots: root and shoot growth, ABA, and carbohydrate reserves in stems, leaves and storage roots. *Tropical Plant Biology* 6, 199-209.
- El-Sharkawy, M.A., Hernández, A.D.P., Hershey, C., 1992. Yield stability of cassava during prolonged mid-season water stress. *Experimental Agriculture* 28, 165-174.
- El-Sharkawy, M.A., 2004. Cassava biology and physiology. *Plant Molecular Biology* 53, 621-641.
- El-Sharkawy, M.A., 2007. Physiological characteristics of cassava tolerance to prolonged drought in the tropics: implications for breeding cultivars adapted to seasonally dry and semiarid environments. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19, 257-286.
- EMBRAPA SEMIÁRIDO. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido. 2013. Disponível:
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013. FAOSTAT. Disponível: faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E. Acesso: 20 abr. 2015.
- Ferguson, M., Rabbi, I., Kim, D.-J., Gedil, M., Lopez-Lavalle, L.A.B., Okogbenin, E., 2012. Molecular markers and their application to cassava breeding: past, present and future. *Tropical Plant Biology* 5, 95-109.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Disponível: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/default.shtm>. Acesso: 22 abr. 2015.
- Lima, A.L.S., DaMatta, F.M., Pinheiro, H.A., Totola, M.R., Loureiro, M.E., 2002. Photochemical responses and oxidative stress in two clones of *Coffea canephora* under water deficit conditions. *Environmental and Experimental Botany* 47, 239-247.
- Okogbenin, E., Setter, T.L., Ferguson, M., Mutegi, R., Ceballos, H., Olanmi, B., Fregene, M., 2013. *Frontiers in Physiology* 4, 1-15.
- Oliveira, E.J., Aidar, S.T., Morgante, C.V., Chaves, A.R.M., Cruz, J.L., Coelho Filho, M.A., 2015. Genetic parameters for drought-tolerance in cassava. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 50, 233-241.
- Pinheiro, H.A., DaMatta, F.M., Chaves, A.R.M., Fontes, E.P.B., Loureiro, M.E., 2004. Drought tolerance in relation to protection against oxidative stress in clones of *Coffea canephora* subjected to long-term drought. *Plant Science (Limerick)* 167, 1307-1314.
- Utsumi, Y., Tanaka, M., Morosawa, T., Kurotani, A., Yoshida, T., Mochida, K., Matsui, A., Umemura, Y., Ishitani, M., Shinozaki, K., Sakurai, T., Seki, M., 2012. Transcriptome analysis using a high-density oligomicroarray under drought stress in various genotypes of cassava: An important tropical crop. *DNA Research* 19, 335-345.
- Zhao, P., Liu, P., Shao, J., Li, C., Wang, B., Guo, X., Yan, B., Xia, Y., Peng, M., 2015. Analysis of different strategies adapted by two cassava cultivars in response to drought stress: ensuring survival or continuing growth. *Journal of Experimental Botany* 66, 1477-1488.