



UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CAMPUS DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – PRODUÇÃO VEGETAL

Carlos Roberto Silva de Oliveira

SELEÇÃO PRECOCE DE CLONES DE MANDIOCA PARA
TOLERÂNCIA AO DÉFICIT HÍDRICO

Petrolina - PE

2020

Carlos Roberto Silva de Oliveira

**SELEÇÃO PRECOCE DE CLONES DE MANDIOCA PARA
TOLERÂNCIA AO DÉFICIT HÍDRICO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal do *Campus* de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Vale do São Francisco, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Agronomia – Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Jerônimo Constantino Borel

Coorientador: Dr. Eder Jorge de Oliveira

Petrolina - PE

2020

O48s Oliveira, Carlos Roberto Silva de

Seleção precoce de clones de mandioca para tolerância ao déficit hídrico / Carlos Roberto Silva de Oliveira. Petrolina, 2020.

X 73 f.: il. 29 cm

Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Ciências Agrárias, Petrolina – PE, 2020.

Orientador: Prof. Dr. Jerônimo Constantino Borel.

Inclui referências.

1. Genética vegetal. 2. Melhoramento genético 3. Mandioca – Semiárido. I. Título. II. Borel, Jerônimo Constantino. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 581.15

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CAMPUS DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – PRODUÇÃO VEGETAL

FOLHA DE APROVAÇÃO

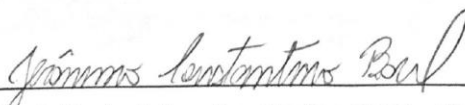
Carlos Roberto Silva de Oliveira

SELEÇÃO PRECOCE DE CLONES DE MANDIOCA PARA TOLERÂNCIA AO
DÉFICIT HÍDRICO

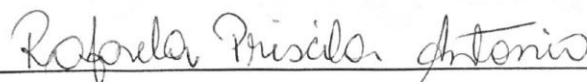
Dissertação apresentada como
requisito parcial para obtenção
do título de Mestre em
Agronomia – Produção Vegetal,
pela Universidade Federal do
Vale do São Francisco.

Aprovada em: 30 de Abril de 2020.

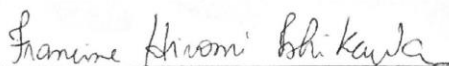
Banca Examinadora



Prof. Dr. Jerônimo Constantino Borel – Orientador
Universidade Federal do Vale do São Francisco



Dra. Rafaela Priscila Antônio – Membro externo
Embrapa Semiárido



Profa. Dra. Francine Hiromi Ishikawa
Universidade Federal do Vale do São Francisco

Ao meu avô Alfredo (in memoriam)
Aos meus pais José Antônio e Maria Marlene
Aos meus irmãos André e Renato, companheiros de toda vida,
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por todas as coisas boas e obstáculos superáveis que ele colocou em minha vida. Pelas lições que tenho aprendido ao longo desse caminho, mesmo que algumas delas me tenham trazido sofrimento. Muito obrigado pela maturidade em entender que o sofrimento rompe a casca do ego, que ele só é necessário até o momento no qual eu me dê conta de que ele é totalmente desnecessário.

Aos meus pais José Antônio e Maria Marlene pela compreensão, contribuição na minha educação e amor. Agradeço pela paciência, pois durante a graduação e mestrado, em diversos momentos importantes não pude estar presente fisicamente em casa. Por todos os ensinamentos compartilhados ao longo desses trinta anos. Muito obrigado por me cobrarem apenas uma coisa, minha felicidade. Amo muito vocês.

Aos meus queridos irmãos Carlos André e José Renato, por toda confiança, compreensão e apoio. Que nossa amizade permaneça duradoura, sempre tendo um como alicerce dos outros. Que Deus continue a abençoar vocês e meus sobrinhos (Victor Daniel e Antônio Carlos).

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Produção Vegetal, pelos ensinamentos e contribuição na minha formação profissional. Principalmente ao meu orientador Prof. Dr. Jerônimo Constantino Borel, pela confiança, dedicação, acompanhamento e orientação deste trabalho. Muito obrigado por todo o aprendizado compartilhado durante esses cinco longos anos, se não fôssemos tão “malucos” não teríamos chegados até aqui.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Eder Jorge de Oliveira e a equipe da mandioca, da Embrapa Mandioca e Fruticultura pela oportunidade de trabalho e confiança. Em especial ao Adilson por toda ajuda no campo e bastante paciência durante as colheitas.

Aos meus amigos do grupo de pesquisa NEMEP que contribuíram bastante no campo e em outros diversos momentos, sendo eles: Bruna Parente, Kethelen, Amanda, Éricles, Mathaus, Vanessa e Omar. Agradeço também a Luarda, que nos auxiliou durante o experimento. Além desses, agradeço especialmente a Simone

Leal e Danilo Alves por todos esses anos de conselhos, incentivos, ajuda nos momentos de desespero e diversão.

Aos meus queridos amigos e seus familiares que a graduação e mestrado me proporcionou: Anderson Oliveira, Aline Mariele, Fábio Sanchez, Vítor Fonseca, Layanne Damasceno, Victória Galvão, Maria Eugênia, Thaís Oliveira, Kátia Araújo, Erasmo Nobre e Aline Mayara. Apesar da distância e da falta de atenção dedicada a vocês durante esses últimos anos, guardo muito amor e uma grande consideração por cada um, obrigado por ainda insistirem em ser meus amigos.

Aos meus eternos irmãos da casa dois: Izanildo, Danilo, Tarcísio, Rui, Ariel, Teogene. Além dos eternos amigos da residência: Uêdija, Mayara, Denise, Isa, Geisiane, Sabrina e Mirela.

Aos meus queridos amigos que a Irlanda me proporcionou: Letícia Baltar, Andréia Goffi, Letícia Gabrielle, Garret Fitzgerald, Verônica Kastalski, Jéssica Danielly e Iasmim Mangabeira. Agradeço pela paciência durante todo esse tempo, amo vocês.

Aos meus colegas do Mestrado por todas as experiências trocadas, Luciana, Ítala, Daniel, Tamires e Wesley. Pessoas maravilhosas com quem aprendi que a vida não pode ser levada tão a sério e que no final tudo dará certo.

Aos funcionários de campo da Univasf/CCA, em especial ao Sr. Enoc e Sr. Givaldo pelo suporte e ajuda em campo.

Enfim, a todos que contribuíram de alguma forma durante essa jornada.

RESUMO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) possui grande importância na segurança alimentar, pois é uma das principais fontes de energia para milhões de pessoas de baixa renda ao redor do mundo. É considerada uma cultura tolerante ao déficit hídrico e rústica, entretanto há pouco conhecimento a respeito da tolerância da mandioca ao estresse hídrico em condições semiáridas. Os objetivos deste estudo foram estimar parâmetros genéticos e selecionar genótipos de mandioca tolerantes ao estresse hídrico precocemente em condições semiáridas. As estimativas dos componentes de variância e predição dos valores genéticos foram obtidas por meio do método da máxima verossimilhança restrita e melhor predição linear não viciada (REML/BLUP), além dos parâmetros genéticos e correlações genotípicas. A maioria das características avaliadas apresentou alta precisão. O maior valor da herdabilidade a nível de média de família foi 0,83 para altura de plantas e o maior coeficiente de correlação genético (0,70) foi obtido entre o número de raízes e peso de raízes. O caráter número de raízes pode ser utilizado na seleção indireta para produtividade de raízes em mandiocas avaliadas seis meses após o plantio. Na população vinte e cinco genótipos foram classificados como tolerantes ao estresse hídrico. Os maiores ganhos previstos nas médias com a seleção foram obtidos para as características número de raízes por planta (67,87%) e retenção foliar (60,80%). Os genótipos BGM-0648, BRS Formosa, Capixaba e Vassoura Preta apresentaram produtividades superiores a 8 Mg ha⁻¹ em condições de severo estresse hídrico.

Palavras-chave: *Manihot esculenta*, REML/BLUP, melhoramento genético, índice de seleção, Semiárido.

ABSTRACT

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) has great importance in food security, because it is one of the main sources of energy for millions of low-income people around the world. It is considered a rustic and drought stress tolerant crop widely cultivated in regions that have long periods of drought, but there is not enough knowledge about it in semiarid conditions. The objectives of this study were to estimate genetic parameters and perform early selection of drought tolerant cassava genotypes in semi-arid conditions. The estimates of the components of variance and prediction of genetic values were obtained using the restricted maximum likelihood / best linear unbiased prediction (REML / BLUP), in addition to genetic parameters and genotypic correlations. Most of the characteristics evaluated were highly accurate. The highest heritability was 0.83 for plant height and the highest coefficient of genetic correlation (0.70) was obtained between root number and root weight. The characteristic number of roots can be used in indirect selection for root yield in cassava evaluated six months after planting. Twenty-five genotypes in the population were classified as tolerant to drought. The greatest expected genetic gains using the selection of the best genotypes were obtained for the characteristics number of roots (67.87%) and leaf retention (60.80%). The genotypes BGM-0648, BRS Formosa, Capixaba and Vassoura Preta presented fresh root yield greater than 8 Mg ha⁻¹ under conditions of severe water stress.

Palavras-chave: *Manihot esculenta*, REML/BLUP, plant breeding, selection index, Semiarid.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CM	Severidade de ácaros
CVg	Coeficiente de variação genotípica
Cve	Coeficiente de variação ambiental
CVr	Coeficiente de variação relativa
DMC	Conteúdo de matéria seca de raízes
Dw	Lâmina d'água
GS	Ganho de seleção
IA	Média melhorada
ISHE	Índice de seleção para estresse hídrico
LR	Retenção foliar
P	Precipitação pluviométrica
PH	Altura de plantas
RD	Diâmetro de raiz
RL	Comprimento de raiz
RN	Número de raiz
RW	Peso de raízes
SD	Diâmetro de caule
SN	Número de caules
SW	Peso da parte aérea
Tm	Temperatura média do ar
UR	Umidade relativa média do ar
h^2	Herdabilidade
h_m^2	Herdabilidade em nível de média de clones
σ_e^2	Variância ambiental
σ_g^2	Variância genética
σ_f^2	Variância fenotípica
\bar{x}_f	Média do caráter
\bar{x}_h	Média harmônica do número de repetições

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1 Aspectos gerais da mandioca	15
2.2 Efeitos do estresse hídrico na cultura da mandioca	16
2.3 Variabilidade genética para tolerância ao estresse hídrico em mandioca	19
2.4 Seleção precoce de acessos de mandioca tolerantes ao estresse hídrico.....	20
2.5 Parâmetros genéticos para características morfoagronômicas de mandioca sob estresse hídrico.....	23
3 REFERÊNCIAS.....	25
PARÂMETROS GENÉTICOS E ANÁLISE DE TRILHA PARA PRODUTIVIDADE DE RAÍZES DE MANDIOCA SOB ESTRESSE HÍDRICO EM FASE PRECOCE DE COLHEITA	32
1. INTRODUÇÃO	34
2. MATERIAL E MÉTODOS	35
2.1 Caracterização da área experimental	35
2.2 Avaliações morfoagronômicas	36
2.3 Análises genéticas e estatística	37
3. RESULTADOS	38
4. DISCUSSÃO	42
5. CONCLUSÃO.....	46
6. REFERÊNCIAS.....	46
CAPÍTULO 3	50
SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE MANDIOCA SOB ESTRESSE HÍDRICO COM BASE EM ÍNDICE DE SELEÇÃO VIA BLUP PARA PRODUTIVIDADE DE RAÍZES	50
1 – INTRODUÇÃO	52
2 - MATERIAL E MÉTODOS.....	53
2.1. Material vegetal e condução dos ensaios	53
2.2. Características avaliadas	54
2.3. Análise dos dados	55
3 – RESULTADOS	55
4 - DISCUSSÃO	62
5 – CONCLUSÃO.....	66
6 – REFERÊNCIAS.....	66

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
APÊNDICE.....	71

1. INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma das culturas mais produzidas e consumidas em regiões tropicais. No Brasil, a mandioca é cultivada em todos os estados, possuindo grande importância econômica, principalmente na alimentação humana e animal, além de ser utilizada como matéria-prima para diversos produtos industriais e, recentemente, na produção de biocombustível (EL-SHARKAWY, 2012).

A mandioca na região Nordeste do Brasil é apontada como cultura de subsistência e também matéria-prima agroindustrial sendo, em sua maioria, explorada principalmente por pequenos produtores que utilizam diferentes tipos de sistemas de produção (FELIPE; ALVES; CAMARGO, 2010). Isso ocorre devido a sua rusticidade, tendo em vista que a mandioca consegue se desenvolver em solos pobres e em condições climáticas adversas, sem muitas exigências com tratamentos culturais (FUKUDA, 2006).

Apesar da mandioca ser considerada tolerante ao déficit hídrico, nem todos os genótipos apresentam a mesma resposta, pois em regiões de clima semiárido com prolongados períodos de seca, seu rendimento pode ser bastante prejudicado (OLIVEIRA et al., 2017; VITOR et al., 2019). A tolerância ao estresse hídrico é uma característica quantitativa, o que torna o processo de seleção para ganho genético mais difícil, pois além de possuir grande número de genes envolvidos, ainda existe o efeito do ambiente (AKINWALE et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2014). Dessa forma, a caracterização morfológica e sua correlação com a produtividade sob déficit hídrico é de suma importância para determinar quais atributos fenotípicos estão diretamente relacionados a esse tipo de estresse, além de proporcionar embasamento para a seleção indireta para esse caráter (OLIVEIRA et al., 2015).

Dependendo do genótipo e do período ao qual as plantas de mandioca são submetidas ao estresse hídrico, resultados de pesquisas apontam que as perdas na produtividade de raízes variaram entre 22% e 75% (OKOGBENIN et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2015) e que o teor de matéria seca das raízes pode ser reduzido em cerca de 26% (OLIVEIRA et al., 2017). Também ocorreu diminuição na altura das plantas entre 33 e 47% (AINA; DIXON; AKINRIDE, 2007; OLIVEIRA et al., 2017) e decréscimo de cerca de 37 a 55% na produtividade da parte aérea, tendo como consequência perdas na produção, uma vez que a parte aérea apresenta alta

correlação com a produção de raízes (OKOGBENIN et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2017).

De acordo com Fukuda et al. (2010), descritores morfológicos e agronômicos importantes que estão correlacionados ao estresse hídrico devem ser avaliados apenas aos 12 meses após o plantio, por ocasião da colheita. Entretanto, realizar a avaliação e coleta dessas informações mesmo em detrimento à produtividade máxima de raízes é vantajoso uma vez que reduzirá custos e tempo em etapas iniciais de melhoramento da cultura (ADJEBENG-DANQUAH et al., 2016). Em adição, de acordo com Laban et al. (2013) a estimativa de parâmetros genéticos e a correlação de caracteres de alta herdabilidade e estáveis no momento da análise com a produtividade sob estresse é importante para realizar a seleção de acessos de forma precoce.

Genótipos que apresentem alta produtividade com ciclo precoce é uma alternativa para escapar do estresse hídrico prolongado, além de ser desejável por produtores, uma vez que suas terras não permaneceriam ocupadas por longos períodos de tempo, o que atrasaria a rotação com outras culturas. Sendo assim, estas informações são importantes para os agricultores que pretendem elevar a produtividade dessa cultura em regiões semiáridas, como também para programas de melhoramento e conservação dos recursos genéticos vegetais.

Ademais, apesar de haver mecanismos fisiológicos e morfológicos na espécie para tolerância ao déficit hídrico e o Nordeste brasileiro possuir a maior diversidade genética de germoplasma de mandioca voltada a esse tipo de dano, o estresse hídrico ainda é um dos principais fatores responsáveis pela baixa produtividade da cultura dessa região (AINA et al., 2007; OKOGBENIN et al., 2013). Para que ocorra o aumento na produtividade da mandioca em regiões semiáridas, a vasta variabilidade genotípica presente no germoplasma deve ser estudada em seu local de interesse e nas regiões de maior cultivo e importância econômica (EL-SHARKAWY, 2007; AINA et al., 2009).

Tendo em vista esses fatos, este trabalho teve como objetivos estimar os parâmetros genéticos de 11 características morfoagronômicas e realizar a seleção precoce de clones de mandioca para tolerância ao estresse hídrico em condições semiáridas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Aspectos gerais da mandioca

Pertencente à família Euphorbiaceae, o gênero *Manihot* apresenta como possível centro de origem e primeiro centro de diversificação a região Mesoamericana. Em seguida, diversificou-se na América do Sul, ocupando todos os tipos de planícies, onde a maioria das espécies são restritas a áreas sazonalmente secas, como a Caatinga e o Cerrado brasileiro (DUPUTIÉ et al., 2011). A espécie *Manihot esculenta* Crantz (mandioca) é a de maior importância econômica desse gênero, tendo como provável local de origem a região sul da Bacia Amazônica e o provável progenitor selvagem *Manihot esculenta* subsp. *flabellifolia* (Pohl) Ciferri (OLSEN, 2004).

A mandioca possui grande importância social, pois é uma cultura considerada alimento básico de áreas rurais por causa de sua adaptação a ambientes marginais (DUQUE; SETTER, 2019). Em países emergentes como o Brasil, é uma das culturas que fazem parte da base econômica de subsistência de pequenos agricultores familiares, sendo uma das principais fontes fornecedoras de carboidratos (CLEMENT et al., 2010). Na região Nordeste, a mandioca é apontada como cultura de subsistência e também matéria-prima agroindustrial sendo, em sua maioria, mais explorada por pequenos e médios agricultores que utilizam diferentes tipos de sistemas de produção (FELIPE; ALVES; CAMARGO, 2010).

A produtividade média de raízes para região Nordeste e o estado de Pernambuco é de 9,0 Mg ha⁻¹, enquanto que para Petrolina é de apenas 7,5 Mg ha⁻¹, independente do sistema de produção, podendo esse ser de sequeiro ou irrigado (IBGE, 2018). Porém estudos apontam, que o rendimento da cultura pode ser superior em regiões semiáridas e ainda que a colheita pode ser realizada de forma precoce. Oliveira et al. (2011) avaliaram nove variedades de mandioca em Petrolina/PE utilizando sistema de base agroecológica com estresse hídrico moderado a partir do terceiro mês e colheita realizada no oitavo mês. Nestas condições estes autores relataram produtividade média de raízes superiores para região, alcançando 12 Mg ha⁻¹.

Florentino et al. (2013) avaliando a resposta de genótipos de mandioca submetidas a fertilização fosfática e calagem em comunidades dependentes de chuva no semiárido e colheita realizada ao sétimo mês, obtiveram produtividade variando entre 13,4 e 24,9 Mg ha⁻¹, confirmando com isso que a realização da

colheita precoce pode ser uma alternativa viável para produção da cultura em locais secos, necessitando apenas de investimentos com o aumento do nível tecnológico. Esses resultados reforçam que a cultura apresenta alta adaptação a diferentes agroecossistemas, uma vez que consegue se desenvolver sob períodos de escassez de água e sem a necessidade de muitos tratamentos culturais (FUKUDA et al., 2006).

A mandioca é cultivada em climas bastante contrastantes, desde regiões semiáridas que possuem precipitações médias ≤ 500 mm a regiões úmidas ≥ 3.000 mm (AFONSO, 2014). A precipitação anual ideal é em torno de 1.000 a 1.500 mm, com boa distribuição entre o sexto e oitavo mês após o plantio (FUKUDA, 2006). O crescimento e produção da mandioca são favorecidos por umidade do ar entre 60 e 70% (ABREU et al., 2008). A espécie é conhecida por sua tolerância ao estresse hídrico, visto que a maior parte é produzida em regiões com menos de 700 mm de chuva por ano com uma estação seca de 4 a 6 meses (EL-SHARKAWY, 2012). De acordo com Lorenzi (2012), a faixa de temperatura média anual ideal para a cultura é entre 25° e 30° C, contudo El-Sharkaway e Cock (1984) afirmam que estas podem tolerar temperaturas variando entre 16° e 38° C.

Sua reprodução é predominantemente por meio de propagação vegetativa utilizando manivas, que são fragmentos do caule que apresentam gemas vegetativas capazes de gerar um novo indivíduo, obtendo-se ao final um clone. O cultivo é realizado nas mais variadas condições edafoclimáticas, entre as latitudes 30° N e 30° S e em altitudes que variam desde o nível do mar até cerca de 2.300 m, porém a região preferencial de cultivo está entre 15° N e 15° S e altitude entre 600 e 800 m (EL-SHARKAWY, 2012; VIEIRA et al., 2013; GABRIEL, 2014).

Em relação ao fotoperíodo, a mandioca é uma planta de dias curtos e alcança maiores produções de raízes com fotoperíodos entre 10 e 12 horas (ALVES, 2002). Dias longos (superiores a 12h) favorecem o crescimento da parte aérea e diminuem o crescimento das raízes de reserva (FAGUNDES et al., 2010). Por ser uma planta heliófita, a produção de matéria seca possui correlação positiva com a radiação incidente, na qual, caso ocorra a diminuição da radiação, a taxa de crescimento e produtos de reserva também é reduzida (LORENZI, 2012).

2.2 Efeitos do estresse hídrico na cultura da mandioca

O estresse é definido como qualquer condição ambiental que impeça a planta de alcançar seu potencial genético pleno. Dentre os estresses abióticos, existe o estresse hídrico, no qual a deficiência hídrica ocorre quando o conteúdo de água de um tecido ou célula está abaixo do conteúdo de água de máxima hidratação (TAIZ et al., 2017). Em diversas espécies, o estresse hídrico é um dos principais fatores limitantes à produtividade (SHANKER et al., 2014).

O desempenho dos genótipos de mandioca frente ao estresse hídrico não é igual, mesmo sendo considerada uma cultura tolerante à seca, seu rendimento de raízes pode ser bastante prejudicado dependendo do período de exposição ao déficit (OLIVEIRA et al., 2017; VITOR et al., 2019). O período mais crítico ocorre entre o primeiro e quinto mês após plantio, que corresponde ao período de formação das raízes tuberosas e rápido crescimento foliar (OKOGBENIN et al., 2013; DARYANTO; WANG; JACINTHE, 2016). Caso ocorra déficit hídrico de pelo menos dois meses durante essa fase, a produção de raízes pode ser reduzida em até 60% (CONNOR; PALTA, 1981).

Independente do conteúdo de água no solo, os estômatos presentes nas folhas da mandioca são sensíveis à umidade relativa do ar. Em condições de campo, quando o solo apresenta deficiência hídrica e a umidade relativa está alta, como, por exemplo, nos primeiros horários da manhã ou durante períodos de chuva, os estômatos permanecem abertos. Em períodos no qual a umidade relativa (UR) está baixa, a folha da mandioca fecha parcialmente seus estômatos, ficando protegida da desidratação, permanecendo assim fotossinteticamente ativa. Esse mecanismo permite a maximização da eficiência do uso da água (EUA) durante longos períodos de seca (LEBOT, 2009; EI-SHARKAWY, 2012).

Na região semiárida a colheita dos tubérculos ocorre normalmente até o primeiro ano após o plantio (OLIVEIRA et al., 2011; SILVA et al., 2013). Quando não realizada nesse período o estresse hídrico prolongado no final do ciclo do primeiro ano pode fazer com que a planta entre em uma fase de dormência. A dormência é caracterizada pela redução da produção, pela perda majoritária ou total de folhas e pelo término do crescimento vegetativo da parte aérea (ALVES, 2002). Após o período de déficit hídrico, que é normalmente quebrado pela chuva, a planta inicia uma nova formação de folhas, para restabelecer sua capacidade fotossintética, em razão disso ocorre a perda de amido de reserva limitando ainda mais sua produtividade (EL-SHARKAWY, 2012).

Para El-Sharkawy (2007), as perdas causadas pela dormência induzida pelo déficit hídrico em alguns genótipos não são significativas dependendo da extensão, uma vez que a mandioca possui uma alta capacidade de recuperação e pode atingir sua máxima produção de biomassa após a reidratação. Isso ocorre graças à rápida formação de novas folhas de alta taxa fotossintética logo após o estresse, tendo como resultado uma produção de raiz similar às plantas cultivadas em condições ideais. Apesar dessa alta capacidade de gerar energia, Okogbenin, Ekanayake e Porto (2003) estudando três níveis diferentes de estresse, verificaram redução de 23% na formação de novas folhas no nível de estresse hídrico severo.

O decréscimo na disponibilidade de água também possui efeito deletério no crescimento, uma vez que, para compensar a diminuição no potencial hídrico ocorre aumento na produção de ácido abscísico resultando no fechamento estomático, reduzindo a perda de água por transpiração. No entanto, devido ao fechamento total dos estômatos ocorre a diminuição da absorção de CO₂ pela folha, reduzindo, assim, a fotossíntese e reprimindo o crescimento (LEBOT, 2009; ZHAO et al., 2015). A redução na altura de plantas submetida ao estresse hídrico pode variar entre 33 e 47% (AINA; DIXON; AKINRINDE, 2007; OLIVEIRA et al., 2017). A magnitude da perda está relacionada ao tempo no qual a planta fica submetida ao estresse, ao estágio fenológico e às características intrínsecas do genótipo.

Além do rápido fechamento estomático, a mandioca possui outros mecanismos de tolerância à seca, como, a redução da área foliar causada pela diminuição no número de folhas basais. O resultado disso é a atenuação da interceptação da luz para realização da fotossíntese, tendo como consequência perdas na produtividade (OKOGBENIN et al., 2013). Após essa perda foliar causada pelo estresse hídrico, a planta passa a não apresentar as características morfológicas necessárias para se obter a produção máxima sob condições edafoclimáticas de crescimento favoráveis - índice de área foliar entre 2.5 e 3.5 durante a maior parte do ciclo, vida longa de folha com cerca de 100 dias e área de uma folha em torno de 500 cm² (EL-SHARKAWY, 2012).

Por fim, outra estratégia utilizada pela planta para mitigar os efeitos do estresse hídrico é o investimento em um sistema radicular mais profundo. Apesar da mandioca possuir raízes esparsas e finas, essas são capazes de penetrar em camadas mais profundas do solo, abaixo de 2 m de profundidade, permitindo a extração da água armazenada quando disponível (EL-SHARKAWY, 2007).

Entretanto, o investimento no alongamento das raízes frente ao estresse hídrico ocorre em detrimento à produtividade (ZHAO et al., 2015; ADJEBENG-DANQUAH et al., 2016).

2.3 Variabilidade genética para tolerância ao estresse hídrico em mandioca

A cultura da mandioca apresenta uma grande variabilidade genética no Brasil, visto este ser o provável centro de origem e diversificação da espécie (OLSEN, 2004). Grande parte da diversidade de mandioca é mantida em bancos de germoplasma, normalmente constituídos por variedades nativas, selecionadas ou não por agricultores, e parentes silvestres (VIEIRA et al., 2008; RIBEIRO et al., 2011).

No Nordeste existem dois bancos regionais de germoplasma de mandioca, o primeiro é o BRG de mandioca para as condições de litoral e de tabuleiros costeiros do Nordeste, localizado na Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas - BA, que apresenta 2.324 de acessos (ALELO, 2020). O segundo, é o BAG de mandioca que está sob a responsabilidade da Embrapa - Semiárido, em Petrolina-PE, possuindo 347 acessos oriundos de municípios localizados no semiárido do Nordeste do Brasil, no qual a maior parte apresenta alta tolerância à seca (FUKUDA, 2005). A vasta diversidade genética existente representa uma ampla base genética para programas de melhoramento genético com a cultura em todo o mundo tropical.

Para utilizar essa variabilidade genética disponível, o material genético deve ser devidamente avaliado por características agronômicas, morfológicas, fisiológicas e/ou em nível molecular. Essas avaliações são importantes para remover acessos duplicados e aumentar a probabilidade de seleção de genótipos com maior desempenho em características de interesse, garantindo assim frequência de alelos favoráveis nas progênes e também nos híbridos (ADJEBENG-DANQUAH et al., 2016).

A nível molecular, estudos apontam que a regulação a resistência ao estresse hídrico em mandioca é controlada por diferentes genes de regulação complexa e de fatores de transcrição. Dentre os genes e fatores de transcrição já identificados estão presentes alguns genes das famílias de fator resposta ao etileno (FRE) (FAN et al, 2016), fatores de transcrição zipper básico de leucina (bZIP) que atua na expressão de proteínas funcionais (HU et al., 2016) e fatores de transcrição (TF) da

família WRKY de que estão envolvidos diretamente na regulação do fechamento estomático mediado pelo ácido abscísico (ABA) (WEI et al., 2019).

De forma geral, estudos de variabilidade genética utilizando um grande número de acessos é realizado por meio de procedimentos multivariados com base em medidas de dissimilaridade calculadas a partir de um conjunto de características morfológicas (ZAGO et al., 2017). Além do grau de variação genética, também é possível utilizar as informações da avaliação morfológica para realizar correlações entre características agrônômicas de importância econômica, como por exemplo, a produtividade de raízes.

2.4 Seleção precoce de acessos de mandioca tolerantes ao estresse hídrico

Em regiões de clima semiárido, além da necessidade dos genótipos expressarem alto rendimento e produtividade, a seleção de acessos de ciclo precoce é importante como uma alternativa para escapar da seca prolongada. Além do ciclo, o alto rendimento precoce de raízes é uma característica importante na identificação de acessos mais tolerantes ao estresse hídrico. A utilização de cultivares comerciais que não apresentam essas características tem sido um dos principais fatores na diminuição do rendimento da cultura e no teor de matéria seca nessa região (ADJEBENG-DANQUAH et al., 2016).

A caracterização morfoagronômica de acessos submetidos ao déficit hídrico é uma das primeiras etapas para que ocorra a seleção de genótipos que apresentem alto rendimento e produtividade. A divergência genética entre os acessos de mandioca permite a escolha de genótipos para o melhoramento da cultura, uma vez que identifica características superiores e herdáveis. Além disso, o uso de descritores morfológicos durante a caracterização é mais acessível e pode orientar a utilização de outras técnicas como, por exemplo, a seleção indireta e caracterização molecular.

Pesquisas visando ao aumento da tolerância ao déficit hídrico têm ajudado na identificação e seleção de genótipos para utilização em programas de melhoramento (OKOGBENIN et al. 2013; OLIVEIRA et al. 2017). Entretanto, levando em consideração a quantidade de material presente nos bancos de germoplasma do Brasil, a quantidade de acessos caracterizados e avaliados sob condições de estresse hídrico ainda é muito baixa.

O melhoramento da mandioca, de forma geral, possui como um dos principais objetivos a seleção de genótipos que apresentem alta produtividade de raízes (NTAWURUHUNGA; DIXON, 2010). Outro objetivo seria a avaliação e seleção precoce de genótipos em estágios iniciais como preditor final da produtividade de raízes para desenvolvimento de novas variedades. Contudo, seria mais rápido e fácil realizar a seleção por meio de características fenotípicas desejáveis que contribuem para o alto rendimento radicular, principalmente em ambientes propensos à seca, devido ao alto grau de influência ambiental e a sua natureza multigênica (AKINWALE et al., 2010).

De acordo com Okogbenin et al. (2013), as avaliações de características associadas à adaptação ao estresse hídrico iniciam-se ao terceiro mês, considerando as seguintes características: retenção foliar, número de brotações por maniva, número de bifurcações, altura da planta, massa da parte aérea sem folhas e incidência de pragas e doenças. Além desses, durante e após a colheita são mensurados a massa fresca da parte aérea, massa fresca de raízes, número de raízes, diâmetro do caule, matéria seca de raiz e conteúdo de amido.

O melhoramento genético por meio da hibridação intraespecífica é o processo mais comumente utilizado na mandiocultura, mesmo esse sendo um processo demorado e de alto custo de manutenção uma vez que programas de melhoramento tendem a não realizar as avaliações e colheita precocemente (BREDESON et al., 2016). No Brasil, de acordo com Oliveira et al. (2012), o tempo para o lançamento de uma nova cultivar é de no mínimo 10 anos, quando utilizado o método convencional envolvendo seleção de genótipos que apresentem alto rendimento de raízes, cruzamentos intraespecíficos para geração de sementes sexuais (F1) e seleção dos melhores clones por reprodução assexual (utilizando manivas).

Já nas primeiras etapas do melhoramento existem barreiras que dificultam o avanço do programa como, por exemplo, a dificuldade na seleção de parentais elites identificados por meio da caracterização e avaliação dos genótipos, a limitação do número de sementes de variedades elite e a floração assíncrona ou não florescimento dos genótipos (BREDESON et al., 2016). Já em estágios mais avançados, a falta de material suficientemente disponível para avaliações dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade replicadas em vários locais também se torna uma dificuldade, necessitando de ao menos dois anos para avançar essa etapa (CEBALLOS et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2012).

A avaliação de 49 genótipos em duas situações distintas (com irrigação e sob estresse hídrico) em Petrolina, cidade do semiárido pernambucano, permitiu constatar que os descritores morfológicos e agronômicos que mais contribuem com o rendimento de raízes nessa região foram o índice de área foliar, número de folhas no oitavo mês após o plantio, número de raízes por planta e produtividade da parte aérea (SILVA, SOUZA ; OLIVEIRA, 2019). Entretanto, a colheita foi realizada cerca de 12 meses após o plantio, não respondendo sobre a possibilidade de ser realizada precocemente.

Vitor et al. (2019) avaliaram nove genótipos no semiárido nordestino em dois períodos distintos de colheita: 4 e 12 meses após o plantio (MAP) sob déficit hídrico e disponibilidade ideal de água e concluíram que dentre diversos modelos estudados, o modelo de predição quadrados mínimos parciais foi o que apresentou o melhor resultado. Nesse mesmo estudo, os pesquisadores constataram que os caracteres agronômicos número de raízes por planta e produtividade de raízes coletados aos 4 MAP dos genótipos submetidos ao estresse hídrico, apresentaram alta capacidade de predição da produtividade final de raízes aos 12 MAP. Entretanto, os resultados obtidos por Vitor et al. (2019) divergiram em relação aos descritores produtividade da parte aérea, retenção foliar e altura de plantas quando comparados a outros estudos (LENIS et al., 2006; AIDAR et al., 2015; SILVA; SOUZA; OLIVEIRA, 2019). Em relação a essas características, essas divergências ocorreram, uma vez que sob condições ideais de disponibilidade de água, o crescimento vegetativo mais ativo da mandioca ocorre entre 3 e 6 MAP (ALVES, 2006), como os genótipos sofreram estresse hídrico a partir do 3º MAP, os rendimentos desses descritores foram prejudicados, assim como a produtividade de raízes (PEREZ et al., 2011; OKOGBENIN et al., 2013; DARYANTO; WANG; JACINTHE, 2016).

Considerando os resultados de pesquisas disponíveis, é razoável inferir que realizar a avaliação precoce no período de 6 MAP para predizer a produtividade final aos 12 MAP pode apresentar correlação positiva entre as características morfoagronômicas e o período de colheita. Essa hipótese corrobora os resultados obtidos por Adjebeng-Danquah e Safo-Kantanka (2013), sob condições normais de cultivo, que ao realizarem a caracterização morfoagronômica de diferentes acessos de mandioca aos 6, 8, 10 e 12 MAP, obtiveram uma correlação positiva de alta magnitude entre produtividade de raízes entre os períodos de 6 e 12 MAP,

confirmando a possibilidade de seleção de genótipos com maior potencial produtivo de forma precoce.

A realização da seleção precoce aos 6 MAP pode permitir que sejam realizados dois ciclos anuais, isso reduz os altos custos de experimento de campo para fenotipagem dos acessos. Em adição, essa estratégia possibilita maior tempo para tuberização das raízes e identificação de genótipos que apresentam alta retenção foliar (ALVES, 2006).

A retenção foliar é um dos principais caracteres associados ao aumento na produtividade e tolerância à seca, além de possuir correlação positiva com a qualidade das raízes (OSIRU et al., 1994). Genótipos que conseguem prolongar a vida útil de suas folhas, conseguem manter sua área fotossinteticamente ativa por mais tempo, garantindo assim produção de raízes mais satisfatória.

Para Alves (2007), o acúmulo de matéria seca nas raízes inicia-se apenas quando a parte aérea produz a quantidade de brotos suficientes. Entretanto, Okogbenin e Fregene (2002) sugeriram que essa característica é dependente do genótipo, podendo o mesmo investir na parte aérea e no sistema radicular ao mesmo tempo, e que essa partição de carboidratos também depende das condições ambientais. Durante períodos de estresse hídrico a planta tende a investir mais em seu sistema radicular para aumentar a área de absorção de água e nutrientes, reduzindo assim o crescimento da parte aérea.

2.5 Parâmetros genéticos para características morfoagronômicas de mandioca sob estresse hídrico

Um dos passos mais importantes da seleção é a estimação dos parâmetros genéticos, uma vez que estes permitem conhecer a estrutura genética das populações. A mandioca é uma espécie altamente heterozigótica e que várias características morfoagronômicas apresentam alta interação ambiental, por conta disso, para se estimar o potencial e definir as melhores estratégias de seleção dos genótipos é necessário quantificar os distintos efeitos genéticos e ambientais dos caracteres de interesse para o melhoramento (ESPITIA et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2014; SAYD, 2014).

Dessa forma a obtenção dos componentes da variância ambiental (σ_e^2), variância genotípica (σ_g^2) e variância fenotípica (σ_f^2) são de suma importância para

orientar a seleção dos genótipos mais promissores. A variância ambiental (σ_e^2), denominada erro experimental, é todo o conjunto de fatores internos e externos ao indivíduo que influem na expressão do genótipo, ou seja, é toda variabilidade de natureza não genética. A variância genética (σ_g^2) resulta da segregação, recombinação e da interação de genes, sendo dividida em variância genética aditiva, variância de dominância e variância epistática. A variância fenotípica (σ_f^2) descreve a variação observada na população para determinado caractere resultando dos efeitos genéticos e ambientais, assim como da interação entre eles (BUENO; MENDES; CARVALHO, 2001).

Além desses, de acordo com Cruz (2005), o coeficiente de variação genético (CVg) e ambiental (CVe), o coeficiente de variação relativa (CVr) (razão CVg/CVe) e a herdabilidade (h^2) são parâmetros genéticos importantes em programas de melhoramento, uma vez que auxiliam na escolha do método de melhoramento mais apropriado à cultura, otimizando assim os ganhos com a seleção.

O coeficiente de variação genético (CVg) é um parâmetro que permite estimar a dimensão da variabilidade genética que compõe as populações em diferentes características. O CVg se define pela razão entre o desvio padrão genético e a média dos genótipos, sendo expresso em percentagem. Este parâmetro indica a possibilidade de obtenção de mudanças para uma determinada característica, por meio de seleção, quanto maior for seu valor, maior será a possibilidade de ganhos genéticos. Enquanto o coeficiente de variação ambiental (CVe) estima a precisão do experimento, é um parâmetro estatístico e não genético, e seu valor depende apenas da variação residual como proporção da média do experimento, também expresso em porcentagem (RESENDE; DUARTE, 2007). Segundo Cruz, Regazzi e Carneiro (2012) quando o valor do coeficiente de variação relativa (CVr) for igual a 1,0 ou maior que 1,0 na experimentação, isso indica uma situação mais favorável para a obtenção de ganhos genéticos com a seleção. O CVr apresenta valores superiores a uma unidade quando a variação genética supera a variação ambiental.

A herdabilidade é o parâmetro genético que expressa a proporção da variação genética na variação fenotípica, ou seja, a confiabilidade do fenótipo em expressar o genótipo. Para Siqueira et al. (2009), em características quantitativas, os efeitos do ambiente exercem um alto poder de influência no fenótipo dos indivíduos, tendo como resultado estimativas menores de herdabilidade. Por expressar a

possibilidade de sucesso com a seleção para determinada característica no ambiente em que os genótipos foram estudados, como em regiões que apresentam longos períodos de estiagem, é de fundamental importância que o seu valor seja o mais real possível, de modo a reduzir a contribuição da variação ambiental para a variação fenotípica total (BRUZI; RAMALHO; ABREU, 2007; BORÉM; MIRANDA, 2009; AVIJALA et al., 2013).

3 REFERÊNCIAS

ABREU, M. L. et al. Interação genótipo ambiente na cultura da mandioca. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 4, n. 1, p. 43-53, 2008.

ADJEBENG-DANQUAH, J.; SAFO-KANTANKA, O. Genetic variation in foliage and protein yield of some elite cassava (*Manihot esculenta* Crantz) genotypes in Ghana. **Journal of Plant Breeding and Genetics**, v. 1, n. 2, p. 46-55, 2013.

ADJEBENG-DANQUAH, J. et al. Agronomic performance and genotypic diversity for morphological traits among cassava genotypes in the Guinea Savannah Ecology of Ghana. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v. 19, n. 1, p. 99-108, 2016.

AFONSO, S. D. J. **Seleção de descritores morfológicos e divergência genética em acessos de mandioca**. 2014. 78p. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais). Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, 2014.

AIDAR, S. de T. et al. Características fisiológicas, produção total de raízes e de parte aérea em acessos de *Manihot esculenta* em condições de déficit hídrico. Embrapa Semiárido. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 685-696, 2015.

AINA, O. O.; DIXON, A. G. O; AKINRINDE, E. A. Effect of soil moisture stress on growth and yield of cassava in Nigeria. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 10, n. 18, p. 3085-9090, 2007.

AINA, O. O. et al. G x E interaction effects on yield and yield components of cassava (landraces and improved) genotypes in the savanna regions of Nigeria. **African Journal of Biotechnology**, v. 8, n. 19, 2009.

AKINWALE, M. G. et al. Genetic variability among forty-three cassava genotypes in three agro-ecological zones of Nigeria. **Journal Plant Breeding and Crop Science** 2(5), p. 104-109, 2010.

ALELO. Alelo Recursos Genéticos. **Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia**. Disponível em: < <http://alelo.cenargen.embrapa.br/> >. Acesso em: 10 jan. 2020.

ALVES, A. A. C. Cassava botany and physiology. In: Hillocks, R. J.; Thresh, J. M.; Bellotti, A. C. **Cassava: Biology, Production and Utilization**. Oxon: CABI Publishing, p. 67-89, 2002.

ALVES, A. A. C. et al. Avaliação de variedades de mandioca para tolerância à seca, em condições semi-áridas do Brasil. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 3, 2007.

ALVES, A. A. C. **Fisiologia da mandioca**. Aspectos socioeconômicos e agronômicos da mandioca. Embrapa, Cruz das Almas, p.138–169, 2006.

ANDRADE, L. R. B. et al. Cassava yield traits predicted by genomic selection methods. **Plos One**, v. 14, n. 11, 2019.

AVIJALA, M. F. **Diversidade e estimativas de parâmetros genéticos em mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), oriunda de Moçambique**. 2013. 79f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento). Universidade Federal de Viçosa, 2013.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 5.ed. Viçosa: EDUFV, 2009. 529 p.

BREDESON, J. V. et al. Sequencing wild and cultivated cassava and related species reveals extensive interspecific hybridization and genetic diversity. **Nature Biotechnology**, v. 34, n. 5, p. 562, 2016.

BRUZI, A. T.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, Â. F. B. Desempenho de famílias do cruzamento entre linhagens de feijões andinos e mesoamericanos em produtividade e resistência a *Phaeoisariopsis griseola*. **Ciência Agropecuária**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 650-655, 2007.

BUENO, L. C. S.; MENDES, A. N. G. e CARVALHO, S. P. **Melhoramento genético de plantas: princípios e procedimentos**. Lavras: Editora da Universidade Federal de Lavras, 2001. 282 p.

CEBALLOS, H.; HERSHEY, C.; BECERRA-LÓPEZ-LAVALLE, L. A. 6 New approaches to cassava breeding. **Plant Breeding Reviews**, v. 36, n. 1, p. 427-504, 2012.

CLEMENT, C. R. et al. Origin and domestication of native Amazonian crops. **Diversity**, v. 2, p. 72-106, 2010.

COIMBRA, T. S. **Mandioca. A cultura, a sua análise econômica e a respectiva cadeia produtiva no Brasil**. 2014. 110f. Dissertação (Mestrado em Agronomia Tropical e Desenvolvimento Sustentável). Universidade de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, 2014.

CONNOR D. J., PALTA J. Response of cassava to water shortage. III. Stomatal control of plant water status. **Field Crops Research**. v. 4, p. 297-311, 1981.

CRUZ, D. C. **Princípio de Genética Quantitativa**. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 2005. 394 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4.ed. Viçosa: UFV, 2012. 514 p.

DARYANTO, S.; WANG, L.; JACINTHE, P. A. Drought effects on root and tuber production: A meta-analysis. **Agricultural Water Management**, v. 176, p. 122-131, 2016.

DUPUTIÉ, A.; SALICK, J.; MCKEY, D. Evolutionary biogeography of *Manihot* (Euphorbiaceae), a rapidly radiating Neotropical genus restricted to dry environments. **Journal of Biogeography**, v. 38, n. 6, p. 1033-1043, 2011.

DUQUE, L. O.; SETTER, T. L. Partitioning index and non-structural carbohydrate dynamics among contrasting cassava genotypes under early terminal water stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 163, p. 24-35, 2019.

EL-SHARKAWY, M. A. 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**, v. 19, n. 4, p. 257-286, 2007.

EL-SHARKAWY, M. A. Cassava biology and physiology. **Plant Molecular Biology**, v. 56, p. 481–501, 2004.

EL-SHARKAWY, M. A. Stress-tolerant cassava: the role of integrative ecophysiology-breeding research in crop improvement. **Open Journal of Soil Science**, v. 2, n. 02, p. 162, 2012.

EL-SHARKAWAY, M. A.; COCK, J. H. Water use efficiency of cassava. I. Effects of air humidity and water stress on stomatal conductance and gas exchange 1. **Crop Science**, v. 24, n. 3, p. 497-502, 1984.

ESPITIA, M. et al. Ganancia genética esperada en la selección de acacia (*Acacia mangium* Willd.) en Córdoba (Colombia). **Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica**, v.13, p. 99-107, 2010.

FAGUNDES, L. K. et al. Development, growth and yield of cassava in different sowing season in a subtropical region. **Ciência Rural**, v. 40, n. 12, p. 2460-2466, 2010.

FAN, W. et al. The ERF transcription factor family in cassava: genome-wide characterization and expression analyses against drought stress. **Scientific reports**, v. 6, p. 37379, 2016.

FELIPE, F. I., ALVES, L. R. A., CAMARGO, S. G. C. Panorama e perspectivas para a indústria de fécula de mandioca no Brasil. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, 6, 134-146, 2010.

FUKUDA, W. M. G. et al. Variabilidade genética e melhoramento da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). In: QUEIROZ, MA de; GOEDERT, CO; RAMOS, SRR (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido; Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 1999.

FUKUDA, W. M. G. (Eds.) et al. **Selected morphological and agronomic descriptors for the characterization of cassava**. IITA, 2010. 19 p.

FUKUDA, W. M. G.; IGLESIAS, C.; SILVA, S. O. **Melhoramento de Mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa, 2003. 53 p.

FUKUDA, W. M. G. et al. Análise de estabilidade de variedades em mandioca selecionadas em provas participativas com produtores do semi-árido do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v. 18, n. 1, p. 13-18, 2005.

FUKUDA, W. M. G. (Eds.) et al. **Aspectos socioeconômicos e agrônômicos da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006. 817 p.

GABRIEL, L. F. et al. Mudança climática e seus efeitos na cultura da mandioca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 90-98, 2014.

HU, W. et al. Genome-wide characterization and analysis of bZIP transcription factor gene family related to abiotic stress in cassava. **Scientific reports**, v. 6, p. 22783, 2016.

IBGE - **Estatística da produção agrícola Estadual e Municipal em 2018**. Disponível em <<https://sidra.ibge.gov.br/>> Acesso em: 05 fev. 2020.

LABAN, T. F. et al. Evaluation of Ugandan cassava germplasm for drought tolerance. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**. v. 5, p. 212–226, 2013.

LEBOT, V. **Tropical root and tuber crops: cassava, sweet potato, yams and aroids**. Cabi, 2009. 440 p.

LENIS, J. I. et al. Leaf retention and cassava productivity. **Field Crops Research**, v. 95, n. 2-3, p. 126-134, 2006.

LORENZI, J. O. **Mandioca**. Boletim técnico CATI, v. 245. Campinas: CATI, 2012. 129 p.

MATTOS, P. L. P.; CARDOSO, E. M. R. **Cultivo da Mandioca para o Estado do Pará**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2003. (Sistemas de Produção, 13). Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_amapa/>. Acesso em: 08 jan. 2020.

NTAWURUHUNGA, P. et al. Quantitative variation and interrelationship between factors influencing cassava yield. **Journal of Applied Biosciences**, v. 26, p. 1594-1602, 2010.

OKOGBENIN, E. et al. Phenotypic approaches to drought in cassava. **Frontiers in physiology**, v. 4, p. 93, 2013.

OKOGBENIN, E.; FREGENE, M. Genetic analysis and QTL mapping of early root bulking in an F1 population of non-inbred parents in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Theoretical and Applied Genetics**, v. 106, n. 1, p. 58-66, 2002.

OKOGBENIN, E.; EKANAYAKE, I. J.; PORTO, M. C. M. Genotypic variability in adaptation responses of selected clones of cassava to drought stress in the Sudan savanna zone of Nigeria. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 189, n. 6, p. 376-389, 2003.

OKOGBENIN, E. et al. Phenotypic approaches to drought in cassava. **Frontiers in Physiology**, v. 4, p. 93, 2013.

OLIVEIRA, E. J. et al. Genetic parameters and prediction of genotypic values for root quality traits in cassava using REML/BLUP. **Genetics and Molecular Research**, v. 13, n. 3, p. 6683-6700, 2014.

OLIVEIRA, E. J. et al. Genome-wide selection in cassava. **Euphytica**, v.187, p. 263–276, 2012.

OLIVEIRA, E. J. et al. Genetic parameters for drought-tolerance in cassava. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 3, p. 233-241, 2015.

OLIVEIRA, E. J. et al. Evaluation of cassava germplasm for drought tolerance under field conditions. **Euphytica**, v. 213, n. 8, p. 188, 2017.

OLIVEIRA, D. S. et al. Caracterização agrônômica de variedades de mandioca de mesa em sistema de base agroecológica irrigado em Petrolina, PE. In: Congresso Brasileiro de Mandioca, 14.; Feira Brasileira da Mandioca: Mandioca: fonte de alimento e energia, 1. **Anais...** Maceió: ABAM: SBM, 2011.

OLSEN, K. M.; SCHAAL, B. A. Microsatellite variation in cassava (*Manihot esculenta*, Euphorbiaceae) and its wild relatives: further evidence for a southern Amazonian origin of domestication. **American journal of botany**, v. 88, n. 1, p. 131-142, 2001.

OLSEN, K. M. SNPs, SSRs and inferences on cassava's origin. **Plant Molecular Biology**, v. 56, n. 4, p. 517-526, 2004.

OSIRU, D. S. O.; HAHN, S. K.; OSONUBI, O. Mechanisms of drought tolerance in cassava. **African Crop Science Journal**, v. 2, 233–246, 1994.

PEREIRA, A. A. **Diversidade genética, genômica e filogeografia de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz): implicações para a dispersão do cultivo ao longo dos principais eixos fluviais da bacia amazônica brasileira.** 2015. 139f. Tese

(Doutorado em Ciências). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2015.

PEREZ J. C. et al. Genetic variability of root peel thickness and its influence in extractable starch from cassava (*Manihot esculenta* Crantz) roots. **Plant Breeding**, v. 130, n. 6, pg. 688-693, 2011.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. Embrapa Florestas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.

RIBEIRO, M. N. O. et al. Genetic variability among cassava accessions based on SSR markers. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 11, n. 3, p. 263-269, 2011.

SHANKER, A. K. et. al. Drought stress responses in crops. **Functional; Integrative Genomics**, v. 14, n. 1, p. 11-22, 2014.

SILVA, A. F. et al. Comportamento de variedades de mandioca submetidas a fertilização em comunidades dependentes de chuva no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 8, n. 3, p. 221-235, 2014.

SILVA, P. P. S.; SOUSA, M. B.; OLIVEIRA, E. J. Prediction models and selection of agronomic and physiological traits for tolerance to water deficit in cassava. **Euphytica**, v. 215, n. 4, p. 73, 2019.

SIQUEIRA, M. V.B.M. Genetic characterization of cassava (*Manihot esculenta*) landraces in Brazil assessed with simple sequence repeats. **Genetics and Molecular Biology**, v. 32, p. 104-110, 2009.

SOUZA, L. S. et al. **Aspectos socioeconômicos e agrônômicos da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006. 817 pg.

SAYD, R. M. **Variabilidade, parâmetros genéticos e caracterização agrônômica e molecular de genótipos de cevada nua (*Hordeum vulgare* L. var. *nudum* Hook. f.) sob irrigação no Cerrado**. 2014. 83f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2014.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017. 888 p.

VIEIRA, E. A. et al. Caracterização fenotípica e molecular de acessos de mandioca de indústria com potencial de adaptação às condições do cerrado do Brasil Central. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 2, p. 567-581, 2013.

VIEIRA, E. A. et al. Variabilidade genética do banco de germoplasma de mandioca da Embrapa Cerrados acessada por meio de descritores morfológicos. **Científica**, v. 36, n. 1, p. 56-67, 2009.

VITOR, A. B. et al. Early prediction models for cassava root yield in different water regimes. **Field Crops Research**, v. 239, p. 149-158, 2019.

WEI, Yunxie et al. The chaperone MeHSP90 recruits MeWRKY20 and MeCatalase1 to regulate drought stress resistance in cassava. **New Phytologist**, v. 226, n. 2, p. 476-491, 2020.

ZAGO, B. W. et al. Morphological diversity of cassava accessions of the south-central mesoregion of the State of Mato Grosso, Brazil. Embrapa Agrossilvipastoril, **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 3, p. 1-10, 2017.

ZHAO, P. et al. Analysis of different strategies adapted by two cassava cultivars in response to drought stress: ensuring survival or continuing growth. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 5, p. 1477-1488, 2015.

CAPÍTULO 2

PARÂMETROS GENÉTICOS E ANÁLISE DE TRILHA PARA PRODUTIVIDADE DE RAÍZES DE MANDIOCA SOB ESTRESSE HÍDRICO EM FASE PRECOCE DE COLHEITA

RESUMO

Apesar da mandioca ser considerada uma cultura importante em regiões tropicais e subtropicais, a definição de características morfoagronômicas que podem ser utilizadas na seleção precoce indireta para incremento na produtividade de raízes ainda não foi elucidada. Dessa forma, o objetivo do trabalho foi identificar caracteres que estão correlacionados com a produtividade de raízes em genótipos submetidos ao estresse hídrico no sexto mês após o plantio. Onze características morfológicas e agronômicas de 218 genótipos foram avaliadas durante a colheita, dispostos em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições. As estimativas dos componentes de variância e predição dos valores genéticos foram obtidas por meio do método da máxima verossimilhança restrita e melhor predição linear não viciada (REML/BLUP), esses resultados foram utilizados para calcular as correlações genotípicas e análise de trilha. O estudo apresentou alta acurácia para maioria dos caracteres, apenas a acurácia da retenção foliar foi considerada moderada (0,57). A herdabilidade a nível de média de clones variou entre 0,33 para retenção foliar e 0,83 para altura de plantas. A maior variabilidade genotípica encontrada (CVg) foi para peso de raízes com 58,19%. Para todos os caracteres a estimativa do coeficiente de variação relativa (CVr) foi inferior a uma unidade. O maior coeficiente de correlação genotípica (0,70) foi obtido entre número de raízes e peso de raízes. Os resultados da análise de trilha mostraram que o caráter número de raízes apresentou a maior estimativa de efeito direto em peso de raízes (0,49). A seleção indireta baseada no número de raízes pode auxiliar na seleção para produtividade de raízes de mandioca quanto à tolerância ao estresse hídrico precocemente.

Palavras-chaves: *Manihot esculenta*, RELM/BLUP, melhoramento genético, correlação genotípica.

CHAPTER 2

GENETIC PARAMETERS AND PATH ANALYSIS TO FRESH ROOT YIELD OF CASSAVA GENOTYPES UNDER DROUGHT AND EARLY HARVESTING

ABSTRACT

Although cassava is considered an important crop in tropical and subtropical regions, a definition of morpho-agronomic characteristics that can be used in early indirect selection to increase root yield has not been elucidated yet. Thus, the objective of this work was to identify characters that are correlated with root yield in genotypes under drought at six months after planting. Eleven morphological and agronomic characteristics were evaluated in 218 genotypes using a completely randomized block design with four replications. The components of variance and genetic predicted values were obtained using the restricted maximum likelihood / best linear unbiased prediction (REML/BLUP) method, these results were used to estimate genotypic correlations and path analysis. The study showed high accuracy for most characters, but leaf retention exhibited moderate accuracy (0.57). The adjusted heritability for mean clones ranged between 0.33 for leaf retention and 0.83 for plant height. The highest genotypic variability (CVg) was 58.19% for root weight. For all characters, the estimate of the relative variation coefficient (CVr) was less than unit. The highest coefficient of genotypic correlation (0.70) was obtained between number of roots and weight of roots. Path analysis results showed that number of roots had the highest estimate of direct effect on root weight (0.49). Indirect selection based on the number of roots can assist in the early selection of root yield in cassava for drought tolerance.

Key-words: *Manihot esculenta*, REML/BLUP, genetic improvement, genotypic correlation.

1. INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é considerada uma das culturas mais importantes em regiões tropicais, pois é a terceira maior fonte de carboidratos ficando atrás apenas do arroz e milho (FAO, 2017). É utilizada como matéria prima para diversos produtos industriais e também devido ao seu potencial na produção de etanol, como fonte de biocombustível (SALLA et al., 2010; EL-SHARKAWY, 2012; GUIRA et al., 2017). Na região Nordeste do Brasil, é apontada como cultura de subsistência e também matéria-prima agroindustrial sendo, em sua maioria, mais explorada por pequenos e médios agricultores que utilizam diferentes tipos de sistemas de produção (FELIPE, 2010).

Por causa de sua tolerância ao déficit hídrico, a mandioca é amplamente cultivada em regiões semiáridas, que apresentam pluviosidades inferiores a 700 mm por ano e com períodos de seca que podem durar até seis meses (EL-SHARKAWY, 2012). Entretanto, por ser uma espécie altamente heterozigótica e possuir plasticidade fenotípica, nem todos os genótipos apresentam a mesma resposta, podendo o rendimento de raízes ser bastante variado (OLIVEIRA et al., 2017; VITOR et al., 2019). Por conta disso, estudar os mecanismos de tolerância à seca e desenvolver variedades tolerantes ao déficit hídrico são demandas de programas de melhoramento da espécie, que visam evitar as perdas na produção causadas por esse estresse abiótico (AINA et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2017; VITOR et al., 2019; DUQUE; SETTER, 2019).

As estimativas de parâmetros genéticos são importantes pois orientam o processo de seleção e ganhos genéticos de uma população, permitindo a diferenciação entre os efeitos genéticos e ambientais, contribuindo para a seleção eficiente dos melhores genótipos (ESPITIA et al., 2010). Em adição, o estudo das correlações genéticas permite conhecer a magnitude das associações entre um conjunto de caracteres simultaneamente, sendo a análise de trilha o método mais apropriado para explorar a relação entre características na seleção de clones superiores, pois fornece conhecimento detalhado das influências de causa e efeito entre características secundárias em relação a uma variável principal, maximizando assim, os ganhos genéticos por meio da seleção indireta (MULUALEM; AYENEW, 2012; DINIZ; OLIVEIRA, 2018).

A fenotipagem para tolerância ao estresse hídrico é baseada praticamente em correlações morfológicas e fisiológicas com o potencial produtivo dos genótipos avaliados durante a colheita, que ocorre comumente, entre 12 e 18 meses após o plantio. Esse longo período para realizar a avaliação dos caracteres relacionados à produção, faz com que os custos de manutenção do experimento em campo sejam elevados e o processo de seleção e validação dos potenciais genótipos que apresentam tolerância ao estresse hídrico perdure por vários anos (VITOR et al., 2019).

Sendo assim, além da identificação e seleção de genótipos superiores, a busca por alternativas de seleção precoce tem sido prioridade na mandiocultura. Avaliações de caracteres da parte aérea que estão correlacionadas à adaptação ao estresse hídrico já podem ser iniciadas ao terceiro mês após o plantio (OKOGBENIN et al., 2013), entretanto, poucos estudos foram realizados avaliando genótipos de mandioca sob déficit hídrico com a colheita realizada precocemente (PEREIRA; ZANETTI; SILVA, 2017; DUQUE; SETTER, 2019; VITOR et al., 2019). Diante do pressuposto, este trabalho teve como objetivos estimar os parâmetros genéticos associados ao estresse hídrico e determinar a influência das características morfoagronômicas na produção de raízes por meio da correlação e da análise de trilha.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área experimental

O estudo foi desenvolvido na área de experimentação agrícola da Universidade Federal do Vale do São Francisco no Campus de Ciências Agrárias, situada no município de Petrolina-PE (9°16'10" S, 40°33'43" W e altitude média de 373 m), relevo plano, inserida na região do Vale do Submédio São Francisco. O solo é classificado como Argissolo amarelo eutrocoeso típico (SILVA et al., 2017) e o clima local é do tipo Bsh', semiárido.

Dois ensaios foram instalados em campo, sendo o primeiro entre abril e novembro de 2018 e o segundo entre novembro e junho de 2019. No total foram avaliados 218 genótipos de mandioca pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma (BAG-Mandioca), desses 38 genótipos iguais foram utilizados nos dois experimentos. A escolha de alguns acessos foi realizada em função do

comportamento sob estresse hídrico avaliado em experimentos realizados anteriormente (ALVES et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2017).

Nos dois experimentos, os genótipos foram avaliados em delineamento de blocos completos casualizados com quatro repetições, onde cada parcela foi composta por sete plantas e como parcela útil foram avaliados os três indivíduos centrais. Foi utilizando o espaçamento de 1 m entre linhas, entre plantas o espaço foi de 0,8 m no primeiro experimento e 1 m no segundo. O manejo da irrigação ocorreu de acordo com a Tabela 1, a evapotranspiração de referência (ET₀) foi obtida de uma estação meteorológica instalada próximo ao local do experimento e o coeficiente de cultura (k_c), iguais a 0,3 (fase inicial), 1,10 (fase de crescimento) e 0,50 (fase final) (KELLER; BLIESNER, 1990). Os tratos culturais foram realizados de acordo com recomendações da cultura (SOUZA et al., 2006) e a colheita foi realizada 188 dias após o plantio em ambos experimentos.

Tabela 1: Lâmina d'água (Dw) por irrigação, precipitação (P), Evapotranspiração da cultura (ET_c), Temperatura do ar média (T_m) e Umidade Relativa média do ar (UR), durante os dois experimentos (anos).

Experimento	Mês	Dw (mm)	P (mm)	ET _c (mm)	T _m (°C)	UR (%)
2018	1	230,0	5,6	37,5	26,1	42,7
	2	125,0	1,3	36,5	24,5	57,1
	3	65,0	0,5	141,2	24,3	51,8
	4	25,0	0,5	159,5	25,1	48,5
	5	0,0	0,0	184,4	26,4	45,8
	6	0,0	14,0	79,2	27,6	45,1
	7	0,0	0,0	27,1	28,3	45,1
Total		445,0	24,2	665,5		
2018/2019	1	150,0	81,8	38,9	26,3	57,4
	2	125,0	1,0	50,8	28,3	45,0
	3	37,5	65,0	159,5	28,4	50,3
	4	0,0	41,1	137,6	26,9	61,3
	5	0,0	67,1	131,9	27,4	60,3
	6	0,0	3,1	64,2	27,0	53,5
	7	0,0	7,9	23,4	24,4	59,4
Total		312,5	267,0	606,3		

2.2 Avaliações morfoagronômicas

Durante o período da colheita, foram realizadas as seguintes avaliações em ambos experimentos: altura de plantas (PH, em m), a partir do solo até o ápice do caule; número de hastes emitidos por estaca (SN); diâmetro do caule (SD, em cm) a 20 cm de altura do solo, número de raízes por planta (RN); comprimento de raiz (RL,

em cm); diâmetro de raiz (RD, em cm); produtividade total de raízes (RW, em kg por parcela); produtividade da parte aérea (SW, em kg por parcela).

Também foram avaliados dois caracteres adotando-se escalas de notas severidade de ácaros (CM) seguindo a metodologia proposta Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA, 1990) e a retenção foliar (LR) de acordo com Fukuda et. al. (2010). Após a colheita foi quantificado o conteúdo de matéria seca das raízes (DMC, em %), no qual uma amostra homogênea de 0,5 kg de raiz foi cortada em forma de lâmina e exposta ao processo de secagem até atingir o peso constante.

2.3 Análises genéticas e estatística

A análise dos dados experimentais dos caracteres avaliados nas duas épocas (2018 e 2018/2019) de cultivo foi realizada para se obter o melhor preditor não-viesado (BLUP) pela abordagem dos modelos mistos. Os BLUPs foram estimados usando o método de máxima verossimilhança restrita (REML) usando o pacote “lme4” do software R versão 3.4.4 (R Core Team, 2018). Os BLUPs foram estimados do modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + e_k + g_i + (r/e)_{jk} + E_{ijk}$$

em que:

μ = o efeito da média geral do caractere;

e_k = o efeito fixo no ano k ;

g_i = o efeito aleatório do genótipo i ;

$(r/e)_{jk}$ = o efeito aleatório da repetição j em ano k ;

E_{ijk} = o efeito residual aleatório do genótipo i na repetição j em ano k .

Utilizando os valores genotípicos preditos dos genótipos foram estimados os coeficientes de correlação genéticos entre os caracteres com o auxílio do pacote “corrplot” do software R versão 3.4.4 (R Core Team, 2018). A classificação das estimativas de correlação foi de acordo com Carvalho et al. (2004).

Utilizando a abordagem de modelos mistos foram obtidos os parâmetros genéticos e fenotípicos, foi calculada a média harmônica (\bar{x}_h) para o número de repetições de acordo Resende (2004), para estimar a variância fenotípica (σ_f^2), no qual:

$$\sigma_f^2 = \sigma_g^2 + \frac{\sigma_e^2}{\bar{x}_h}$$

Em que:

σ_f^2 = variância fenotípica;

σ_g^2 = variância genotípica;

σ_e^2 = variância ambiental;

\bar{x}_h = média harmônica do número de repetições.

A herdabilidade em nível de média de clones (h_m^2) foi obtida por meio da razão $h_m^2 = \sigma_g^2/\sigma_f^2$, a acurácia seletiva (Ac) foi obtida por meio da raiz quadrada da herdabilidade a nível de média de clone ($\sqrt{h_m^2}$), enquanto os parâmetros de precisão coeficiente de variação ambiental (CVe), coeficiente de variação genético (CVg) e o coeficiente de variação relativa (CVR) foram estimados de acordo com as equações abaixo:

$$CVe = \frac{\sqrt{\sigma_e}}{m} \times 100 ; CVg = \frac{\sqrt{\sigma_g}}{m} \times 100 ; CVr = \frac{CVg}{CVe}$$

Em que:

CVe = coeficiente de variação ambiental, em porcentagem (%);

CVg = coeficiente de variação genético, em porcentagem (%);

CVR = coeficiente de variação relativa;

m = média geral do experimento para determinado caráter;

σ_f^2 = variância fenotípica;

σ_g^2 = variância genotípica;

σ_e^2 = variância ambiental;

A análise de trilha foi realizada com base na matriz de correlação genética das características agrônômicas e produtivas dos genótipos de mandioca considerando o peso de raízes (RW) como variável principal e as outras dez características foram consideradas variáveis independentes ou explicativas, utilizando o software GENES (CRUZ, 2013).

3. RESULTADOS

A precisão experimental para os dois experimentos, estimada pela acurácia seletiva (Ac), foi moderada para o caráter retenção foliar (0,57) e muito alta para altura de plantas (0,91) (Tabela 2), enquanto que para demais características a Ac

foi classificada como de alta precisão (RESENDE; DUARTE, 2007). As estimativas da variância genotípica (σ_g^2) entre os acessos, para todas as características avaliadas, foram inferiores às estimativas da variância ambiental (σ_e^2). Os coeficientes de herdabilidade em nível de média de clone (h_m^2) foram de alta magnitude para altura de plantas, número de hastes, número de raízes, peso de raízes e conteúdo de matéria seca das raízes (Tabela 2). Para os demais parâmetros avaliados a estimativa da h_m^2 foi considerada moderada variando entre 0,33 e 0,67 (RESENDE, 2002).

Tabela 2: Parâmetros genéticos e fenotípicos estimados dos dois experimentos para altura de plantas (PH), número de hastes (SN), retenção foliar (LR), severidade de ácaros (CM), diâmetro de caule (SD), número de raízes (RN), comprimento de raiz (RL), diâmetro de raiz (RD), peso de raízes (RW), peso da parte aérea (SW), conteúdo de matéria seca das raízes (DMC).

Variável#	PH	SN	LR	CM	SD	RN	RL	RD	RW	SW	DMC
σ_g^2	0,02	0,25	0,07	0,06	0,04	2,36	6,45	0,20	1,76	2,82	6,69
σ_e^2	0,06	0,43	0,67	0,20	0,11	3,46	29,26	0,42	2,49	7,83	10,92
σ_f^2	0,03	0,35	0,23	0,11	0,06	3,15	13,17	0,30	2,33	4,62	9,20
h_m^2	0,83	0,71	0,33	0,56	0,60	0,75	0,49	0,67	0,75	0,61	0,73
Ac	0,91	0,84	0,57	0,75	0,77	0,87	0,70	0,82	0,87	0,78	0,85
CVg (%)	10,93	22,80	13,72	6,77	9,34	36,84	9,83	13,17	58,19	32,93	8,36
CVe (%)	18,15	30,21	40,99	12,45	15,80	44,61	20,93	19,13	69,64	54,85	10,68
CVr	0,60	0,75	0,33	0,54	0,59	0,83	0,47	0,69	0,84	0,60	0,78
\bar{X}_f	1,32	2,18	1,99	3,61	2,06	4,17	25,84	3,40	2,28	5,10	30,95

σ_g^2 : variância genotípica; σ_e^2 : variância ambiental; σ_f^2 : variância fenotípica em nível de média de família; h_m^2 : herdabilidade em nível de média de clone; Ac: acurácia seletiva; CVg: coeficiente de variação genético; CVe: coeficiente de variação ambiental, CVr: coeficiente de variação relativa (CVg/CVe) e \bar{X}_f : média do caráter.

Baixos valores para o coeficiente de variação genética (CVg) foram observados para maioria dos caracteres, sendo o mais baixo severidade de ácaros com apenas 6,77% (Tabela 2). O peso de raízes, o número de raízes e o peso da parte aérea, apresentaram os maiores valores com 58,19%, 36,84% e 32,93%, respectivamente. O coeficiente de variação ambiental (CVe) foi superior ao CVg para todos as características avaliadas, alcançando o valor máximo de 69,64% em peso

de raízes e valor mínimo de 10,68% em conteúdo de matéria seca de raízes. Conseqüentemente, o coeficiente de variação relativa (CVr) que estima a razão entre CVg/CVe, foi menor que uma unidade para todas os parâmetros avaliados.

A maioria dos caracteres estudados apresentou significância ($p < 0.05$) para as correlações genéticas (Tabela 3). As estimativas das correlações genéticas entre os caracteres agrônômicos apresentaram diferentes magnitudes variando desde moderada e negativa ($-0,47$) entre retenção foliar e severidade de ácaros até altas correlações positivas ($0,70$ e $0,67$) para peso de raízes e número de raízes, bem como peso de raízes e diâmetro de raízes, respectivamente. O caráter agrônômico peso de raízes apresentou apenas duas correlações genéticas negativas muito próximas de zero, sendo elas $-0,08$ para severidade de ácaros e $-0,02$ para conteúdo de matéria seca das raízes, podendo ser considerar nulas ($p > 0.05$). Em adição, as correlações de peso de raízes com altura de plantas ($0,34$), número de hastes ($0,24$), retenção foliar ($0,20$) e diâmetro de caule ($0,18$) foram baixas, e para os demais caracteres as correlações foram positivas e medianas.

Tabela 3: Coeficientes de correlações genótípicas dos 218 genótipos de mandioca para 11 caracteres morfológicos e agrônômicos dos dois experimentos.

Parâmetro#	RW	PH	SN	LR	CM	SD	RN	RL	RD	SW	DMC
RW	-										
PH	0,34*	-									
SN	0,24*	0,03	-								
LR	0,20*	0,34*	0,06	-							
CM	-0,08	-0,25*	0,03	-0,47*	-						
SD	0,18*	0,47*	-0,17*	0,21*	-0,05	-					
RN	0,70*	0,29*	0,44*	0,15*	-0,07	0,19*	-				
RL	0,53*	0,42*	0,06	0,20*	-0,07	0,43*	0,37*	-			
RD	0,67*	0,27*	0,10	0,35*	-0,15*	0,18*	0,38*	0,49*	-		
SW	0,52*	0,47*	0,36*	0,13	-0,03	0,36*	0,37*	0,37*	0,29*	-	
DMC	-0,02	0,21*	0,02	0,20*	-0,14*	0,21*	0,02	0,09	0,06	0,15*	-

RW – peso de raízes; PH - altura de plantas; SN - número de hastes; LR - retenção foliar; CM - severidade de ácaros; SD - diâmetro de caule; RN - número de raízes; RL - comprimento de raiz; RD - diâmetro de raiz; SW - peso da parte aérea; DMC - matéria seca das raízes. *: Significativa a $P < 0,05$ pelo teste t.

As correlações entre altura de plantas e as características diâmetro de caule (0,47), comprimento de raiz (0,42) e peso da parte aérea (0,47), foram positivas e de média magnitude. O número de hastes apresentou correlação genética positiva mediana com o número de raízes (0,44), enquanto com o caráter diâmetro de caule a correlação foi baixa e negativa (-0,17) (Tabela 3). Para todos os demais caracteres, as correlações com o número de hastes foram positivas e baixas.

As correlações genéticas com caráter retenção foliar foram positivas e de baixa magnitude, exceto com o caráter severidade de ácaros com estimativa negativa e de magnitude mediana (-0,47). O caráter severidade de ácaros apresentou significância apenas em correlações genéticas negativas, sendo essas consideradas baixas com conteúdo de matéria seca de raízes (-0,14), altura de plantas (-0,25) e diâmetro de raízes (-0,15). O conteúdo de matéria seca de raízes apresentou correlações positivas e significativas com altura de plantas (0,21), retenção foliar (0,20), diâmetro de caule (0,21), peso da parte aérea (0,15).

A análise de trilha foi realizada com base na matriz de correlação genética dos caracteres morfoagronômicos dos genótipos de mandioca (Tabela 4). Os resultados mostraram que grande parte da variação do peso de raiz (RW) é explicada pelo efeito das 10 características avaliadas ($R^2 > 0,75$). A estimativa de correlação residual foi próxima de 50% (0,491).

As magnitudes dos efeitos diretos para peso de raízes com todos os caracteres, exceto para severidade de ácaros, foram inferiores às estimativas de seus respectivos coeficientes de correlação genética (Tabela 3). As maiores estimativas dos efeitos diretos obtidos foram para número de raízes, diâmetro de raiz e peso da parte aérea, enquanto os demais parâmetros oscilaram entre -0,162 para diâmetro de caule e 0,136 para comprimento de raiz (Tabela 4).

Tabela 4: Estimativas dos efeitos diretos (D) e indiretos (I) de variáveis independentes para peso de raízes (RW) utilizando análise de trilha com base em correlações genéticas (diagonal inferior) e fenotípicas (diagonal superior) de 218 genótipos de mandioca.

Efeito	Trait	PH	SN	LR	CM	SD	RN	RL	RD	SW	DMC
D	RW	-0,000	-0,156	-0,012	0,012	-0,162	0,488	0,136	0,384	0,304	-0,062
I	PH	-	-0,000	-0,000	0,000	-0,000	-0,000	-0,000	-0,000	-0,000	-0,000
I	SN	-0,005	-	-0,010	-0,005	0,026	-0,068	-0,009	-0,016	-0,057	-0,004
I	LR	-0,004	-0,001	-	0,006	-0,003	-0,002	-0,003	-0,004	-0,002	-0,002
I	CM	-0,003	0,000	-0,006	-	-0,001	-0,001	-0,001	-0,002	-0,000	-0,002
I	SD	-0,075	0,027	-0,034	0,008	-	-0,030	-0,069	-0,028	-0,059	-0,033
I	RN	0,140	0,212	0,073	-0,032	0,091	-	0,179	0,187	0,182	0,008
I	RL	0,057	0,008	0,028	-0,010	0,058	0,050	-	0,067	0,051	0,012
I	RD	0,105	0,039	0,133	-0,059	0,068	0,147	0,187	-	0,110	0,021
I	SW	0,142	0,111	0,039	-0,010	0,110	0,114	0,113	0,087	-	0,045
I	DMC	-0,013	-0,001	-0,012	0,009	-0,013	-0,001	-0,005	-0,003	-0,009	-

*R² 0,759

*RVE 0,491

*R² - coeficiente de determinação; *RVE – efeito da variação residual; RW – peso de raízes; PH - altura de plantas; SN - número de hastes; LR - retenção foliar; CM - severidade de ácaros; SD - diâmetro de caule; RN - número de raízes; RL - comprimento de raiz; RD - diâmetro de raiz; SW - peso da parte aérea; DMC - matéria seca das raízes.

4. DISCUSSÃO

Uma das formas de desenvolver novas variedades de mandioca de forma rápida é por meio da avaliação e seleção precoce de genótipos em estágios iniciais como preditor final da produtividade de raízes (ANDRADE et al., 2019). Durante o processo de seleção de acessos para aumento de tolerância ao déficit hídrico, as características a serem consideradas como potenciais alvos devem possuir alta herdabilidade (TUBEROSA, 2012). Sendo assim, os resultados obtidos nesse trabalho tendem a proporcionar ganhos genéticos relacionados à produtividade, uma vez que para o caráter agrônômico número de raízes, a herdabilidade a nível de média e sua correlação com o peso de raízes obtiveram altos valores. Farshadfar et al. (2014) reforçam que para características que apresentam uma alta herdabilidade

em condições de estresse hídrico, é possível utilizar métodos simples de seleção uma vez que os efeitos aditivos são mais eficazes que os de dominância.

A diferença entre a variância genotípica (σ_g^2) e a variância ambiental (σ_e^2) para todos as características, indicaram que avaliações sob estresse hídrico possuem baixa precisão experimental. Essas informações corroboram com os resultados obtidos por Silva, Souza e Oliveira (2019), que ao avaliarem 49 acessos em condições semelhantes de escassez de água, os caracteres número de raízes, peso da parte aérea, peso de raízes e conteúdo de matéria seca de raízes também obtiveram valores inferiores de variância genotípica.

A herdabilidade em nível de média de clone (h_m^2) foi alta para altura de plantas (0,83) e número de hastes (0,71), indicando que essas características morfológicas da parte aérea, que podem ser avaliadas antes da colheita, tendem a contribuir com ganhos genéticos em populações de mandioca avaliadas aos seis meses após o plantio sob estresse hídrico. Entretanto, quando avaliado a contribuição de cada caráter no peso de raízes, as estimativas de correlação genética foram de magnitude média para altura de plantas e baixa para número de hastes, não sendo essas duas características indicadas para seleção direta em programas que visam aumentar a produtividade de raízes.

Ainda que os valores estimados para o CVg tenham sido baixos para a maioria dos caracteres, outras características como número de raízes (36,84), peso da parte aérea (32,93) e peso de raízes (58,19) apresentaram os maiores níveis de variabilidade genotípica entre os acessos sob condições de déficit hídrico. Resultados semelhantes foram encontrados por Oliveira et al. (2015) para número de raízes (28,94), peso da parte aérea (27,78) e peso de raízes (71,38) e uma baixa estimativa para DMC (17,54) estudando 47 acessos submetidos ao estresse hídrico, porém com colheita realizada 12 meses após o plantio. Essa amplitude de variação genética das características associadas à produção de raízes sob déficit hídrico encontradas nesse trabalho é desejável em programas de melhoramento voltados para regiões semiáridas do Brasil, visto que variedades comerciais nem sempre apresentam rendimento desejável sob condições de déficit hídrico (OLIVEIRA et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2017).

Apesar do coeficiente de variação relativa (CVr) apresentar valores inferiores a uma unidade para todos os caracteres, exceto peso de raízes, os valores obtidos

não sugerem boas perspectivas de ganho genético por seleção direta. Sendo assim, a seleção indireta realizada por meio da análise de trilha em ambientes alvos, pode ser o método mais interessante nessas condições, pois ela estima a contribuição dos efeitos diretos e indiretos que cada caráter estudado exerce sobre a variável principal, nesse caso, o peso de raízes (DINIZ; OLIVEIRA et al., 2019).

Os coeficientes de correlação genética do número de raízes e diâmetro de raízes com caráter agrônômico de maior interesse (peso de raízes), foram positivos e elevados, assim como a herdabilidade em nível de média de clone para essas duas características agrônômicas. Portanto, é possível afirmar que tanto o número de raízes como o diâmetro de raízes, são bons preditores de produção de acessos submetidos ao estresse hídrico colhidos precocemente, aos seis meses após o plantio. Silva, Souza e Oliveira (2019) estudando diferentes modelos de predição destacaram que dentre as quatro características que mais contribuem com a produção final de raízes, em tratamento submetidos ou não ao déficit hídrico, o número de raízes por planta foi o caráter mais importante para todos os modelos estudados. Para Aud et al. (2018), além das características relacionadas à biomassa da parte aérea, o diâmetro de raízes (RD) possui alto potencial para ser utilizado como preditor de tolerância ao estresse hídrico e eficiência no uso de nutrientes, sendo útil na seleção de acessos de mandioca durante o estágio inicial de crescimento.

A correlação genética entre severidade de ácaros com as características da parte aérea retenção foliar e altura de plantas apresentaram valores significativos e negativos, indicando que na presença de ácaros em alta severidade a tendência é que ocorra decréscimo na altura de plantas e retenção foliar. O mesmo ocorreu para características associadas a produtividade como diâmetro de raízes e conteúdo de matéria seca das raízes, demonstrando que mesmo no início do desenvolvimento da planta o ataque de ácaros já prejudica esses caracteres. Por não ter apresentado significância com o caráter principal peso de raízes, o ataque de ácaros não interferiu precocemente no peso de raízes, isso porque o ataque foi esporádico e rapidamente controlado por inimigos naturais.

Estimativas de correlações genéticas positivas de baixa magnitude entre peso de raízes x altura de plantas, número de hastes, retenção foliar e diâmetro de caule, já eram esperadas em virtude de que em prolongados períodos de seca ocorre a redução do número de folhas e a planta reduz o crescimento da parte aérea. Isso

confirma que a associação dessas características com o peso de raízes não é puramente genotípica, sendo também causada por influência ambiental.

As correlações genéticas entre o conteúdo de matéria seca de raízes e peso de raízes não foi significativo, indicando que a seleção para estas duas características em populações submetidas ao estresse hídrico e colhidas precocemente devem ser feitas de forma independente. Esse resultado divergiu do obtido por Diniz e Oliveira (2018) que obtiveram relação baixa (0,11) e Muluaem e Ayenew (2012) mediana (0,44), ambas positivas, realizando a colheita aos 12 MAP e 18 MAP. Apesar da alta herdabilidade em nível de média de clone obtida para esse caráter (0,73) e coeficiente de correlação relativa (0,78), é possível afirmar que o conteúdo de matéria seca de raízes está diretamente relacionado com o período de colheita, sofrendo uma grande influência das condições ambientais.

A análise de trilha explicou mais de 75% da variação em RW, porém a estimativa do efeito de variação residual foi elevada, e assim esses resultados sugerem que mais componentes de produção, além desses 10 estudados, são responsáveis para explicar a produção de raízes em mandioca. Diniz e Oliveira (2018) conseguiram obter R^2 acima de 97% e baixo valor de variação residual (0,1438) utilizando como variável principal a produção de amido. Esse resultado corrobora as considerações citadas por Muluaem e Ayenew (2012) que após obter alta estimativa da variação residual, sugeriram a não utilização do peso final de raízes (produção) como variável principal.

As máximas estimativas dos efeitos diretos no caráter peso de raízes alcançados nesse experimento foram moderadas em relação ao número de raízes, diâmetro de raízes e peso da parte aérea. Essas características também apresentaram efeitos indiretos negativos mínimos. O valor do caráter número de raízes por planta foi semelhante ao da magnitude encontrada para o efeito da variação residual, podendo essa característica ser utilizada na seleção indireta. Para todos os outros descritores, os valores foram negativos ou muito abaixo da variância residual, indicando que podem ser avaliados de forma independente, uma vez que não apresentaram efeitos indiretos significativos com a produção de raízes.

Vitor et al. (2019) avaliando descritores morfoagronômicos e fisiológicos em dois períodos de colheita (4 MAP e 12 MAP) sob déficit hídrico e condições ideais de regime hídrico, verificaram que apenas o caráter número de raízes por planta não diferiu entre os tratamentos. Isso indica que já nos primeiros meses é estabelecido o

número de raízes pela planta, confirmando que a natureza desse caráter é mais genotípica do que ambiental, indo ao encontro com as estimativas obtidas nesse trabalho para herdabilidade em nível de média de clone (0,75), coeficiente de variação relativa (0,83), correlação genotípica e efeito direto com peso de raízes de (0,70) e (0,488), respectivamente. O mesmo trabalho demonstrou relação significativa entre os tratamentos hídricos com o período de colheita para as características altura de plantas, diâmetro de caule, comprimento de raiz, conteúdo de matéria seca de raízes e diâmetro de raiz, no qual todos apresentaram menores rendimentos quando submetidos ao estresse hídrico e colheita precoce (4 MAP).

5. CONCLUSÃO

1 – Os altos valores de herdabilidade, coeficientes de variação genéticos e acurácia demonstram condições favoráveis à seleção precoce dos materiais submetidos ao estresse hídrico para as características número de raízes e peso de raízes.

2 – As características severidade de ácaros e conteúdo de matéria seca de raiz não contribuíram para a seleção dos genótipos mais produtivos ao sexto mês após o plantio em condições de estresse hídrico.

3 – O caráter número de raízes por planta pode ser utilizado na seleção indireta a fim de contribuir com futuros ganhos genéticos na produtividade de raízes.

6. REFERÊNCIAS

ADU, M. O. et al. Characterising shoot and root system trait variability and contribution to genotypic variability in juvenile cassava (*Manihot esculenta* Crantz) plants. **Heliyon**, v. 4, n. 6, p. e00665, 2018.

AINA, O. O.; DIXON, A. G. O; AKINRINDE, E. A. Effect of soil moisture stress on growth and yield of cassava in Nigeria. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 10, n. 18, p. 3085-9090, 2007.

ALVES, A. et al. Avaliação de variedades de mandioca para tolerância à seca, em condições semi-áridas do Brasil. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 3, p. 1-5, 2007.

ANDRADE, L. R. B. et al. Cassava yield traits predicted by genomic selection methods. **Plos One**, v. 14, n. 11, 2019.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 8ª ed. rev. e ampl. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 2011. 625 p.

CARVALHO, F. I. F.; LORENCETTI, C.; BENIN, G. **Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal**. Pelotas: Ed. Universitária da UFPel, 2004. 142 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4.ed. Viçosa: UFV, 2012. 514 p.

CRUZ, C. D. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.

DINIZ, R. P.; OLIVEIRA, E. J. Genetic parameters, path analysis and indirect selection of agronomic traits of cassava germplasm. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 91, n. 3, p.1-11, 2019.

DUQUE, L. O.; SETTER, T. L. Partitioning index and non-structural carbohydrate dynamics among contrasting cassava genotypes under early terminal water stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 163, p. 24-35, 2019.

EL-SHARKAWY, M. A. Stress-tolerant cassava: the role of integrative ecophysiology-breeding research in crop improvement. **Open Journal of Soil Science**, v. 2, n. 02, p. 162-186, 2012.

EL-SHARKAWY, M. A. Physiological characteristics of cassava tolerance to prolonged drought in the tropics: implications for breeding cultivars adapted to seasonally dry and semiarid environments. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 19, n. 4, p. 257-286, 2007.

ESPITIA, M. et al. Ganancia genética esperada en la selección de acacia (*Acacia mangium* Willd.) en Córdoba (Colombia). **Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica**, v.13, p.99-107, 2010.

FARSHADFAR, E. et al. Estimation of genetic parameters and chromosomal localization of QTLs controlling agro-physiological indicators of drought tolerance in agropyron using wheat-agropyron disomic addition lines. **Australian Journal of Crop Science**, v.8, p.133-139, 2014.

FELIPE, F. I., ALVES, L. R. A., CAMARGO, S. G. C. Panorama e perspectivas para a indústria de fécula de mandioca no Brasil. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 6, p.134-146, 2010.

FUKUDA, W. M. G. (Eds.) et al. **Selected morphological and agronomic descriptors for the characterization of cassava**. International Institute of Tropical Agriculture, 2010. 19 p.

FUKUDA, W. M. G. (Eds.) et al. **Aspectos socioeconômicos e agrônômicos da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006. 817 p.

GODFRAY, H. C. J. et al. Food security: The challenge of feeding 9 billion people. **Science**, v. 327, p. 812–818, 2010.

GUIRA, F. et al. Origins, production, and utilization of cassava in Burkina Faso, a contribution of a neglected crop to household food security. **Food Science Nutrition**, v. 5, n. 3, p. 415-423, 2017.

INTERNATIONAL INSTITUTE OF TROPICAL AGRICULTURE - IITA. **Cassava in Tropical Africa: A reference manual**. Chayce Publications Services, Balding Mansell International, Wisbech, UK. v. 1, p. 176, 1990.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinold. 1990. 652p.

KENGGANNA, J. et al. Phenotypic variation of cassava root traits and their responses to drought. **Applications in plant sciences**, v. 7, n. 4, p. 12-38, 2019.

LENIS, J. I. et al. Leaf retention and cassava productivity. **Field Crops Research**, v. 95, n. 2-3, p. 126-134, 2006.

MULUALEM, T.; AYENEW, B. Correlation and path coefficient analysis of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) at Jimma, Southwestern, Ethiopia. **Journal of Natural Sciences Research**, v. 2, n. 9, p. 7-13, 2012.

OKOGBENIN, E. et al. Phenotypic approaches to drought in cassava. **Frontiers in physiology**, v. 4, n. 93, p. 1-13, 2013.

OLIVEIRA, E. J. et al. Genetic parameters and prediction of genotypic values for root quality traits in cassava using REML/BLUP. **Genetics and Molecular Research**, v. 13, n. 3, p. 6683-6700, 2014.

OLIVEIRA, E. J. et al. Genetic parameters for drought-tolerance in cassava. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 3, p. 233-241, 2015.

OLIVEIRA, E. J. et al. Evaluation of cassava germplasm for drought tolerance under field conditions. **Euphytica**, v. 213, n. 8, p. 188-207, 2017.

PEREIRA, L. F. M.; ZANETTI, S.; SILVA, M. A. Water relations of cassava cultivated under water-deficit levels. **Acta physiologiae plantarum**, v. 40, n. 1, p. 13, 2017.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. Embrapa Florestas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.

RESENDE M. D. V. **Genética Biométrica e Estatística no Melhoramento de Plantas Perenes**. Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 975 p.

RESENDE, M. D. V. **Métodos estatísticos ótimos na análise de experimentos de campo**. Colombo: Embrapa Florestas, (Documentos, 100). 2004. 65p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: a language, environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna. 2018. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 13 jan. 2020.

SALLA, D. A. et al. Análise energética de sistemas de produção de etanol de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 4, p. 444-448, 2010.

SILVA, K. A. et al. Levantamento de solos utilizando geoestatística em uma área de experimentação agrícola em Petrolina-PE. **Comunicata Scientiae**, v.8, n.1, p. 175-180, 2017.

SILVA, P. P. S.; SOUSA, M. B.; OLIVEIRA, E. J. Prediction models and selection of agronomic and physiological traits for tolerance to water deficit in cassava. **Euphytica**, v. 215, n. 4, p. 73-90, 2019.

TUBEROSA, R. Phenotyping for drought tolerance of crops in the genomics era. **Frontiers in Physiology**, v.347, p.1-26, 2012.

VITOR, A. B. et al. Early prediction models for cassava root yield in different water regimes. **Field Crops Research**, v. 239, p. 149-158, 2019.

CAPÍTULO 3

SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE MANDIOCA SOB ESTRESSE HÍDRICO COM BASE EM ÍNDICE DE SELEÇÃO VIA BLUP PARA PRODUTIVIDADE DE RAÍZES

RESUMO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma das culturas tuberosas mais produzidas e consumidas no mundo. Em regiões semiáridas, a seleção precoce de germoplasma tolerante ao estresse hídrico é necessária para que ocorra incremento futuro na produtividade. Dessa forma, os objetivos do trabalho foram classificar genótipos de mandioca colhidos precocemente quanto a tolerância ao estresse hídrico e estimar os ganhos genéticos dos materiais mais promissores. O experimento foi conduzido em DBC com quatro repetições, ao sexto mês após o plantio 11 caracteres morfoagronômicos foram avaliados sob condições de estresse hídrico. Foram estimados os parâmetros genotípicos com base no método da máxima verossimilhança restrita (REML) e melhor predição linear não viciada (BLUP), em seguida cada caráter recebeu um peso e foi estimado o índice de seleção para estresse hídrico (ISEH). Após a classificação dos genótipos foi previsto o ganho de seleção e média melhorada dos 25 genótipos tolerantes. Vinte e cinco genótipos foram classificados como tolerantes e sensíveis. Os resultados apresentaram alta precisão para maioria dos caracteres, exceto para retenção foliar. A utilização do ISEH proporcionou ganhos de seleção elevados para produtividade de raízes (96,90%), número de raízes por planta (38,93%) e produtividade de parte aérea (32,83%). Genótipos tolerantes ao estresse hídrico que apresentam alto rendimento de raízes, tendem a apresentar maior número de raízes precocemente. Com a utilização dos 25 genótipos tolerantes é possível obter aumento nas médias para todos os caracteres avaliados, exceto diâmetro de caule. BGM-0648, BRS Formosa, Capixaba e Vassoura Preta apresentaram os maiores valores para produtividade de raízes ($> 8,0 \text{ Mg ha}^{-1}$).

Palavras-chaves: Ganho de seleção, *Manihot esculenta*, REML/BLUP, seca, média melhorada.

CHAPTER 3

SELECTION OF CASSAVA GENOTYPES FOR ROOT YIELD UNDER DROUGHT USING BLUPs AS SELECTION INDEX

ABSTRACT

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) is one of the most produced and consumed tuber crops in the world. In semi-arid regions, early selection of drought tolerant germplasm is necessary for improving future yield. Thus, the objectives of the work were to classify cassava genotypes harvested early in terms of tolerance to water stress and to estimate the genetic gains of the most promising accessions. The experiment was carried out using a completely randomized block design with four replications, at the sixth month after planting 11 morpho-agronomic characters were evaluated under drought conditions. The genetic parameters were estimated using restricted maximum likelihood (REML) and best linear unbiased prediction (BLUP) method, then each character received a weight and the selection index for water stress (ISEH) was estimated. After genotype classification, selection gain and improved mean of the 25 tolerant genotypes were predicted. Twenty-five genotypes were classified as tolerant and susceptible. The results showed high precision for most of the characters, except for leaf retention. The use of ISEH provided high selection gains for root productivity (96.90%), number of roots per plant (38.93%) and shoot productivity (32.83%). Water stress tolerant genotypes that have a high root yield tend to have a higher number of roots early. With the use of the 25 tolerant genotypes it is possible to obtain an increase in the averages for all evaluated characters, except stem diameter. BGM-0648, BRS Formosa, Capixaba and Vassoura Preta presented the highest values for root productivity ($> 8.0 \text{ Mg ha}^{-1}$).

Palavras-chaves: Plant phenotyping, *Manihot esculenta*, REML/BLUP, improved average.

1 – INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas, e seu impacto na agricultura, é uma das áreas de pesquisa mais pujantes, uma vez que diversos estresses abióticos reduzem a produtividade das culturas agrícolas. A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é cultivada em regiões tropicais e subtropicais, sendo uma espécie de grande importância para indústria, alimentação humana e animal devido seu alto teor de amido, além de sua capacidade de crescer em condições climáticas adversas (DUDU et al., 2019). Dentre diversas culturas, a mandioca é considerada uma das mais promissoras para suprir a futura demanda de alimentos no mundo (PUSHPALATHA; GANGADHARAN, 2020).

Dentre os estresses abióticos, o hídrico é um dos que mais causam prejuízos ao rendimento das culturas (OLIVEIRA et al., 2017; VITOR et al., 2019). Apesar da mandioca ser considerada tolerante ao estresse hídrico, pois apresenta algum rendimento mesmo sob condições de seca, selecionar genótipos mais tolerantes ainda é uma das alternativas mais eficientes para aumentar a produtividade da cultura (SOUZA et al., 2010; OKOGBENIN et al., 2013). Para que ocorra a seleção de clones superiores, a diversidade genética da cultura deve ser explorada com base em estimativas fenotípicas (RIMOLDI et al., 2010; ASARE et al., 2011; CEBALLOS et al., 2013) ou genotípicas de características morfológicas e agrônômicas da cultura (OLIVEIRA et al., 2014).

O ideal durante a seleção é que os experimentos sejam realizados em ambientes-alvos, demonstrando assim o real potencial genético do genótipo para produção nas condições edafoclimáticas desejadas, embora muitas vezes isso não seja possível. Em adição, a necessidade de realizar a fenotipagem em um grande número de genótipos, realizar a seleção de forma mais rápida e reduzir os altos custos durante a instalação e manejo dos experimentos, também são problemas dessa etapa (DINIZ; OLIVEIRA, 2019).

A utilização de índices de seleção tendo como base apenas a produtividade é comum em métodos de melhoramento da mandioca; entretanto essa forma de seleção possui como desvantagens o alto custo de manutenção dos experimentos e demora para coleta e obtenção dos dados relacionados à produtividade (VENUPRASAD et al., 2009). Por esta razão, programas de melhoramento buscam cada vez mais aprimorar a seleção de acessos para tolerância ao estresse hídrico,

reduzindo os períodos de avaliação, utilizando populações maiores para aumentar a intensidade de seleção, procurando aumentar a herdabilidade e garantir altas correlações genéticas (MULUALEM; BEKEKO, 2015).

Poucos trabalhos realizados em regiões que apresentam altas temperaturas e baixa umidade tendo como objetivo selecionar genótipos de mandioca mais tolerantes ao estresse hídrico estimam o ganho genético com a seleção. Selecionando os dez melhores materiais dentre 47 genótipos para cada caráter avaliado, submetidos ao estresse hídrico a partir do quinto mês com colheita realizada após um ano, Oliveira et al. (2015) obtiveram valores de ganho de seleção de 26,5%, 31,6%, 34,21% e 73,3% para conteúdo de matéria seca de raízes, número de raízes por planta, produtividade da parte aérea e produtividade de raízes, respectivamente. Adjebeng-Danquah et al. (2016) avaliando 150 genótipos de mandioca com colheita realizada aos 12 meses em uma região de Gana, utilizando a intensidade de seleção em 5% obtiveram ganhos genéticos entre 13% e 41% para características morfoagronômicas de raízes.

Este trabalho objetivou a seleção e classificação de genótipos de mandioca de acordo com seu desempenho agrônomo sob condições de estresse hídrico em colheitas realizadas de forma precoce (6 meses após o plantio), além de estimar os ganhos genéticos com a seleção.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material vegetal e condução dos ensaios

Dois experimentos em condições de campo foram conduzidos na área de experimentação agrícola da Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus de Ciências Agrárias, situada no município de Petrolina-PE (9°16'10" S, 40°33'43" W e altitude média de 373 m). O clima local é do tipo Bsh', semiárido, o solo é classificado como Argissolo amarelo eutrocoeso típico (SILVA et al., 2017).

Os experimentos avaliaram um total de 218 genótipos provenientes do Banco Ativo de Germoplasma (BAG-Mandioca) da Embrapa Mandioca e Fruticultura. Alguns acessos foram selecionados a partir do resultado de experimentos com estresse hídrico realizados em outros estudos (ALVES et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2015, OLIVEIRA et al., 2017). O primeiro experimento ocorreu entre abril e novembro de 2018 e contou com 144 genótipos, enquanto que o segundo foi entre novembro de 2018 e junho de 2019 utilizou 133, sendo 38 acessos utilizados em

ambos experimentos. A parcela foi composta por sete plantas no qual as três plantas centrais foram utilizadas para avaliação. Foi utilizado espaçamento 0,8 m x 0,8 m e irrigação via aspersão no primeiro experimento e espaçamento de 0,8 m x 1,0 m e irrigação por gotejamento no segundo. Nos dois experimentos foram utilizados o delineamento de blocos completos casualizados (DBC) com quatro repetições e a colheita foi realizada 188 dias após o plantio (DAP). O manejo da irrigação ocorreu de acordo com a Tabela 1, a evapotranspiração de referência (ET₀) foi obtida de uma estação meteorológica instalada próximo ao local do experimento e o coeficiente de cultura (k_c), iguais a 0,3 (fase inicial), 1,10 (fase de crescimento) e 0,50 (fase final) (KELLER; BLIESNER, 1990).

Tabela 1: Lâmina d'água (Dw) por irrigação, precipitação (P), Evapotranspiração da cultura (ET_c), Temperatura do ar média (T_m) e Umidade Relativa média do ar (UR), durante os dois experimentos (anos).

Experimento	Mês	Dw (mm)	P (mm)	ET _c (mm)	T _m (°C)	UR (%)
1º	1	230,0	5,6	37,5	26,1	42,7
	2	125,0	1,3	36,5	24,5	57,1
	3	65,0	0,5	141,2	24,3	51,8
	4	25,0	0,5	159,5	25,1	48,5
	5	0,0	0,0	184,4	26,4	45,8
	6	0,0	14,0	79,2	27,6	45,1
	7	0,0	0,0	27,1	28,3	45,1
Total		445,0	24,2	665,5		
2º	1	150,0	81,8	38,9	26,3	57,4
	2	125,0	1,0	50,8	28,3	45,0
	3	37,5	65,0	159,5	28,4	50,3
	4	0,0	41,1	137,6	26,9	61,3
	5	0,0	67,1	131,9	27,4	60,3
	6	0,0	3,1	64,2	27,0	53,5
	7	0,0	7,9	23,4	24,4	59,4
Total		312,5	267,0	606,3		

2.2. Características avaliadas

Durante a colheita foram avaliadas as seguintes características: altura de plantas (PH, em m), número de hastes emitidos por estaca (SN); diâmetro do caule (SD, em cm) a 20 cm de altura do solo, número de raízes por planta (RN); comprimento de raiz (RL, em cm); diâmetro de raiz (RD, em cm); produtividade de raízes (RW, em Mg por hectare), produtividade da parte aérea (SW, em Mg por hectare), severidade de ácaros (CM) utilizando uma escala de notas variando entre 1 e 5 (IITA, 1990) e a retenção foliar (LR), de acordo com Fukuda et. al. (2010).

Após a colheita, as raízes foram cortadas (cerca de 1 cm de espessura) para obtenção do conteúdo de matéria seca das raízes (DMC, em %), em seguida uma amostra homogênea de 0,5 kg foi exposta ao processo de secagem ao ar livre até atingir o peso constante. O teor de matéria seca foi obtido expressando o peso seco como uma porcentagem do peso fresco da amostra colhida.

2.3. Análise dos dados

A análise conjunta de variância dos caracteres avaliados nos dois experimentos foi realizada para obter os componentes de variância e a melhor estimativa de previsão imparcial linear (BLUP) utilizando o método de máxima verossimilhança restrita (REML) usando o pacote “lme4” do software R versão 3.4.4 (R Core Team, 2018). O BLUP de cada característica fenotípica foi obtido por meio do modelo $Y_{ijk} = \mu + e_k + g_i + (r/e)_{jk} + E_{ijk}$, em que μ é o efeito da média geral, e_k é o efeito fixo no ano k , g_i é o efeito aleatório do genótipo i , $(r/e)_{jk}$ é o efeito aleatório da repetição j em ano k e E_{ijk} é o efeito residual aleatório do genótipo i na repetição j em ano k .

Em seguida, os BLUPs foram utilizados para estimar os parâmetros genéticos, análise de correlação de Pearson e o ganho de seleção (GS). Foi calculada a média geral (\bar{x}_t) para todas as características, acurácia seletiva (Ac) (RESENDE; DUARTE, 2007) e herdabilidade em nível de média de clone (h_m^2) (CRUZ, 2006).

O índice de seleção de acordo MULAMBA e MOCK (1978) foi utilizado para ranquear os genótipos, as características receberam um valor absoluto tendo como base resultados da estimativa dos efeitos diretos da análise de trilha apresentados por Oliveira (2020), onde o caráter peso de raízes recebeu peso 20, número de raízes por planta, diâmetro de raízes e peso da parte aérea receberam peso 15 e as demais características 5. Posteriormente, foram somados os valores de cada característica para os genótipos, resultando em um valor geral sendo considerado como o índice de seleção para o estresse hídrico (ISEH). A partir do resultado obtido no ISEH, três grupos relacionados à tolerância ao estresse hídrico foram definidos: sensível, moderadamente tolerantes e tolerantes.

3 – RESULTADOS

A acurácia seletiva (Ac) que estima a precisão experimental foi moderada apenas para o caráter retenção foliar (LR) e muito alta para altura de plantas, para as demais características avaliadas o valor foi alto (Tabela 2). Os coeficientes de herdabilidade em nível de média de clone (h_m^2) foram considerados de alta magnitude para número de hastes (SN), altura de plantas (PH), número de raízes (RN), produtividade de raízes (RW) e conteúdo de matéria seca de raízes (DMC) (RESENDE, 2002).

O caráter que apresentou o maior ganho de seleção (GS) foi produtividade de raízes (96,90%), enquanto que para o caráter severidade de ácaros houve redução pela própria seleção negativa (-2,08%). Para as demais características o GS foi positivo variando entre 0,83% para conteúdo de matéria seca de raízes e 38,93% para número de raízes por planta.

Tabela 2: Parâmetros genéticos estimados para altura de plantas (PH), número de hastes (SN), retenção foliar (LR), severidade de ácaros (CM), diâmetro de caule (SD), número de raízes (RN), comprimento de raiz (RL), diâmetro de raiz (RD), produtividade de raízes (RW), produtividade da parte aérea (SW), conteúdo de matéria seca das raízes (DMC).

Parâmetro [#]	PH	SN	LR	CM	SD	RN	RL	RD	RW	SW	DMC
h_m^2	0,83	0,71	0,33	0,56	0,60	0,75	0,49	0,67	0,75	0,61	0,73
Ac	0,91	0,84	0,57	0,75	0,77	0,87	0,70	0,82	0,87	0,78	0,85
\bar{X}_f	1,32	2,18	1,99	3,61	2,06	4,17	25,84	3,40	4,07	9,11	30,95
GS (%)	8,05	10,57	5,27	-2,08	3,01	38,93	8,32	14,07	96,90	32,82	0,83

[#] h_m^2 : herdabilidade a nível de média de clone; Ac: acurácia seletiva; \bar{X}_f : média geral do experimento e GS: ganho de seleção para os 25 melhores genótipos de acordo com de MULAMBA e MOCK (1978).

Na tabela 3, está apresentada a classificação decrescente dos melhores e piores genótipos de acordo com o ranque de MULAMBA e MOCK (1978) e sua classificação de acordo com o índice de seleção para estresse hídrico (ISEH). Vinte e cinco genótipos (acessos e variedades), foram classificados em ordem decrescente como tolerantes e sensíveis ao estresse hídrico com colheita realizada precocemente aos seis meses após o plantio, enquanto os demais genótipos foram classificados como moderadamente tolerantes.

Tabela 3: Ranqueamento decrescente dos 25 melhores e piores genótipos de mandioca de acordo com o índice de seleção para o estresse hídrico (ISHE).

Rank	Genótipo	Classificação	Rank	Genótipo	Classificação
1	Capixaba	Tolerante	194	BGM-0468	Sensível
2	BGM-0808	Tolerante	195	BGM-0551	Sensível
3	BRS Formosa	Tolerante	196	Eucalipto	Sensível
4	Vassoura Preta	Tolerante	197	BGM-2018	Sensível
5	BGM-2100	Tolerante	198	BGM-0359	Sensível
6	BGM-0164	Tolerante	199	BGM-0464	Sensível
7	2011-24-156	Tolerante	200	BGM-0611	Sensível
8	BGM-0648	Tolerante	201	BGM-2042	Sensível
9	2011-34-41	Tolerante	202	BGM-1754	Sensível
10	IAC-576	Tolerante	203	BGM-1332	Sensível
11	BGM-1267	Tolerante	204	BGM-0892	Sensível
12	Correntão	Tolerante	205	BGM-0527	Sensível
13	BGM-1726	Tolerante	206	BGM-1716	Sensível
14	BGM-0512	Tolerante	207	BGM-0866	Sensível
15	BGM-0396	Tolerante	208	BGM-1779	Sensível
16	BGM-0451	Tolerante	209	BGM-0084	Sensível
17	BRS Verdinha	Tolerante	210	BGM-2020	Sensível
18	BRS Tapioqueira	Tolerante	211	BGM-0340	Sensível
19	BGM-0170	Tolerante	212	BGM-1225	Sensível
20	IAC14	Tolerante	213	BGM-0587	Sensível
21	BGM-0303	Tolerante	214	BGM-0679	Sensível
22	BGM-0574	Tolerante	215	BGM-1253	Sensível
23	BGM-1243	Tolerante	216	2011-34-69	Sensível
24	Dona Diva	Tolerante	217	BGM-0089	Sensível
25	BRS Mulatinha	Tolerante	218	BGM-0019	Sensível

Em relação as características da parte aérea (Tabela 4), com o ranqueamento dos 25 melhores genótipos, a média dos valores genéticos para altura de plantas foi dez centímetros menor (1,22) que a média geral do experimento (1,32). O caráter número de hastes apresentou uma redução de 27,52% (nova média de 1,58), enquanto que o ganho para diâmetro do caule foi praticamente nulo (0,04 cm). O ganho de seleção foi baixo para o caráter retenção foliar (5,27%) e a nova média melhorada foi elevada apresentando ganho de 60,8% (score 3,20) em relação a média geral (score 1,99).

Com a seleção o ganho para redução da severidade de ácaros foi baixo (-2,08%) e a nova média melhorada reduziu 19,94% (score 2,89) em comparação a

média geral utilizando todos os materiais (score 3,61) (Tabela 5). A maior média genotípica prevista foi obtida para número de raízes por planta com ganho de 67,87%, aumentando quase que em três unidades o número médio de raízes após um ciclo de seleção. Em adição, também existe possibilidade de acréscimo em 17,06% no diâmetro médio de raízes, passando de 3,40 cm para 3,98 cm, embora tenha havido uma pequena redução no seu comprimento médio de 0,15 cm (25,69).

O ganho de seleção foi de 32,82% para produtividade da parte aérea (SW) e a média melhorada reduziu em 48,08% (novo score 4.80) (Tabela 6). Em relação a produtividade de raízes, o ganho esperado com a seleção dos genótipos mais tolerantes é de 17,94% em relação à média geral. Embora o ganho para teor de matéria seca de raízes seja de apenas 0.83%, isso representa um aumento de 15,25% na média geral da característica.

Tabela 4: Classificação decrescente dos acessos 25 melhores acessos de mandioca baseado na média BLUP (u+g), ganho genético (GG) e média melhorada (IA) para as características da parte aérea altura de plantas (PH), número de hastes (SN), diâmetro de caule (SD) e retenção foliar (LR).

Genótipo	PH			Genótipo	SN			Genótipo	SD			Genótipo	LR		
	u+g	GG	IA		u+g	GG	IA		u+g	GG	IA		u+g	GG	IA
	(cm)				(nº)				(cm)				(nº)		
BGM-1726	1.43	0.12	1.43	IAC-576	2.62	0.28	2.62	BGM-0396	2.35	0.07	2.35	BRS Verdinha	3.46	0.18	3.46
BGM-0396	1.38	0.11	1.41	BGM-0164	2.53	0.27	2.57	BGM-1243	2.31	0.07	2.33	Capixaba	3.32	0.18	3.39
2011-24-156	1.34	0.11	1.38	BGM-0451	2.40	0.25	2.52	BGM-0808	2.28	0.07	2.31	2011-24-156	3.32	0.18	3.37
BGM-1243	1.33	0.11	1.37	Capixaba	2.28	0.24	2.46	2011-34-41	2.23	0.07	2.29	BGM-0648	3.32	0.18	3.36
Correntão	1.30	0.10	1.36	BRS Formosa	2.26	0.24	2.42	2011-24-156	2.22	0.07	2.28	BGM-0574	3.32	0.18	3.35
BGM-0574	1.30	0.10	1.35	BGM-0808	1.93	0.20	2.34	BGM-1726	2.17	0.07	2.26	BGM-1243	3.31	0.17	3.34
BGM-0303	1.29	0.10	1.34	BGM-0170	1.82	0.19	2.26	BGM-0164	2.16	0.06	2.25	BGM-0164	3.31	0.17	3.34
Capixaba	1.26	0.10	1.33	BRS Mulatinha	1.82	0.19	2.21	Correntão	2.14	0.06	2.23	BRS Mulatinha	3.31	0.17	3.34
BGM-0164	1.26	0.10	1.32	BRS Tapioqueira	1.78	0.19	2.16	BGM-0574	2.14	0.06	2.22	BGM-0512	3.25	0.17	3.33
2011-34-41	1.25	0.10	1.31	BGM-2100	1.70	0.18	2.11	IAC-576	2.13	0.06	2.21	BGM-0451	3.25	0.17	3.32
Dona Diva	1.22	0.10	1.30	Dona Diva	1.70	0.18	2.08	BRS Verdinha	2.13	0.06	2.21	BGM-1267	3.19	0.17	3.31
Vassoura Preta	1.21	0.10	1.30	Vassoura Preta	1.58	0.17	2.04	BRS Tapioqueira	2.12	0.06	2.20	BGM-0396	3.19	0.17	3.30
BGM-1267	1.21	0.10	1.29	Correntão	1.51	0.16	1.99	BGM-0512	2.11	0.06	2.19	BGM-0170	3.19	0.17	3.29
BGM-0808	1.20	0.10	1.28	BRS Verdinha	1.46	0.15	1.96	BGM-2100	2.10	0.06	2.19	Correntão	3.17	0.17	3.28
BGM-2100	1.20	0.10	1.28	BGM-0303	1.41	0.15	1.92	BGM-1267	2.10	0.06	2.18	Vassoura Preta	3.17	0.17	3.27
BGM-0512	1.19	0.10	1.27	IAC14	1.41	0.15	1.89	BGM-0648	2.07	0.06	2.17	BGM-0303	3.17	0.17	3.27
BRS Tapioqueira	1.17	0.09	1.27	BGM-0574	1.35	0.14	1.86	BGM-0303	2.06	0.06	2.17	BRS Formosa	3.17	0.17	3.26
IAC-576	1.17	0.09	1.26	BGM-0396	1.27	0.13	1.82	BRS Mulatinha	2.04	0.06	2.16	BRS Tapioqueira	3.17	0.17	3.25
BGM-0451	1.16	0.09	1.26	BGM-0512	1.23	0.13	1.79	Capixaba	2.00	0.06	2.15	BGM-2100	3.09	0.16	3.25
BGM-0170	1.15	0.09	1.25	BGM-1267	1.21	0.13	1.76	Vassoura Preta	1.99	0.06	2.14	BGM-1726	3.09	0.16	3.24
BRS Mulatinha	1.11	0.09	1.24	2011-34-41	1.18	0.12	1.74	Dona Diva	1.98	0.06	2.14	IAC14	3.09	0.16	3.23
BGM-0648	1.11	0.09	1.24	BGM-1243	0.88	0.09	1.70	BGM-0451	1.97	0.06	2.13	BGM-0808	3.01	0.16	3.22
BRS Verdinha	1.10	0.09	1.23	BGM-0648	0.71	0.08	1.65	IAC14	1.97	0.06	2.12	2011-34-41	3.01	0.16	3.21
BRS Formosa	1.07	0.09	1.23	BGM-1726	0.71	0.08	1.61	BGM-0170	1.95	0.06	2.11	IAC-576	3.01	0.16	3.20
IAC14	1.06	0.09	1.22	2011-24-156	0.71	0.08	1.58	BRS Formosa	1.77	0.05	2.10	Dona Diva	3.01	0.16	3.20

Tabela 5: Classificação decrescente dos acessos 25 melhores acessos de mandioca baseado na média BLUP (u+g), ganho genético (GG) e média melhorada (IA) para as características severidade de ácaros (CM), número de raízes por planta (RN), comprimento de raiz (RL) e diâmetro de raiz (RD).

Genótipo	CM			Genótipo	RN			Genótipo	RL			Genótipo	RD		
	u+g	GG	IA		u+g	GG	IA		u+g	GG	IA		u+g	GG	IA
	(nº)				(nº)				(cm)				(cm)		
2011-34-41	3.07	-0.06	3.07	BRS Verdinha	8.82	3.43	8.82	BGM-2100	29.40	2.45	29.40	BGM-0648	4.56	0.64	4.56
Correntão	3.06	-0.06	3.06	BGM-0164	8.80	3.43	8.81	BGM-0396	28.16	2.34	28.78	BRS Formosa	4.42	0.62	4.49
BGM-2100	3.02	-0.06	3.05	Vassoura Preta	8.51	3.31	8.71	BGM-1726	27.71	2.31	28.42	IAC14	4.38	0.62	4.46
IAC14	3.02	-0.06	3.04	IAC-576	8.45	3.29	8.65	Correntão	27.38	2.28	28.16	BRS Mulatinha	4.38	0.62	4.44
BGM-0512	2.98	-0.06	3.03	2011-34-41	8.15	3.17	8.55	Capixaba	27.20	2.26	27.97	BGM-0512	4.31	0.61	4.41
Vassoura Preta	2.98	-0.06	3.02	BGM-0451	7.72	3.01	8.41	BGM-0170	26.92	2.24	27.80	Vassoura Preta	4.27	0.60	4.39
IAC-576	2.98	-0.06	3.02	Capixaba	7.60	2.96	8.29	BGM-0164	26.65	2.22	27.63	Correntão	4.24	0.60	4.37
Dona Diva	2.98	-0.06	3.01	BRS Tapioqueira	7.51	2.92	8.20	BGM-0648	26.34	2.19	27.47	2011-34-41	4.20	0.59	4.35
BRS Mulatinha	2.96	-0.06	3.01	BRS Formosa	7.45	2.90	8.11	BGM-1243	25.65	2.13	27.27	BGM-0451	4.16	0.58	4.32
BRS Tapioqueira	2.94	-0.06	3.00	BGM-0170	7.41	2.88	8.04	BRS Mulatinha	25.62	2.13	27.10	BGM-2100	4.08	0.57	4.30
BGM-0808	2.93	-0.06	2.99	Dona Diva	7.29	2.84	7.97	BGM-1267	25.61	2.13	26.97	2011-24-156	4.06	0.57	4.28
BGM-1726	2.93	-0.06	2.99	2011-24-156	7.29	2.84	7.92	BGM-0808	25.60	2.13	26.85	Capixaba	4.00	0.56	4.25
BGM-0451	2.93	-0.06	2.98	BGM-0808	7.23	2.82	7.86	Vassoura Preta	25.52	2.12	26.75	BGM-1267	3.93	0.55	4.23
BGM-0396	2.90	-0.06	2.98	IAC14	7.11	2.77	7.81	BRS Tapioqueira	25.47	2.12	26.66	BGM-1726	3.90	0.55	4.21
BGM-0303	2.89	-0.06	2.97	BGM-1267	6.78	2.64	7.74	BGM-0574	25.28	2.10	26.57	BGM-0170	3.88	0.55	4.18
BGM-0574	2.89	-0.06	2.97	BGM-0303	6.56	2.56	7.67	BGM-0512	25.05	2.08	26.47	BGM-0303	3.87	0.54	4.16
Capixaba	2.84	-0.06	2.96	Correntão	6.40	2.49	7.59	IAC14	24.82	2.06	26.38	BGM-0396	3.84	0.54	4.14
2011-24-156	2.80	-0.06	2.95	BGM-2100	6.32	2.46	7.52	2011-34-41	24.77	2.06	26.29	BGM-1243	3.80	0.53	4.13
BGM-0648	2.80	-0.06	2.94	BGM-0648	6.32	2.46	7.46	BGM-0451	24.66	2.05	26.20	BRS Tapioqueira	3.77	0.53	4.11
BGM-0170	2.78	-0.06	2.93	BGM-1243	6.28	2.45	7.40	BGM-0303	24.50	2.04	26.12	BGM-0164	3.69	0.52	4.09
BRS Formosa	2.77	-0.06	2.93	BGM-0396	6.10	2.38	7.34	BRS Verdinha	24.38	2.03	26.03	BGM-0808	3.65	0.51	4.07
BGM-1243	2.76	-0.06	2.92	BGM-1726	5.59	2.17	7.26	BRS Formosa	24.16	2.01	25.95	BRS Verdinha	3.64	0.51	4.05
BRS Verdinha	2.74	-0.06	2.91	BGM-0574	5.22	2.03	7.17	Dona Diva	23.87	1.99	25.86	BGM-0574	3.60	0.51	4.03
BGM-0164	2.73	-0.06	2.90	BRS Mulatinha	5.13	2.00	7.09	2011-24-156	23.80	1.98	25.77	Dona Diva	3.51	0.49	4.01
BGM-1267	2.61	-0.05	2.89	BGM-0512	4.92	1.91	7.00	IAC-576	23.80	1.98	25.69	IAC-576	3.37	0.47	3.98

Tabela 6: Classificação decrescente dos acessos 25 melhores acessos de mandioca baseado na média BLUP (u+g), ganho genético (GG) e média melhorada (IA) para as características produtividade da parte aérea (SW), produtividade de raízes (RW) e conteúdo de matéria seca de raízes (DMC).

Genótipo	SW			Genótipo	RW			Genótipo	DMC		
	u+g	GG	IA		u+g	GG	IA		u+g	GG	IA
	(Mg ha ⁻¹)				(Mg ha ⁻¹)				(%)		
BGM-0808	9.15	3.00	9.15	BRS Formosa	9.63	9.33	9.63	Capixaba	39.43	0.33	39.43
BGM-0164	8.90	2.92	9.03	BGM-0648	8.12	7.86	8.87	BGM-0396	39.21	0.33	39.32
IAC-576	8.22	2.70	8.76	Capixaba	7.75	7.51	8.50	BGM-0574	38.49	0.32	39.04
BGM-0512	7.62	2.50	8.47	Vassoura Preta	7.23	7.00	8.18	BGM-0808	37.80	0.31	38.73
BGM-0574	7.36	2.42	8.25	BGM-2100	7.11	6.89	7.97	BRS Mulatinha	37.74	0.31	38.53
Capixaba	5.78	1.90	7.84	2011-24-156	6.60	6.39	7.74	BGM-1267	37.70	0.31	38.39
BGM-1267	5.47	1.79	7.50	BGM-0512	6.47	6.27	7.56	2011-24-156	37.17	0.31	38.22
2011-24-156	5.37	1.76	7.23	BGM-0808	6.35	6.16	7.41	IAC-576	36.66	0.30	38.02
BGM-2100	5.12	1.68	7.00	2011-34-41	5.86	5.68	7.23	BGM-0303	36.56	0.30	37.86
BRS Formosa	4.88	1.60	6.79	BGM-1726	5.68	5.50	7.08	BRS Verdinha	36.12	0.30	37.69
2011-34-41	4.74	1.56	6.60	IAC14	5.43	5.26	6.93	Correntão	35.80	0.30	37.52
BGM-1243	4.69	1.54	6.44	BGM-0451	5.03	4.88	6.77	BGM-2100	35.70	0.30	37.36
Correntão	4.52	1.48	6.29	BRS Tapioqueira	4.29	4.16	6.58	BGM-0170	35.52	0.29	37.22
BGM-1726	4.09	1.34	6.14	BRS Verdinha	4.11	3.98	6.40	BGM-0648	35.27	0.29	37.08
BRS Mulatinha	4.05	1.33	6.00	BGM-1267	4.07	3.94	6.25	Vassoura Preta	35.22	0.29	36.96
BGM-0396	3.99	1.31	5.87	BGM-0170	4.04	3.92	6.11	BGM-0164	35.14	0.29	36.84
BGM-0648	3.96	1.30	5.76	Correntão	3.94	3.81	5.98	BGM-1243	34.85	0.29	36.73
Dona Diva	3.93	1.29	5.66	BGM-0303	3.22	3.12	5.83	BGM-1726	34.78	0.29	36.62
BGM-0303	3.75	1.23	5.56	BGM-1243	3.19	3.09	5.69	Dona Diva	34.77	0.29	36.52
Vassoura Preta	3.61	1.18	5.46	Dona Diva	3.11	3.01	5.56	2011-34-41	34.15	0.28	36.40
BRS Tapioqueira	3.43	1.13	5.36	BGM-0396	2.34	2.27	5.41	BGM-0451	33.96	0.28	36.29
BGM-0170	1.74	0.57	5.20	BRS Mulatinha	2.32	2.25	5.27	BRS Tapioqueira	33.85	0.28	36.18
BGM-0451	1.71	0.56	5.05	BGM-0164	1.47	1.42	5.10	IAC14	33.49	0.28	36.06
BRS Verdinha	1.23	0.40	4.89	IAC-576	1.41	1.36	4.95	BRS Formosa	32.46	0.27	35.91
IAC14	0.89	0.29	4.73	BGM-0574	1.24	1.20	4.80	BGM-0512	29.90	0.25	35.67

4 - DISCUSSÃO

As características avaliadas apresentaram ganhos com a seleção dos 25 genótipos tolerantes ao estresse hídrico. Para a característica severidade causada por ácaros os ganhos foram pequenos (-2,08%), mas suficiente para reduzir a média da severidade de 3,61 para 2,89. Em regiões semiáridas e em locais que apresentam períodos sazonais de seca, os danos causados por ácaros podem reduzir a produtividade de raízes em mais de 80%, além de também causarem redução na quantidade de amido (EZENWAKA et al., 2018). A média melhorada com a recombinação dos genótipos tolerantes reduziu em quase 20% a severidade de ácaros e isso é relevante, pois, durante as etapas de seleção de materiais, outras características que podem interferir negativamente no manejo da cultura e causar redução na qualidade e produtividade de raízes devem ser consideradas.

O ganho de seleção para produtividade de raízes foi de 96,90%, pois os genótipos tolerantes ao déficit hídrico possuem potencial produtivo médio de 4,8 Mg ha⁻¹, enquanto a média geral da população é de 4,07 Mg ha⁻¹. As produtividades do acesso BGM-0648 e das variedades BRS Formosa, Capixaba e Vassoura Preta, mesmo submetidos ao estresse hídrico e colheita realizada no sexto mês após o plantio, foram superiores a 8,0 Mg ha⁻¹ de raízes. Oliveira et al. (2015) ao selecionarem os dez melhores materiais dentre 47 genótipos, submetidos ao estresse hídrico a partir do quinto mês com colheita realizada após um ano, obtiveram valores de ganho de seleção (GS) inferiores para produtividade de raízes (88,45%), com produtividade média de 11,7 Mg ha⁻¹, sendo esse valor quase 2,5 vezes superior ao obtido nesse trabalho (4.8 Mg ha⁻¹). Como o período mais crítico da cultura ocorre entre o primeiro e quinto mês após o plantio, que corresponde ao período de formação das raízes tuberosas (OKOGBENIN et al., 2013; DARYANTO; WANG; JACINTHE, et al., 2016), a diferença na produtividade de raízes provavelmente está associada ao tempo, uma vez que o estresse hídrico foi iniciado ao terceiro mês, enquanto no trabalho de Oliveira et al. (2015) iniciou-se no quinto mês após o plantio.

A seleção dos 25 clones aumentou em 32,82% o ganho para produtividade da parte aérea (SW) e a média prevista melhorada reduziu a produtividade da parte aérea de 9,11 Mg.ha⁻¹ para 4,73 Mg.ha⁻¹ (48,08%). Os genótipos BGM-0808, BGM-0164, IAC-576, BGM-0512 e BGM-0574 apresentaram os maiores valores

genotípicos para SW dentre os genótipos tolerantes ao estresse hídrico, enquanto BGM-0170, BGM-0451, IAC-14 e a variedade BRS Verdinha apresentaram os menores valores. Isso demonstra a grande variabilidade genética entre os genótipos estudados para esse caráter. Oliveira et al. (2015) ao realizarem a seleção dos 10 melhores genótipos, em condições de estresse hídrico e colheita realizada ao décimo segundo mês, obtiveram ganhos semelhantes para SW (32,77%) enquanto a média melhorada foi 9,80 Mg.ha⁻¹. A diferença de mais 4,0 Mg.ha⁻¹ no caráter produtividade da parte aérea entre esse trabalho (4,80 Mg.ha⁻¹) e o de Oliveira et al. (2015), é associada a diversos fatores como o período de colheita, período e nível de estresse aplicado, condições edaoclimáticas e genótipos diferentes.

A nova média melhorada para o conteúdo de matéria seca de raízes foi estimada em 35,67%, sendo esse valor superior ao encontrado em trabalhos de estresse hídrico realizados anteriormente por El-Sharkawy (2007), Oliveira et al. (2015) e Oliveira et al. (2017) com média de 25%, 22,51% e 23,38%, respectivamente, o que denota que características que são importantes para indústria e que podem persistir até a maturidade podem ser selecionadas precocemente, mesmo quando o ganho de seleção apresenta valores muito baixos (0.83%).

A média do número de raízes por planta, utilizando os 218 genótipos, foi estimada em 4,17, após a seleção dos 25 melhores genótipos a média melhorada chegou ao número de 7,0 raízes por planta. Ambos os valores foram superiores à média melhorada (3,76) apresentada por Oliveira et al. (2015) ao selecionarem os dez melhores genótipos para esse caráter. Ao realizar a classificação decrescente de todos os 218 genótipos para o caráter número de raízes por planta, 60% dos materiais classificados como tolerante fazem parte dos 25 genótipos que apresentaram maiores médias, confirmando que o número de raízes por planta pode ser considerado um dos mecanismos de tolerância ao estresse hídrico (OLIVEIRA et al., 2015), podendo esse parâmetro ser utilizado na seleção indireta com a ajuda de outros parâmetros genéticos, como por exemplo, a herdabilidade.

Em relação às características comprimento (RL) e diâmetro de raízes (RD), o ganho de seleção foi menor que 15% para ambos. Para os genótipos tolerantes, a estimativa da nova média revelou ganho significativo apenas para diâmetro de raízes em função do aumento médio de 3,98 cm para esta característica (17,06%). Por outro lado, houve uma pequena redução de 0,15 cm no comprimento médio das

raízes. Estes resultados corroboram os relatos de Vitor et al. (2019) ao avaliarem nove genótipos de mandioca submetidos ou não ao estresse hídrico em dois diferentes períodos de colheita, na qual constataram que independente da condição hídrica e período de colheita (precoce no quarto mês após o plantio ou no décimo segundo mês), o comprimento de raízes permaneceu praticamente inalterado, enquanto a partir dessa fase os maiores ganhos ocorrem no diâmetro das raízes, devido à sua tuberização. Esses dados reforçam que utilizando o diâmetro de raízes como parâmetro, é possível realizar a seleção de genótipos de mandioca que apresentam uso eficiente da água durante o estágio inicial de crescimento (ADU et al., 2018).

Um dos mecanismos utilizados pela planta para mitigar os efeitos do estresse hídrico é redução de sua área foliar, iniciando pela perda parcial de folhas basais, podendo essa perda atingir toda planta, dependendo do período e severidade do estresse, resultando em perdas na produtividade de raízes (EI-SHARKAWY, 2012; OKOGBENIN et al., 2013). O ganho de seleção para retenção foliar foi de 5,27%, no qual os genótipos tolerantes selecionados possuem a capacidade de elevar o score médio para 3,2. Selecionar acessos que apresentam alta retenção foliar é tão importante quanto selecionar materiais que apresentam alta produtividade de raízes, uma vez que a combinação dessas e outras características de tolerância é desejável em cultivares comerciais. Em adição, Lenis et al. (2006) identificaram que genótipos com maior potencial de retenção foliar em condições de déficit hídrico apresentaram produtividade semelhante aos que não foram submetidos ao estresse.

Baixas estimativas no ganho de seleção foram obtidas para diâmetro de caule (3,01%) e altura de plantas (8,05%), a média melhorada para essas duas características também foram baixas, apresentando pequeno acréscimo de 0,04 cm para diâmetro de caule e decréscimo de 0,10 cm na altura da planta. Apesar de não ter ocorrido ganho significativo para o diâmetro de caule (SD), é fundamental que não haja perdas com a seleção, pois o caule possui a habilidade de acumular carboidratos de reserva e em seguida redistribuir lentamente durante períodos de déficit hídrico, mesmo que em pequena quantidade (DUQUE; SETTER, 2013). O oposto ocorre em relação à redução na altura de plantas (PH), pois em situações de déficit hídrico esse caráter apresenta correlação negativa com a produtividade de raízes (DUQUE, 2012).

O ganho de seleção para número de hastes (SN) foi de 10,57%, e a média melhorada apresentou um decréscimo de 27,52%, passando de 2,18 para 1,58. Características morfológicas da parte aérea da mandioca são importantes para o manejo, tratos culturais e colheita. A redução no número de hastes com a seleção dos melhores genótipos pode ser benéfica, pois materiais que apresentam menor número de hastes por planta possuem vantagens na redução do espaçamento entre plantas e linhas que pode ser benéfico para maior aproveitamento da área e consequente rendimento da cultura (RÓS et al., 2011). Outro ponto positivo é que plantas de haste única, eretas e que não possuam ramificações muito próximas ao solo facilitam o processo de entrada de máquinas e colheita (PAZ, 2020).

Alta herdabilidade em nível de média de clone (h_m^2) foram identificados para altura de plantas (0,83), número de hastes (0,71), número de raízes (0,75) e conteúdo de matéria seca de raízes (0,73) indicando que a seleção baseada nessas características tende a contribuir com altos ganhos genéticos. Este fato demonstra que para essas características, apesar da mudança ambiental causada pelo estresse hídrico, os genótipos estudados apresentaram boa repetibilidade. Para as demais características, os genótipos apresentaram maior influência ambiental na expressão do fenótipo, resultando em estimativas medianas de herdabilidade. Em relação à precisão experimental estimada pela acurácia seletiva (A_c), apenas a retenção foliar (0,57) apresentou valor de média magnitude. Uma hipótese para explicar a herdabilidade de média magnitude para este caráter seria o fato de que sua avaliação é realizada de forma visual por apenas uma pessoa, e portanto uma das alternativas para elevar a herdabilidade seria utilizar maior número de avaliadores.

Apesar da intensidade de seleção aplicada ter sido menor que 15%, os ganhos genéticos previstos foram elevados. Caso fosse aplicada uma intensidade de seleção de 20% (40 genótipos) apenas características relacionadas à parte aérea apresentariam aumento no ganho de seleção, não sendo isso vantajoso, uma vez que o objetivo principal é incrementar a produtividade de raízes sob déficit hídrico precocemente.

Ao realizar a classificação para todas as características individualmente, a variedade Capixaba, foi o único dos genótipos selecionados como tolerantes que ficou melhor ranqueada para dez características, exceto diâmetro de caule,

confirmando seu melhor desempenho em condições de estresse hídrico em relação aos demais genótipos. Apesar das poucas pesquisas dedicadas à identificação de genótipos tolerantes ao déficit hídrico na região semiárida, esse estudo é concordante com outros estudos (Oliveira et al., 2015) em que a variedade BRS Formosa é classificada como Tolerante, enquanto os acessos BGM-0089 e BGM-2020 e a variedade Eucalipto que estavam classificados como comportamento não definido, nesse presente trabalho foram classificados como sensíveis.

5 – CONCLUSÃO

1 – Genótipos tolerantes ao estresse hídrico tendem a apresentar maior número de raízes em fases iniciais de desenvolvimento, podendo esse parâmetro ser utilizado na seleção indireta para aumento na produtividade de raízes.

2 - A seleção de vinte e cinco acessos (11,5%) tolerantes ao estresse hídrico resultou em alta média melhorada para maioria das características avaliadas, exceto para diâmetro de raízes.

3 - O índice de seleção para estresse hídrico proporcionou elevados ganhos de seleção para as características número de raízes por planta, produtividade de raízes e produtividade da parte aérea.

4 – Os genótipos BGM-0648, BRS Formosa, Capixaba e Vassoura Preta apresentam elevado potencial produtivo em condições de severo estresse hídrico, em colheita precoce.

6 – REFERÊNCIAS

ADJEBENG-DANQUAH, J. et al. Agronomic performance and genotypic diversity for morphological traits among cassava genotypes in the Guinea Savannah Ecology of Ghana. **Journal of crop Science and Biotechnology**, v. 19, n. 1, p. 99-108, 2016.

ADU, M. O. et al. Characterising shoot and root system trait variability and contribution to genotypic variability in juvenile cassava (*Manihot esculenta* Crantz) plants. **Heliyon**, v. 4, n. 6, p. e00665, 2018.

ALVES, A. et al. Avaliação de variedades de mandioca para tolerância à seca, em condições semi-áridas do Brasil. *Revista Raízes e Amidos Tropicais*, v. 3, p. 1-5, 2007.

ASARE, P. A. et al. Morphological and molecular based diversity studies of some cassava (*Manihot esculenta* Crantz) germplasm in Ghana. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, p. 13900–13908, 2011.

CEBALLOS, H. et al. Rapid cycling recurrent selection for increased carotenoids content in cassava roots. **Crop Science**, v. 53, n. 6, p. 2342-2351, 2013.

CRUZ, C.D. **Programa GENES: estatística experimental e matrizes**. Viçosa: UFV, 2006. 285p.

DARYANTO, S.; WANG, L.; JACINTHE, P. A. Drought effects on root and tuber production: A meta-analysis. **Agricultural Water Management**, v.176, p.122–131, 2016.

DINIZ, R. P.; OLIVEIRA, E. J. Genetic parameters, path analysis and indirect selection of agronomic traits of cassava germplasm. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 91, n. 3, 2019.

DUDU, O. E. et al. Structural and functional characteristics of optimised dry-heat-moisture treated cassava flour and starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 133, p. 1219– 1227, 2019.

DUQUE, L. O. **Cassava drought tolerance mechanisms re-visited: evaluation of drought tolerance in contrasting cassava genotypes under water stressed environments**. 2012. 176f. Tese (Doutorado em Ciências), Universidade de Cornell, Departamento de produção vegetal e ciências do solo, 2012.

DUQUE, L. O.; SETTER, T. L. 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**, v. 6, p. 199–209, 2013.

EL-SHARKAWY, M. A. Stress-tolerant cassava: the role of integrative ecophysiology-breeding research in crop improvement. **Open Journal of Soil Science**, v. 2, n. 02, p. 162-186, 2012.

EL-SHARKAWY, M. A. Physiological characteristics of cassava tolerance to prolonged drought in the tropics: implications for breeding cultivars adapted to seasonally dry and semiarid environments. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 19, n. 4, p. 257–86, 2007.

EL-SHARKAWY, M. A. Stress-tolerant cassava: the role of integrative ecophysiology-breeding research in crop improvement. **Open Journal of Soil Science**, v. 2, n. 02, p. 162, 2012.

EZENWAKA, L. et al. Genome-wide association study of resistance to cassava green mite pest and related traits in cassava. **Crop Science**, v. 58, n. 5, p. 1907-1918, 2018.

FUKUDA, W. M. G. (Eds.) et al. **Selected morphological and agronomic descriptors for the characterization of cassava**. International Institute of Tropical Agriculture, 2010. 19 p.

INTERNATIONAL INSTITUTE OF TROPICAL AGRICULTURE - IITA. **Cassava in Tropical Africa: A reference manual**. Chayce Publications Services, Balding Mansell International, Wisbech, UK. v. 1, p. 176, 1990.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinold. 1990. 652p.

LENIS, J. I. et al. Leaf retention and cassava productivity. **Field Crops Research**, v. 95, n. 2-3, p. 126-134, 2006.

MULAMBA, N.N.; MOCK, J.J. Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Egypt Journal of Genetics and Cytology**, v. 7, p. 40-51, 1978.

MULUALEM, T.; BEKEKO, Z. Assessment of conventional breeding on cassava and its physiological adaptive mechanisms: implication for moisture stress. **Asian Journal of Agricultural Research**, v. 9, p. 38-54, 2015.

OKOGBENIN, E. et al. Phenotypic approaches to drought in cassava. **Frontiers in physiology**, v. 4, p. 93-107, 2013.

OLIVEIRA, E. J. et al. Evaluation of cassava germplasm for drought tolerance under field conditions. **Euphytica**, v. 213, n. 8, p. 188-207, 2017.

OLIVEIRA, E. J. et al. Genetic parameters and prediction of genotypic values for root quality traits in cassava using REML/BLUP. **Genetics and Molecular Research**, v. 13, n. 3, p. 6683-6700, 2014.

OLIVEIRA, E. J. et al. Genetic parameters for drought-tolerance in cassava. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 3, p. 233-241, 2015.

PAZ, R. B. O. et al. Desempenho agrônômico de cultivares de mandioca de mesa em ambiente do cerrado. In: **Colloquium Agrariae**. v. 16, n. 3, p. 37-47, 2020.

PUSHPALATHA, R; GANGADHARAN, B. Is Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) a Climate “Smart” Crop? A Review in the Context of Bridging Future Food Demand Gap. **Tropical Plant Biology**, p. 1-11, 2020.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: a language, environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna. 2018. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 13 jan. 2020.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. Embrapa Florestas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.

RESENDE M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 975 p.

RIMOLDI, F. et al. Genetic divergence in sweet cassava cultivars using morphological agronomic traits and RAPD molecular markers. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 53, p. 1477–1486, 2010.

RÓS, A. B. et al. Crescimento, fenologia e produtividade de cultivares de mandioca. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 4, p. 552-558, 2011.

SILVA, K. A. et al. Levantamento de solos utilizando geoestatística em uma área de experimentação agrícola em Petrolina-PE. **Comunicata Scientiae**, v.8, n.1, p. 175-180, 2017.

SOUZA, M. J. L. et al. Características agrônômicas da mandioca relacionadas à interação entre irrigação, épocas de colheita e cloreto de mepiquat. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 45-53, 2010.

VENUPRASAD, R. et al. Identification and characterization of large-effect quantitative trait loci for grain yield under lowland drought stress in rice using bulk-segregant analysis. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 120, n. 1, p. 177-190, 2009.

VITOR, A. B. et al. Early prediction models for cassava root yield in different water regimes. **Field Crops Research**, v. 239, p. 149-158, 2019.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os genótipos estudados apresentaram grande variabilidade fenotípica sob condições de déficit hídrico e colheita precoce, permitindo com isso a seleção dos daqueles de maior produtividade de raízes. A análise de trilha tendo como base a matriz de correlação genética dos caracteres morfoagronômicos indicou que o número de raízes (RN) foi o que apresentou a maior estimativa para os efeitos diretos. Além disso, outras características como altura de plantas e número de caules apresentaram alta herdabilidade em nível de média de família, acurácia e correlação positiva com o caráter peso de raízes, podendo ser utilizadas durante a seleção indireta dos genótipos na população.

É necessário que o programa de melhoramento de mandioca para regiões semiáridas seja contínuo, uma vez que existe um grande número de acessos presentes nos bancos de germoplasma da região Nordeste do Brasil. Uma das formas de reduzir custos e acelerar o processo de seleção de genótipos superiores, de forma eficiente foi apresentada nesse trabalho, por meio da avaliação de um grande número de genótipos avaliados em colheitas precoces (188 dias).

Para os genótipos que foram avaliados em apenas um único ano e que se apresentaram promissores frente ao estresse hídrico, faz-se necessária a reavaliação em novos experimentos para confirmar sua maior tolerância ao estresse hídrico. O progresso da seleção de genótipos em ambientes-alvo (condição de estresse hídrico) futuramente irá beneficiar agricultores e empresas, pois essa etapa é de suma importância para que seja obtido novas cultivares. Logo, recomenda-se utilizar os 25 acessos que demonstraram ser mais promissores em futuras avaliações.

APÊNDICES

Figura 1: Área de implantação do primeiro experimento (2018).



Figura 2: Área de implantação do segundo ano (2018-2019).



Figura 3: Segundo experimento três meses após o plantio, antes do estresse hídrico total.



Figura 4: Segundo experimento cinco meses após o plantio, durante do estresse hídrico total.



Figura 5: Segundo experimento seis meses após o plantio, dois dias antes da colheita.

