

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA
CENTRO DE ESTUDOS SUPERIORES DE BALSAS - CESBA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E AMBIENTE - PPGAA

LUANA RIBEIRO DE ANDRADE

**EFEITO DA ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL NO DESENVOLVIMENTO
ECOFISIOLÓGICO E PRODUTIVO DA MANDIOCA DE MESA NA REGIÃO SUL
MARANHENSE**

BALSAS

Junho/ 2020

LUANA RIBEIRO DE ANDRADE

**EFEITO DA ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL NO DESENVOLVIMENTO
ECOFISIOLÓGICO E PRODUTIVO DA MANDIOCA DE MESA NA REGIÃO SUL
MARANHENSE**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente – PPGAA/CESBA/UEMA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agricultura e Ambiente.

Orientador (a): Profº. D.Sc. Tiago Massi Ferraz

BALSAS

2020

Andrade, Luana Ribeiro de.

Efeito da adubação orgânica e mineral no desenvolvimento ecofisiológico e produtivo da mandioca de mesa na região sul maranhense / Luana Ribeiro de Andrade. – Balsas, 2020.

82 f

Dissertação (Mestrado) – Curso de Agricultura e Ambiente, Centro de Estudos Superiores de Balsas, Universidade Estadual do Maranhão, 2020.

Orientador: Prof. Dr. Tiago Massi Ferraz.

1. *Manihot esculenta* Crantz. 2. Adubação organomineral.
3. Produtividade. 4. Qualidade de produção. I. Título

Elaborado por Giselle Frazão Tavares - CRB 13/665

LUANA RIBEIRO DE ANDRADE

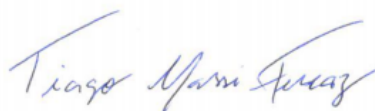
EFEITO DA ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL NO DESENVOLVIMENTO
ECOFISIOLÓGICO E PRODUTIVO DA MANDIOCA DE MESA NA REGIÃO SUL
MARANHENSE

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Agricultura e Ambiente -
PPGAA/CESBA/UEMA, como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Agricultura e Ambiente.

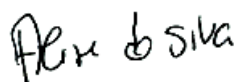
Orientador (a): Prof^o. D.Sc. Tiago Massi
Ferraz

Aprovada em 17/06/2020

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Tiago Massi Ferraz
Universidade Estadual do Maranhão



Prof^a. Dr^a. Alinne da Silva
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão



Prof. Dr. Sávio da Silva Berilli
Instituto Federal do Espírito Santo

“Aos meus pais, Francisco de Andrade Neto e Maria Lucia Ribeiro de Andrade, dedico este trabalho. Seu apoio durante esta jornada tornou tudo mais fácil.”

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da vida, por me permitir realizar mais um sonho e por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

A minha família, irmãos, sobrinhos, primos e todos que me apoiaram durante esta jornada.

Ao meu orientador, Professor Dr. Tiago Massi Ferraz, pela competência e profissionalismo e pelas contribuições no meu desenvolvimento acadêmico; A Universidade Estadual do Maranhão, seu corpo docente, direção e administração, que oportunizaram minha passagem por este programa de Pós-Graduação.

A minha amiga Michela Costa Batista, pelo companheirismo, amizade e apoio emocional que foi fundamental para meu desenvolvimento durante o mestrado.

A todos que possibilitaram a execução deste experimento, Marcelo Amaro que disponibilizou área em sua fazenda; Direção, coordenação e alunos do curso de agronomia do CESBA.

Ao Laboratório Agrônomo Terra Brasileira, pelo auxílio da análise nutricional realizada no final do experimento.

Ao Professor Dr. Evandro Franklin de Mesquita, por me apresentar a área das Ciências Agrárias por meio da Iniciação Científica e por todo o conhecimento compartilhado que foi de fundamental importância para minha formação acadêmica.

Aos meus colegas de turma do Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, em especial, Jeovania Oliveira, pela amizade e companheirismo ao decorrer do curso.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, por todos os conhecimentos repassados durante o curso.

Por fim, a todos aqueles que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização desta dissertação, o meu sincero agradecimento.

RESUMO

A mandioca de mesa ou macaxeira é expressivamente preferida na dieta do nordestino, especialmente no Maranhão, entretanto, a produtividade média da cultura no estado ainda é baixa, cujo rendimento é inferior a $8,5 \text{ t ha}^{-1}$. Este baixo rendimento é atribuído à carência de informações científicas referentes ao manejo produtivo, uma vez que a produção ocorre principalmente através de conhecimentos não tecnificados, sendo que o manejo da adubação da cultura é um dos fatores que mais carece de informações. Neste contexto, foi instalado um experimento, em condições de campo, com o objetivo de avaliar o comportamento morfofisiológico e produtivo da mandioca de mesa em função da adubação orgânica e mineral na Mesorregião Sul Maranhense. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso, arranjos em esquema fatorial 2×5 , com quatro repetições. Os tratamentos resultaram da combinação de duas condições de adubação mineral (com e sem adubação com NPK) e cinco doses de esterco bovino curtido, de relação C/N = 18/1, aplicados no solo (0, 2,5, 5,0, 7,5 e $10,0 \text{ t ha}^{-1}$). Foram avaliadas as características biométricas (Altura, diâmetro caulinar e número de folhas por planta), fisiológicas (Intensidade de verde e eficiência fotoquímica) e produtivas (Número de raízes comerciais e não comerciais, comprimento e diâmetro de raízes, massa de raízes por planta e produtividade), além do estado nutricional das plantas. Os resultados indicaram que as fontes de fertilizantes não incrementaram as variáveis biométricas e intensidade de verde, não influenciaram as características fisiológicas e pouco interferiram na extração de nutrientes pelas plantas. Por outro lado, todos os componentes de produção e produtividade foram incrementados pelas doses crescentes de esterco bovino e adubação com NPK. Com base nos resultados do presente estudo, recomenda-se adubação com 10 t ha^{-1} de esterco bovino e com NPK, pois embora não haja interação entre os fertilizantes, eles agem de forma complementar, incrementando os componentes de produção e produtividade da mandioca de mesa.

Palavras-chave: *Manihot esculenta* Crantz; Adubação organomineral; Produtividade; Qualidade de produção.

ABSTRACT

Table cassava is significantly preferred in the Northeastern diet, especially in Maranhão, however, the average yield of the crop in the state is still low, whose yield is less than 8.5 t ha⁻¹. This low yield is attributed to the lack of scientific information regarding productive management, since the production occurs mainly through non-technical knowledge, and the management of the fertilization of the crop is one of the factors that most lack information. In this context, an experiment was installed, under field conditions, with the objective of evaluating the morphophysiological and productive behavior of table cassava as a function of organic and mineral fertilizing in Mesoregion South of Maranhão state. The experiment was carried out in a randomized block design, arranged in a 5 × 2 factorial scheme, with four replications. The treatments resulted from the combination of five doses of cattle manure, with a C / N = 18/1 ratio, applied to the soil (0, 2.5, 5.0, 7.5, and 10.0 t ha⁻¹) and two conditions of mineral fertilization (with and without NPK fertilization). Biometric characteristics (Height, stem diameter and number of leaves per plant), physiological (Green intensity and photochemical efficiency) and productive characteristics (Number of commercial and non-commercial roots, length and diameter of roots, root mass per plant and productivity) were evaluated, as well as the nutritional status of the plants. The results indicated that the fertilizer sources did not increase the biometric variables and green intensity, did not influence the physiological characteristics and did little to interfere in the extraction of nutrients by the plants. On the other hand, all components of production and productivity were increased by increasing doses of cattle manure and fertilization with NPK. Based on the results of the present study, fertilization with 10 t ha⁻¹ of cattle manure and with NPK is recommended, because although there is no interaction between fertilizers, they act in a complementary way, increasing the production and productivity components of cassava table.

Keywords: *Manihot esculenta* Crantz; Organomineral fertilization; Productivity; Production quality.

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.	Croqui da área experimental.	30
Figura 2.	Preparo da área (A e B) e área após o plantio (C) de mandioca de mesa.	32
Figura 3.	Valores médios de massa fresca da raiz (MFR) e do diâmetro da raiz (DR) da mandioca de mesa em função da adubação mineral.	39
Figura 4.	Massa fresca da raiz (MFR) (A) e diâmetro da raiz (DR) (B) da mandioca de mesa em função da adubação com esterco bovino curtido.	40
Figura 5.	médios de espessura da polpa de raízes (EPR) de mandioca de mesa em função da adubação mineral.	41
Figura 6.	Espessura da polpa de raízes (EPR) de mandioca de mesa em função de adubação com esterco bovino curtido.	42
Figura 7.	Desdobramento da interação entre os tratamentos (EB x NPK) para a variável espessura da casca da raiz (ECR) de mandioca de mesa em função da adubação orgânica e mineral.	43
Figura 8.	Valores médios de produtividade por planta (PP) e produtividade total (PT) da mandioca de mesa em função da adubação mineral.	44
Figura 9.	Valores médios de produtividade por planta (PP) e produtividade total (PT) da mandioca de mesa em função de adubação com esterco bovino.	45
Figura 10.	Desdobramento da interação entre os tratamentos para altura de plantas (ALT) de mandioca de mesa em função da adubação mineral e orgânica.	47
Figura 11.	Desdobramento da interação entre os tratamentos para número de folhas por planta (NFP) de mandioca de mesa em função da adubação mineral e orgânica.	48
Figura 12.	Desdobramento da interação entre os tratamentos para intensidade de verde de plantas de mandioca de mesa em função da adubação mineral e orgânica.	49
Figura 13.	Teor de Nitrogênio (N) e Fósforo (P) em folhas de mandioca de mesa em função da adubação com esterco bovino.	51

Figura 14.	Valores médios para o teor de Enxofre (S) em folhas de mandioca de mesa em função da adubação com esterco bovino.	53
Figura 15.	Desdobramento da interação entre os tratamentos (EB x NPK) para o teor de Zinco (Zn) em folhas de mandioca de mesa em função da adubação mineral e orgânica.	54
Figura 16.	Gráfico biplot de <i>scores</i> e pesos (<i>loadings</i>) para os dois primeiros componentes principais (eixos) das variáveis (A), dos tratamentos (B) e completa (C) de mandioca de mesa.	55

LISTA DE TABELAS

		Pág.
Tabela 1.	Características químicas do esterco utilizado na área experimental.	30
Tabela 2.	Características químicas e físicas do solo da área experimental	30
Tabela 3.	Resumo da análise de variância para as variáveis massa fresca de raízes por planta (MFR) e diâmetro da raiz (DR) da mandioca de mesa em função de adubação mineral e orgânica.	37
Tabela 4.	Resumo da análise de variância para as variáveis espessura da polpa de raízes (EPR) e espessura da casca da raiz (ECR) da mandioca de mesa em função de adubação mineral e orgânica.	40
Tabela 5.	Resumo da análise de variância para as variáveis espessura da polpa de raízes (EPR) e espessura da casca da raiz (ECR) da mandioca de mesa em função de adubação mineral e orgânica.	43
Tabela 6.	Resumo da análise de variância para as variáveis altura de planta (ALT), diâmetro do caule (DC), número de folhas por planta (NFP) e índice SPAD da mandioca de mesa em função de adubação mineral e orgânica.	45
Tabela 7.	Resumo da análise de variância e valores médios para as variáveis Fv/Fm e índice fotossintético (PI) da mandioca de mesa em função de adubação orgânica e mineral.	50
Tabela 8.	Resumo da análise de variância para as variáveis teor de Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) de folhas da mandioca de mesa em função de adubação mineral e orgânica.	51
Tabela 9.	Resumo da análise de variância para as variáveis teor de Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S) de folhas da mandioca de mesa em função de adubação mineral e orgânica.	51
Tabela 10.	Resumo da análise de variância para as variáveis teor de Boro (B), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn) de folhas da mandioca de mesa em função de adubação mineral orgânica.	52

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 Aspectos gerais da mandioca	15
2.1.1 Origem.....	15
2.1.2 Caracterização botânica.....	16
2.2. Importância econômica da cultura da mandioca	16
2.3 Adubação orgânica e mineral	18
2.4 Intensidade de verde	20
2.5 Eficiência fotoquímica	21
2.6. Influência da adubação nos aspectos fisiológicos e produtividade da mandioca.....	23
3 OBJETIVOS.....	27
3.1 Objetivo geral.....	27
3.2 Objetivos específicos.....	27
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
4.1 Caracterização da área experimental.....	28
4.2 Delineamento experimental e tratamentos	28
4.3 Preparo da área, adubação e plantio	29
4.4 Análises biométricas	33
4.5 Análises fisiológicas.....	33
4.5.1 Intensidade de Verde	33
4.5.2 Eficiência fotoquímica	34
4.6 Componentes de produção e produtividade	34
4.7 Avaliação nutricional	35
4.8 Análise estatística.....	35
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1 Componentes de produção e produtividade	44
5.2 Variáveis biométricas e fisiológicas.....	37
5.3 Avaliação Nutricional	48
5.4 Análise de componentes principais (PCA).....	55
6 CONCLUSÕES	56
REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma planta arbustiva, da família Euphorbiaceae, originária da América latina. Foi inicialmente cultivada por várias nações indígenas e, atualmente, seu cultivo se dá em quase todas as regiões do Brasil, sendo sua produção destinada principalmente para consumo direto e indústria de transformação (FENG et al., 2019; ADJEBENG-DANQUAH et al., 2020; MORGANTE et al., 2020). É caracterizada por apresentar raízes tuberosas, representando grande importância na economia mundial (OLIVEIRA et al., 2015; JOLAYEMI & OPABODE, 2018). A mandioca de mesa, mandioca mansa, aipim ou macaxeira (*Manihot utilissima*) são denominações de variedades de mandioca com baixos teores de compostos cianogênicos na polpa das raízes utilizadas para alimentação.

Em virtude do seu alto valor energético (VEGA et al., 2018), a mandioca representa grande importância na alimentação mundial, sendo o Brasil um dos grandes consumidores e produtores da cultura (SILVA et al., 2017). O rendimento médio de mandioca produzida no Brasil nos anos de 2017 e 2018 foi de 14,64 t ha⁻¹ e 14,17 t ha⁻¹ respectivamente (IBGE, 2019), destacando-se o estado do Pará com a maior produtividade de mandioca no país, com aproximadamente 3 milhões de toneladas produzidas (IBGE, 2018).

No Nordeste brasileiro, a mandioca representa a principal fonte energética para um grande contingente populacional (COELHO et al., 2019). A concentração na produção de raízes de mandioca corresponde a 25% da produção nacional, sendo o estado do Maranhão o 2º maior em área plantada, com mais de 2 milhões de toneladas por ha (IBGE, 2019). A mandioca representa uma das principais fontes de renda dos agricultores familiares, pois, além de apresentar maior resistência à seca, possui um ciclo mais longo, o que lhe permite uma vantagem de recuperação diante das demais culturas anuais como, arroz, milho e feijão. Entretanto, a produtividade dessa cultura na região é muito baixa, em torno de 10,5 t ha⁻¹, e especificamente no Estado do Maranhão, o rendimento é ainda inferior (8,6 t ha⁻¹) (IBGE, 2019).

A mandioca é cultivada amplamente em regime não irrigado na região Norte do Brasil (IBGE, 2019), onde predominam precipitações acima de 1.500 mm por ano. Entretanto, em virtude de sua tolerância ao estresse hídrico (LIAO et al., 2017; SILVA et al., 2019), a

mandioca tem sido cultivada mundialmente, especialmente por ser considerada uma cultura com alta adaptação a diferentes condições de solo e clima (LOPES et al., 2017; GOMES et al., 2018).

Na cultura da mandioca, é comum os agricultores explorarem as melhores áreas da propriedade com outras culturas anuais de maior valor econômico e destinar as áreas com fertilidade inferior para esta cultura. Todavia, essa pode ser uma das causas da baixa produtividade brasileira de raízes, observadas nas últimas décadas (KINTCHÉ et al., 2017). Por apresentar níveis de produção razoáveis em condições de baixa fertilidade do solo, é considerada rústica. Entretanto, os potenciais de produtividade e qualidade das raízes de variedades de mandioca terão melhores respostas em plantações bem conduzidas (MUTIARA & BOLLY, 2019).

Sabe-se que o fornecimento de matéria orgânica ao solo, eleva a produtividade das culturas, especialmente as que têm as raízes como produto de consumo, por favorecer a redução da densidade do solo, diminuindo a resistência à penetração e favorecendo crescimento destas. No entanto, para o fornecimento de doses adequadas é necessário considerar a cultura, condições edafoclimáticas, o tipo e a qualidade do material orgânico fornecido. Isto significa que é interessante a realização de estudos específicos para cada região (CREWS & RUMSEY, 2017; HIJBEEK et al., 2017; OLDFIEL et al., 2018).

Os cultivos de mandioca que são conduzidos sem uso de adubação mineral podem comprometer a fertilidade do solo para cultivos futuros, sendo que no processo de produção das raízes, a cultura da mandioca extrai os nutrientes do solo em grandes quantidades (EZUI et al., 2016). A adubação mineral da mandioca no estado do Maranhão, na maioria das vezes é ausente, e quando realizada é fornecida com base em informações de outras regiões, devido à falta de informações atualizadas, sendo, portanto, necessário à produção de informações para impulsionar a expansão dos cultivos.

O fornecimento de NPK é essencial para o bom desenvolvimento da cultura, afim de promover o maior desempenho fisiológico e produtivo (MUNYAHALI et al., 2017; BIRATU et al., 2018a).

O Nitrogênio apresenta funções específicas para o metabolismo vegetal, atuando na constituição das proteínas, coenzimas, ácidos nucleicos, citocromo, clorofila, pigmentos e

produtos secundários (FERREIRA et al., 2007). Por sua vez, o fósforo (P) atua em diversos processos metabólicos, tais como: transferência de energia, síntese de ácidos nucleicos, respiração, síntese e estabilidade de membranas, ativação e desativação de enzimas, reação redox e metabolismo de carboidratos (VANCE et al., 2003; OMONDI et al., 2019b).

O potássio (K) também é de fundamental importância, uma vez que apresenta diversas funções na fisiologia das plantas de mandioca, pois está ligado a fotossíntese em diversas rotas, participando da síntese de ATP, afetando a taxa de assimilação de CO₂, atuando na manutenção do turgor das células-guarda, regula a abertura e fechamento estomático, a translocação dos assimilados das folhas para regiões de drenos da planta e nos processos que controlam o uso de água pela planta (MEHDI; SARFRAZ; HAFEEZ, 2007; OMONDI et al., 2019; HOWELER, 2014; FERNANDES et al., 2017).

Nos trabalhos que envolvem o uso de adubação é fundamental avaliar o desempenho fotossintético das plantas, uma vez que o suprimento nutricional influencia significativamente a fisiologia das culturas (GALBIATTI et al., 2011). Dentre as técnicas adotadas para estimar o efeito na fisiologia das culturas destacam-se as medições de fluorescência da clorofila “a”. A eficiência quântica do fotossistema II (PS II) é mensurada a partir da fluorescência da clorofila *a*, podendo indicar o nível energético de excitação dos pigmentos que dirigem a atividade fotossintética; a razão Fv/Fm revela a eficiência no uso da radiação pela fotoquímica, e, em consequência a assimilação de carbono. Dessa forma, as medições de fluorescência da clorofila são utilizadas com eficiência na avaliação do desempenho fotossintético (COLOMBO et al., 2018).

Neste sentido, objetivou-se com este trabalho avaliar o comportamento morfofisiológico e produtivo da mandioca de mesa em função da adução mineral e orgânica na Mesorregião Sul Maranhense.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos gerais da mandioca

2.1.1 Origem

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma planta heliófila, perene, arbustiva, pertencente à família das euforbiáceas. Apresenta tolerância à seca e possui ampla adaptação às mais variadas condições de clima e solo. Entretanto, a cultura requer maior atenção em relação às plantas daninhas, por apresentar alta sensibilidade à interferência destas, em virtude do seu lento crescimento na fase inicial de cultivo (FENG et al., 2019; ADJEBENG-DANQUAH et al., 2020; MORGANTE et al., 2020). A mandioca é considerada um produto hortícola, em virtude de suas peculiaridades de cultivo e por ser comercializada juntamente com as demais hortaliças (SILVA et al., 2018).

A domesticação da mandioca se deu há cerca de nove mil anos, na região onde se encontram os estados de Mato Grosso, Rondônia e Amazonas, com a espécie *Manihot Flabellifolia* Pohl, que deu origem à espécie *Manihot esculenta* Crantz. Esta espécie acumula cerca de cinquenta por cento de sua biomassa nas raízes, sobretudo, na forma de amido. O Brasil já ocupou o lugar de maior produtor mundial da cultura, mas perdeu a posição para a Nigéria, Tailândia e Indonésia (VALLI & LORENZI, 2014; FERGUSON et al., 2018).

A parte mais importante da planta é a raiz tuberosa, rica em amido, utilizada na alimentação humana e animal ou como matéria-prima para diversas indústrias (FREITAS et al., 2019; MOHAN et al., 2019). O principal derivado da mandioca é a farinha, que é amplamente consumida em todo o país, sobretudo pela população com menor renda (SILVA et al., 2017; MTUNGUJA et al., 2019).

Reconhecidamente rústica, a mandioca adapta-se as mais diferentes condições edafoclimáticas, sendo muitas vezes, cultivada em áreas consideradas marginais para a maioria das outras culturas (GUIMARÃES et al., 2017; NAZ et al., 2019). Mesmo apresentando características rústicas, esta espécie necessita de temperatura e luz ideal para

realização da fotossíntese. As temperaturas ideais para o cultivo comercial da mandioca estão entre os 20 e 27°C (PEIXOTO, 2009).

2.1.2 Caracterização botânica

A mandioca pertence ao reino *Plantae*, divisão *Magnoliophyta*, classe *Magnoliopsida*, ordem *Malpighiales*, família *Euphorbiaceae*, gênero *Manihot* e espécie *M. esculenta*. Planta tropical, perene e lenhosa, cultivada tradicionalmente em solos de baixa fertilidade e com pouco uso de insumos, a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) pode ser propagada por meio de estacas ou de sementes (VIANA et al., 2002). A mandioca é excelente fonte de calorías, ocupando local de destaque entre as culturas exploradas nos países tropicais (SOARES et al., 2017).

Embora seja uma espécie perene, as raízes de reserva podem ser colhidas de 6 a 24 meses, dependendo da variedade e das condições de cultivo. Nos trópicos úmidos, as raízes podem ser colhidas entre 6 e 7 meses após o plantio. Entretanto, em regiões com prolongado período de seca ou frio, os agricultores normalmente fazem a colheita após 18 a 24 meses. Além disso, as raízes podem ser deixadas no campo, sem colher por um longo período, tornando o cultivo da mandioca uma forma de segurança contra a fome (ALVES, 2006).

Em relação ao fotoperíodo, a mandioca é uma planta de dias curtos, a qual alcança maiores produções de raízes entre 10 e 12 horas de luz. Dias longos favorecem o crescimento da parte aérea e diminuem o crescimento das raízes de reserva. Já os dias curtos aumentam o crescimento tuberoso e reduzem o desenvolvimento vegetativo (YU et al., 2018; ADEYEMO et al., 2019).

Conforme Tironi et al. (2014), é importante que sejam caracterizadas as variáveis básicas de crescimento e desenvolvimento, sobretudo o crescimento e desenvolvimento foliar, visto que essas duas variáveis definem a evolução do índice de área foliar que intercepta a radiação solar ao longo da estação de crescimento para fotossíntese e produção de fotoassimilados que serão usados para acumulação de amido nas raízes.

2.2. Importância econômica da cultura da mandioca

Segundo Souza (2017), nos últimos 30 anos, a produção nacional de mandioca se manteve relativamente baixa, enquanto a produção aumentou significativamente em outros países, tanto para alimentação humana, quanto para a indústria. A Tailândia é o único país que, em sua participação no comércio mundial, exporta raspas de mandioca para a alimentação animal da comunidade europeia, a fim de produzir etanol com destino à China e a produção de amido destinado a vários países (VALLI & LORENZI, 2014).

Para o cenário agrícola brasileiro, a mandioca é uma das culturas de maior importância, tanto na alimentação básica, quanto na forma de amido para as indústrias de papel, alimentos, entre outras. É crescente o interesse em melhorias na produção da mandioca de mesa, pois a mandioca é uma cultura que apresenta vantagens na produção de amido, matéria-prima fundamental na indústria que visa pela sustentabilidade na produção de produtos biodegradáveis.

Dados do IBGE indicam que em 2019 foram produzidas 18,99 milhões de toneladas de mandioca no Brasil. A região Norte detém a maior parte desta produção, com 38,5 % da produção total. A região Nordeste, com 20% da produção do país, é a terceira região a produzir mais mandioca. O estado do Maranhão produziu, em 2019, 425.505 toneladas, representando assim aproximadamente 11,2% da produção da região Nordeste e 2,24% da produção nacional (IBGE, 2020).

A utilização da mandioca como matéria-prima para produção de etanol sempre foi discutida tomando-se como referencial a cultura da cana-de-açúcar que apresenta maiores vantagens econômicas. Segundo Salla (2008), quando a análise é procedida a partir da contabilidade energética das operações de cultivo, do processamento industrial e das repercussões no agroecossistema, a mandioca pode revelar vantagens nada desprezíveis em relação ao milho e à cana-de-açúcar. Por apresentar robustez, tolerância à longos períodos de estiagem, rendimentos razoáveis em solos pobres em fertilidade e altos teores de amido nas raízes, a mandioca pode tornar-se uma das culturas com maior destaque mundial como recurso energético.

No estado do Maranhão, a mandioca é utilizada até para produzir cerveja. Esta cerveja recebeu o nome de magnífica e foi lançada pela empresa AMBEV no final de 2018 (MARANHÃO HOJE, 2018).

Em 2017, a produção nacional de fécula atingiu a marca de 517,183 mil toneladas (CONAB, 2017). Um volume de 24,6% foi exportado devido à restrição da oferta interna e a alta competitividade dos preços internacionais, volume de exportação inferior ao registrado em 2016.

Sobretudo nas regiões mais carentes do país, a cultura tem grande importância como cultura de subsistência. Segundo Naz et al. (2019), a mandioca tem a capacidade de crescer nos solos mais pobres. Em virtude disso, muitos produtores acreditam que essa cultura não responde à aplicação de fertilizantes e não requer alta fertilidade do solo quando cultivada individualmente. O fato dos produtores conseguirem produção mesmo que limitada, em solos inférteis, leva a baixa preocupação com fertilização do solo.

A indiferença com relação à baixa produtividade da mandioca por parte dos produtores pode estar relacionada aos preços instáveis e relativamente baixos no mercado. E para a obtenção de rendimento comercial ideal nos cultivos de mandioca, é preciso disponibilizar as condições favoráveis de fertilização do solo às plantas de mandioca, adotar um sistema de cultivo adequado e levar em consideração o padrão de chuvas durante a estação de crescimento. Geralmente para se obter crescimento máximo e rendimentos adequados se faz necessária a aplicação de fertilizantes, sobretudo NPK (CUVACA et al., 2017; EZUI et al., 2017; KINTCHÉ et al., 2017).

2.3 Adubação orgânica e mineral

A capacidade de se desenvolver e produzir relativamente bem em solos de baixa fertilidade, talvez seja a principal característica da cultura da mandioca (NAZ et al., 2017). Por apresentar uma eficiente associação com micorrizas, a mandioca supera os problemas de baixos teores de alguns nutrientes como, por exemplo, o fósforo (ALIYU et al., 2019; MUTHURAJA & MUTHUKUMAR, 2019; OMONDI et al., 2019). Para obter maior eficiência no uso dos nutrientes em solos relativamente pobres, as plantas reduzem seu tamanho, o que mantém o nível ótimo de concentração dos elementos nutritivos.

Como a mandioca é geralmente cultivada em solos com baixo teor de matéria orgânica e apresenta alto consumo de nitrogênio, esperam-se respostas acentuadas às adubações nitrogenadas. Entretanto, é preciso cautela, pois o excesso de nitrogênio pode favorecer o

crescimento da parte aérea em detrimento à produção de raízes (KAWEEWONG et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2017).

Em experimento realizado em Vitória da Conquista - BA, Região Sudoeste da Bahia, Cardoso Júnior (2004) concluiu que o nitrogênio aplicado no solo influenciou o desenvolvimento da parte aérea da mandioca, porém não influenciou a produtividade de raízes tuberosas. Santos et al. (2014) e Oliveira et al. (2017) também constataram que a adubação nitrogenada promoveu maior produtividade de raízes de mandioca em Boa Vista-RR. Diversos trabalhos apontam que a adubação nitrogenada favorece maior produtividade da mandioca durante o primeiro ciclo vegetativo (KAWEEWONG et al., 2013; SANGAKKARA; WIJESINGHE, 2014; OLIVEIRA et al., 2017)

Devido aos solos em que são instalados os cultivos de mandioca, normalmente possuem baixos teores de potássio e também baixa capacidade de renovar o potássio trocável no solo, rapidamente os teores de K são esgotados, geralmente após três a quatro cultivos consecutivos na mesma área. Logo, embora a resposta à adubação potássica seja baixa nos primeiros cultivos numa área, após vários cultivos ela torna-se evidente (EMBRAPA, 2006; SILVA et al., 2017).

Alves Filho et al. (2015), encontraram maiores índices de produtividade em mandioca mansa cultivar Roxinha, aplicando doses de 400kg ha de NPK nas plantas. Silva et al. (2017) verificaram que a adubação potássica promoveu maior crescimento da cultura da mandioca em Boa Vista-RR. Vários estudos têm avaliado a exigência nutricional da mandioca por potássio. Rós (2013) observaram que a ausência de K afetou negativamente a produtividade das raízes da cultura da mandioca e que a utilização de fontes de potássio proporcionou maior produtividade de raízes comerciais.

Em estudo realizado por Fernandes et al. (2017), os autores constataram que a aplicação de K no início do segundo ciclo vegetativo da mandioca de indústria em função da poda na fase de repouso fisiológico pode proporcionar maior produtividade de raízes e amido, uma vez que, nessa condição a adubação estimula a rebrota da parte aérea e a reconstituição da área foliar, em consequência maior atividade fotossintética.

As características vegetativas e reprodutivas podem ser influenciadas por fatores nutricionais (SILVA et al., 2017). O potássio faz parte dos nutrientes essenciais para o

desenvolvimento das plantas de mandioca, beneficiando de forma significativa as mesmas através da intensificação dos teores de proteína e carboidratos e proporcionando um melhor desenvolvimento da parte aérea. Dentre os nutrientes que a mandioca necessita, o potássio está entre os que são mais extraídos e sua baixa disponibilidade para as plantas afeta a produtividade da cultura e a qualidade das ramas utilizadas no plantio, afetando a produtividade da lavoura oriunda de ramas obtidas de plantas deficientes em potássio (FERNANDES et al., 2017; SILVA et al., 2017).

Fidalski (1999) encontrou respostas positivas na produtividade de mandioca submetida à adubação com NPK e calagem, destacando-se a aplicação de P_2O_5 que conferiu aumento de 39% na produtividade da cultura, apontando o P como elemento de maior importância no aumento da produção de raízes.

2.4 Intensidade de verde

A clorofila, pigmento fotossintético das plantas, relaciona-se diretamente com o estado nutricional destas e, conseqüentemente, ao crescimento e adaptabilidade das plantas a diversos ambientes. A quantidade deste pigmento tem sido utilizada como índice de avaliação do estado nutricional de diversas culturas. Diversas variáveis como conteúdo de proteínas, macronutrientes e micronutrientes presentes nas folhas, podem estar relacionadas com o conteúdo de clorofila nos tecidos foliares (AFONSO et al., 2018; WANG et al., 2019).

Além da concentração total de clorofila, a proporção entre as clorofilas a e b muda em função da intensidade luminosa. Frequentemente, o teor de clorofila nas folhas é utilizado para estimar o potencial fotossintético das plantas, por causa de sua ligação direta com a absorção e transferência de energia luminosa (CROFT et al., 2017; LUO et al., 2019).

As clorofilas são responsáveis pela conversão da radiação luminosa em energia sob a forma de ATP e NADPH, sendo assim, estão fortemente relacionadas com a eficiência fotossintética. Estes pigmentos são constantemente sintetizados e destruídos, e esses processos são influenciados por fatores externos e internos às plantas (KIM et al., 2017; SUNG et al., 2018). Dentre os fatores externos, os nutrientes minerais se destacam, por integrarem a estrutura molecular das plantas, como também por atuarem em alguma etapas das reações que levam à síntese desses pigmentos (TAIZ e ZEIGER, 2004).

Os métodos tradicionais utilizados para determinar a quantidade de clorofila na folha requerem destruição de amostras de tecido e muito trabalho nos processos de extração e quantificação. O desenvolvimento de um medidor portátil de clorofila, que permite medições instantâneas do valor correspondente ao seu teor na folha sem destruí-la, constitui uma alternativa para estimar o teor relativo desse pigmento na folha (ARGENTA et al., 2001).

A determinação do teor de clorofila por meio do clorofilômetro tem sido utilizada para prever a necessidade de adubação nitrogenada em diversas culturas (FOLLET et al., 2008; COELHO et al., 2018). Isto tem sido feito devido ao fato de a quantidade deste pigmento correlaciona-se positivamente com o teor de N na planta (ARGENTA et al., 2011; SEGATTO et al., 2017).

São escassos os estudos de estimativa do teor de Clorofila em plantas de mandioca, o que torna importante o desenvolvimento de pesquisas que possam determinar se fatores como adubação, por exemplo, podem influenciar os níveis deste pigmento, visto que o déficit do mesmo pode prejudicar o desempenho fotossintético das plantas.

Alguns estudos indicam que há interação positiva entre adubos orgânicos e minerais (NPK) para o índice de clorofila em plantas de Mandioca, como por exemplo, em estudo conduzido por Biratu et al. (2018a). Os referidos autores constataram que esterco de galinha aliado a doses de NPK incrementa o teor de clorofila nas folhas de mandioca. Por outro lado, em outro estudo conduzido também por Biratu et al. (2018b) utilizando apenas adubação orgânica, foi verificado que o índice de clorofila de mandioca mansa não foi influenciado pelas doses de adubo testadas.

2.5 Eficiência fotoquímica

A Fluorescência da clorofila é uma medida da eficiência dos centros de reação da utilização dos fótons capturados em reações fotoquímicas primárias do fotossistema II (KALAJI et al., 2017; KALAJI et al., 2018). Este parâmetro tem sido utilizado nas avaliações ecofisiológicas analisando o desempenho fotossintético das plantas bem como o desenvolvimento de diversas culturas (BANKS, 2017; SINGH et al., 2017; HE et al., 2020).

Por ser um parâmetro preciso e não destrutivo, a fluorescência da clorofila é confiável, por fornecer a quantificação mais direta e integrativa do desempenho da planta (FLOOD et

al., 2016). A técnica de medição da fluorescência da clorofila *in vivo* é um método sensível que fornece informação rápida sobre os processos fotossintéticos. Esse método fornece *insights* sobre as reações bioquímicas e a partição de energia entre os componentes fotossintéticos, tornando-se assim, uma ferramenta valiosa para a pesquisa de fotossíntese (STIRBET et al., 2016; BHUSAL et al., 2018).

A eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II é definida pela relação F_V/F_M . Em que, F_V denota a fluorescência variável e F_M a fluorescência máxima, $F_V = (F_M - F_0) / F_M$, sendo F_0 a fluorescência mínima da folha adaptada ao escuro. A relação F_V/F_M reflete a proporção de energia luminosa absorvida pelas clorofilas (no fotossistema II) que é utilizada no transporte de elétrons (BJORKMAN e DEMMIG, 1987; MARENCO et al., 2014). Em condições normais, em que não há estresse, as plantas apresentam valores de F_V/F_M entre 0,75 e 0,85. Quando esses valores encontram-se abaixo de 0,75 é um indicativo que o aparelho fotossintético das plantas foi comprometido, ou seja, está havendo um mau funcionamento dos fotossistema II (SILVA et al., 2014; SOARES et al., 2018).

Por sua vez, o índice fotossintético é considerado uma variável de extrema importância quando se objetiva estudar o desempenho fotossintético das plantas, uma vez que integra três componentes que agem de forma independentes: a densidade dos centros de reação ativos (RCs), a eficiência no transporte de elétrons após a Quinona (Qa) ter sido reduzida e a probabilidade de que um fóton absorvido seja capaz de reduzir Qa. A avaliação desses componentes permite verificar a atividade dos fotossistemas II e I (STRASSER et al. 2000; COUTO et al. 2014).

A avaliação da fluorescência da clorofila revela o nível de excitação da energia que dirige a fotossíntese, possibilitando a estimativa de inibição ou danos no aparelho fotossintético em condições de estresse. Veríssimo et al. (2010) estudando os pigmentos e eficiência fotossintética de quatro variedades de mandioca observaram que sob condições ótimas de cultivo, as variedades Campinas e Rosinha apresentaram maior capacidade fotossintética em virtude da maior concentração de pigmentos fotossinteticamente ativos por unidade de peso de matéria fresca; além disso, os autores verificaram maior capacidade de fotoproteção devido a maior concentração de carotenoides.

A nutrição das plantas também interfere na eficiência fotoquímica de mandioca. Cruz et al. (2003) constataram que folhas de mandioca que continham baixo conteúdo de nitrogênio tiveram sua fotossíntese comprometida.

2.6. Influência da adubação nos aspectos fisiológicos e produtividade da mandioca

A mandioca é, atualmente, a sétima cultura com maior volume de produção do mundo. No Brasil, em 2019 foram colhidas cerca de 18,99 milhões de toneladas (IBGE, 2020). O Brasil produz mandioca em todo o seu território, utilizando variados sistemas de produção e inúmeras variedades, porém, a grande maioria destas são variedades nativas com forte adaptação local, mas com baixo potencial produtivo, e o resultado dessa combinação reflete na produção e na baixa produtividade nacional (VALLE e LORENZI, 2014). A produtividade da mandioca nas diversas regiões brasileiras é bastante diferenciada. Estas diferenças devem-se às próprias condições edafoclimáticas, que podem causar estresses de maior ou menor grau aos cultivos agrícolas.

De acordo com Fidalski (1999), um dos principais fatores que prejudicam a produtividade da mandioca é a baixa disponibilidade de nutrientes nos solos em que são instalados os cultivos, o mesmo, encontrou respostas positivas na produtividade de raízes de mandioca submetidas à adubação fosfatada em solos arenosos no estado do Paraná, apontando o P como o elemento de maior importância no aumento da produção de raízes. Alves Filho et al. (2015), avaliando o desempenho da cv. Roxinha no estado do Pará, encontrou respostas positivas em produtividade da mandioca submetida à adubação com NPK. Segundo Alves et al. (2012), a mandioca responde positivamente à adubação mineral com NPK em relação ao indicador produtividade de raízes.

Embora o cultivo de mandioca seja majoritariamente em áreas consideradas como impróprias para a cultura, sua produtividade é bem maior em relação as outras culturas que produzem menos nessas áreas. Além disso, a mandioca é considerada uma cultura esgotante e degradadora do solo (MATTOS et al., 2002; GUIMARÃES et al., 2017; JIANG et al., 2019; NAZ et al., 2019), em virtude de extrair grandes quantidades de nutrientes, especialmente potássio (K), nitrogênio (N), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) dificultando a fertilidade do solo

com o cultivo desta cultura ano após ano, sem a reposição adequada dos principais nutrientes por ela exportados como N, P, K, Ca e Mg (OMONDI et al., 2018; LOPES et al., 2019).

Dentre os nutrientes essenciais para a cultura da mandioca, o fornecimento de NPK é fundamental para o bom desenvolvimento da cultura, a fim de promover o maior desempenho produtivo (MUNYAHALI et al., 2017; BIRATU et al., 2018a). O Nitrogênio apresenta funções específicas para o metabolismo vegetal, atuando na constituição das proteínas, coenzimas, ácidos nucleicos, citocromo, clorofila, pigmentos e produtos secundários (FERREIRA et al., 2007).

Na cultura da mandioca, o fornecimento de nitrogênio proporciona incremento na altura das plantas, na produção de parte aérea, na produtividade de raízes, no número de raízes por planta e nos teores de amido e proteína nas folhas (CARDOSO JÚNIOR et al., 2005; ASARE et al., 2009; KAWEEWONG et al., 2013), entretanto, o excesso de N pode diminuir a produtividade de raízes devido o crescimento excessivo da parte aérea (OLIVEIRA et al., 2017). O suprimento de N e K bem como sua proporção são fatores cruciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas de mandioca, pois nas raízes tuberosas a relação K:N é maior do que em outras culturas (IMAS; JOHN, 2013; HOWELER, 2014; FERNANDES et al., 2017).

Por sua vez, o fósforo (P) é um dos nutrientes com maior capacidade de limitar a produtividade da cultura da mandioca, pois está relacionado com diversos processos metabólicos, tais como: transferência de energia, síntese de ácidos nucleicos, respiração, síntese e estabilidade de membranas, ativação e desativação de enzimas, reação redox e metabolismo de carboidratos (VANCE et al., 2003; OMONDI et al., 2019b). Além de ser importante na fisiologia da mandioca, influenciando na sua produção, o P tem disponibilidade limitado nos solos tropicais, devido a processos de sorção (VALLADARES et al., 2003; MANFREDINI et al., 2004), considerando sua rápida passagem para formas não lábeis (FERNANDES et al., 2004). Em estudo feito por Pereira et al. (2012), os autores verificaram resposta crescente da mandioca até a dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na produção de raízes de mandioca.

Em virtude da cultura da mandioca ser cultivada em solos com baixo teor de P (PEREIRA et al., 2012), sua resposta é mais acentuada e com maior frequência ao P ao

contrário dos outros nutrientes (GOMES; SILVA, 2006). Dessa forma, o suprimento de P é essencial para o crescimento e produção de amido de mandioca (SAGRILO, et. al., 2006; OLIVEIRA et. al., 2010).

O potássio (K) apresenta diversas funções na fisiologia das plantas de mandioca, participando na assimilação de carbono, síntese de amido e na translocação de carboidratos das folhas para os tubérculos e raízes tuberosas, local onde os carboidratos são os órgãos de armazenamento principal. Em virtude disso, a produtividade da cultura da mandioca bem como a melhoria da qualidade de tubérculos pode ser aumentada (MEHDI; SARFRAZ; HAFEEZ, 2007; OMONDI et al., 2019). Estudos relacionados a adubação com K no cultivo de mandioca apresentam bons resultados principalmente em incrementos no crescimento da planta, como diâmetro do caule, altura de planta, altura da primeira ramificação (RÓS, 2013; SILVA et al., 2017; OMONDI et al., 2019a).

Em relação a fisiologia e produtividade da mandioca, a aplicação de potássio no início do segundo ciclo vegetativo pode proporcionar maior produtividade de raízes e amido, pois a adubação estimula a rebrota da parte aérea e a reconstituição da área foliar, em consequência disso, aumentando a atividade fotossintética (FERNANDES et al., 2017; FERNANDES et al., 2017a; OMONDI et al., 2019a).

O potássio apresenta funções reguladoras de grande relevância para as plantas, pois está ligado a fotossíntese em diversas rotas, participando da síntese de ATP, afetando a taxa de assimilação de CO₂, atuando na manutenção do turgor das células-guarda e nos processos que controlam o uso de água pela planta (HOWELER, 2014; FERNANDES et al., 2017). Além disso, na etapa de translocação de carboidratos das folhas para as raízes tuberosas, o potássio atua na síntese de amido e a translocação de carboidratos, onde os carboidratos são o material de armazenamento principal. Dessa forma, a produtividade e a melhoria da qualidade das raízes de mandioca podem ser aumentadas (MEHDI et al., 2007).

O suprimento de N e K bem como sua proporção são fatores cruciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas de mandioca, pois nas raízes tuberosas a relação K:N é maior do que em outras culturas (IMAS; JOHN, 2013; HOWELER, 2014; FERNANDES et al., 2017). Além disso, o N e K atuam na produção de massa seca vegetal. Na regulação fisiológica das plantas, o potássio regula a abertura e fechamento estomático e a

translocação dos assimilados das folhas para regiões de drenos da planta (COGO et al., 2006). O fornecimento inadequado de potássio para as plantas pode reduzir a assimilação de CO₂ e a taxa fotossintética, bem como a produção de fotoassimilados, afetando negativamente, assim, o processo produtivo (CECÍLIO; GRANGEIRO, 2004). Por outro lado, doses elevadas de K, podem influenciar negativamente a absorção de Ca, Mg e P, podendo causar a deficiência desses nutrientes na planta, gerando queda de produção.

Em estudos realizados por Adekayode e Adeola (2009), os autores observaram uma resposta linear no rendimento e produtividade das raízes, onde as maiores doses de potássio (120 e 150 kg ha⁻¹ de K₂O) apresentaram um incremento de 73,3 e 90,3%, respectivamente.

Quanto ao efeito da adubação orgânica sob o rendimento de mandioca, alguns estudos, como por exemplo o conduzido por Rós et al. (2013), têm indicado que a adição de esterco ao solo promove incremento no rendimento de raízes, resultando em maior produtividade.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Avaliar o comportamento ecofisiológico e produtivo da mandioca de mesa em função da adução mineral e orgânica na Mesorregião Sul Maranhense.

3.2 Objetivos específicos

- Avaliar a influência da adubação mineral com NPK sobre o crescimento, fisiologia, produtividade e qualidade de raízes de mandioca de mesa.
- Avaliar se o incremento nos teores de matéria orgânica do solo com o uso de esterco bovino e adubação mineral NPK resulta em incrementos de rendimentos para cultivo da mandioca de mesa.
- Determinar qual a dose de matéria orgânica na cova de plantio, em solo sem e com adubação mineral, resulta em maiores rendimentos para cultura da mandioca em condições da Mesorregião Oeste Maranhense.
- Avaliar se apenas o incremento nos teores de matéria orgânica do solo é suficiente para elevar a produtividade para valores atrativos comercialmente.
- Avaliar a qualidade física e química de raízes de mandioca produzidas com e sem fornecimento de adubação mineral e esterco bovino.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido no período de dezembro de 2018 a dezembro de 2019, na Fazenda Santa Fé, distando 10 km do município de São Raimundo das Mangabeiras- MA, na mesorregião oeste Maranhense. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo AW (Tropical), com temperatura média de 26,4 °C, pluviosidade média anual de 1157 mm e altitude de 234 metros acima do nível do mar -7.214668, -45.824384.

4.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, arranjos em esquema fatorial 2 x 5, com quatro repetições e 16 plantas por parcela, distribuídas em 4 linhas de 4 m com 4 covas cada. Os tratamentos resultaram da combinação de duas condições de adubação mineral (sem e com adubação com NPK) e cinco doses de esterco bovino curtido, de relação C/N = 18/1, aplicados no solo (0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10,0 t ha⁻¹) (Figura 1).

B1	E3C	E2S	E2C	E5C	E1S	E1C	E4S	E3S	E4C	E5S
B2	E1S	E2C	E4C	E5S	E3S	E4S	E3C	E5C	E2S	E1C
B3	E4S	E1C	E3S	E3C	E5S	E4C	E1S	E2S	E5C	E2C
B4	E5C	E2C	E3C	E2S	E5S	E3S	E4C	E1S	E1C	E4S

	0 t ha ⁻¹ - Esterco Bovino - Sem NPK		B1 BLOCO 1
	0 t ha ⁻¹ - Esterco Bovino - Com NPK		B2 BLOCO 2
	2,5 t ha ⁻¹ - Esterco Bovino - Sem NPK		B3 BLOCO 3
	2,5 t ha ⁻¹ - Esterco Bovino - Com NPK		B4 BLOCO 4
	5,0 t ha ⁻¹ - Esterco Bovino - Sem NPK		
	5,0 t ha ⁻¹ - Esterco Bovino - Com NPK		
	7,5 t ha ⁻¹ - Esterco Bovino - Sem NPK		
	7,5 t ha ⁻¹ - Esterco Bovino - Com NPK		
	10 t ha ⁻¹ - Esterco Bovino - Sem NPK		
	10 t ha ⁻¹ - Esterco Bovino - Com NPK		

Figura 1. Croqui da área experimental.

4.3 Preparo da área, adubação e plantio

O solo da área experimental foi classificado como um Neossolo Flúvico Distrófico conforme metodologia De SANTOS et al. (2018). Foram coletadas amostras na camada de 0-20 cm de profundidade, analisando-se os atributos químicos (fertilidade) e físicos de acordo com as metodologias recomendadas por EMBRAPA (2017), (Tabela 1) sendo posteriormente calculadas as quantidades de fertilizante mineral (NPK) a ser aplicada.

O preparo do solo foi realizado por meio de uma aração, gradagem e calagem para correção do pH (Figuras 2A e B). O plantio foi realizado em covas espaçadas de 1,0 m entre fileiras e 1,0 m entre plantas, resultando em densidade de plantio de 10.000 plantas ha⁻¹. No total, o experimento continha 40 parcelas experimentais, com área de 16 m² cada, totalizando 640 m² (0,064 ha) (Figura 2C). As covas foram abertas nas dimensões de 30 x 30 x 30 cm com volume 27 L. Após a abertura das covas, as doses de esterco bovino, juntamente com os fertilizantes mineral (nitrogênio, fósforo e potássio), foram incorporadas.

A adubação com NPK foi feita com base nos resultados da análise do solo, realizada antes da instalação do experimento, de acordo com a recomendação de Cavalcanti et al. (2008), para a cultura da mandioca no estado de Pernambuco. Esses valores foram descontados do nitrogênio existente na matéria orgânica do solo e no esterco bovino, bem como do fósforo e do potássio existente no solo. Como fonte de fertilizante mineral foi utilizada a ureia, P_2O_5 e K_2O . O fornecimento da ureia foi parcelado em duas aplicações, sendo uma no plantio e a outra 60 dias após a brotação das manivas. As doses de P_2O_5 e K_2O foram fornecidas por ocasião do plantio.

Tabela 1. Caracterização química do esterco bovino utilizado como fonte de matéria orgânica.

N	P	K	Ca	Mg	Na	Zn	Cu	Fe	Mn	MOS	CO	C/N
.....g kg ⁻¹mg kg ⁻¹g kg ⁻¹			
12,76	2,57	16,79	15,55	4,02	5,59	60	22	8550	325	396,0	229,7	18:1

MOS= Matéria orgânica do solo

Tabela 2. Características químicas e físicas do solo da área experimental.

Características químicas	Valor	Características físicas	Valor
Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	0,70	Areia (g kg ⁻¹)	660
Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	0,58	Silte (g kg ⁻¹)	130
Potássio (cmol _c dm ⁻³)	0,14	Argila (g kg ⁻¹)	210
Soma de bases (cmol _c dm ⁻³)	1,42	Classe textural	Média
Capacidade de troca de cátions Total (cmol _c dm ⁻³)	5,49		
Saturação por Bases (%)	25,8		
Matéria orgânica (g kg)	17,9		
pH H+Al (cmol _c dm ⁻³)	4,07		
Fósforo (mg dm ⁻³)	5,7		
Enxofre (mg dm ⁻³)	2,3		
Ferro (mg dm ⁻³)	117,06		
Manganês (mg dm ⁻³)	6,01		
Cobre (mg dm ⁻³)	0,89		

Zinco (mg dm^{-3})

0,38

Análises realizadas no Laboratório Agronômico Terra Brasileira, Balsas, MA

(A)



(B)



(C)



Figura 2. Preparo da área (A e B) e área após o plantio (C) de mandioca de mesa.

As doses de esterco bovino curtido foram fornecidas, por ocasião da abertura e preparo das covas. O insumo orgânico foi aplicado com umidade de 5% ($F_c = 1,05$).

Foram utilizadas manivas de uma variedade comercial bem difundida na região, selecionadas após levantamento prévio de informações com os produtores do município, e obtidas com os mesmos. Foram escolhidas manivas maduras, provenientes de plantas com 10 a 12 meses de idade e isentas de ataque de patógenos. Foi utilizado apenas o terço médio, eliminando-se a parte herbácea superior, que possui baixo nível de reservas e a parte basal, muito lenhosa e com gemas geralmente inviáveis (FUKUDA e OTSUBO, 2003). As manivas

apresentavam diâmetro entre 2,0-2,5 cm, com a medula ocupando 50% ou menos do diâmetro, 15-20 cm de tamanho e, de 5 a 7 gemas. O material foi seccionado com auxílio de um facão, de modo que o corte formava um ângulo reto com a haste, para a distribuição uniforme das raízes.

4.4 Análises biométricas

Foram avaliadas 4 plantas por parcela, com intervalo de 30 dias entre as avaliações, sendo estas:

- a) Altura de planta: obtida com o auxílio de uma fita métrica, medindo-se o caule a partir do nível do solo até a gema apical (expressa em cm). Foram feitas quatro mensurações dessa variável: aos 30, 60, 90 e 120 dias após o estabelecimento da brotação (DEB) das plantas.
- b) Diâmetro do caule: utilizando-se um paquímetro digital (Paquímetro digital em Aço, 150 mm, Stainless), sendo medido na região do coleto da planta (expresso em cm). Foram feitas sete mensurações dessa variável: aos 30, 60, 90, 120, 150, 180 e 210 dias após o estabelecimento da brotação (DEB) das plantas.
- c) Número de folhas: total de folhas totalmente expandidas por planta, descartando-se as folhas cotiledonares e o par de folhas unifoliada (expresso em nº de folhas planta⁻¹). Foram feitas três mensurações dessa variável: aos 30, 60 e 90 dias após o estabelecimento da brotação (DEB) das plantas.

4.5 Análises fisiológicas

4.5.1 Intensidade de Verde

- d) A intensidade de verde foi avaliada com o auxílio de um Medidor Portátil de Clorofila (MPC), modelo SPAD-502 “Soil Plant Analyser Development” (Minolta, Japão). As leituras foram realizadas juntamente com as avaliações biométricas, sendo uma folha por planta, com cinco leituras por folha para obtenção da média. Foram feitas sete

mensurações dessa variável: aos 30, 60, 90, 120, 150, 180 e 210 dias após o estabelecimento da brotação (DEB) das plantas.

4.5.2 Eficiência fotoquímica

A determinação da emissão da fluorescência da clorofila foi obtida por meio do fluorímetro não-modulado, modelo Pocket PEA (Plant Efficiency Analyser, Hansatech, King's Lynn, UK). Durante as medidas, foram utilizadas pinças para aclimação dos cloroplastos ao escuro, para que todos os centros de reação do fotossistema II (PSII) adquirissem a condição de “abertos” (Strasser et al, 2000). Após essa aclimação por um período de 20 minutos, um único pulso forte de luz 1s^{-1} ($3500\ \mu\text{mol m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$) foi aplicado com a ajuda de três diodos emissores de luz (650 nm). Por meio do fluorímetro não-modulado, foi possível obter as medidas de fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (F_m) e fluorescência variável (F_v). A partir dos valores de F_v e F_m é possível obter a relação F_v/F_m (rendimento quântico máximo do fotossistema II) (Bòlhar-Nordenkampf et al., 1989). Ainda com o auxílio do fluorímetro, também foi determinado o índice fotossintético “*Photosynthetic Index*” (PI).

As medidas de características fisiológicas ocorreram no horário de 7:30 às 10:00 da manhã. Essas medidas foram realizadas em duas campanhas ao longo do experimento. A primeira medição ocorreu dos 90 aos 180 DAP (Dias após o plantio), período em que ocorrem as maiores taxas de crescimento de hastes e folhas, definindo-se a arquitetura da planta, enquanto a segunda ocorreu dos 180 aos 300 DAP, período que ocorre elevada translocação de hidratos de carbono às raízes de armazenamento. Foram realizadas as medições em uma folha totalmente expandida localizada no terço superior da planta, sendo uma folha por planta e quatro plantas por parcela.

4.6 Componentes de produção e produtividade

A análise dos componentes de produção e produtividade foi realizada ao final do experimento, sendo mensuradas as seguintes variáveis:

- a) Após a colheita das raízes foram contabilizados, por cova, o número de raízes não comerciais (abaixo de 200 gramas) e o número de raízes comerciais.
- b) O comprimento e o diâmetro das raízes foram medidos com trena métrica e paquímetro digital, respectivamente.
- c) A partir da massa de raízes por planta e por cova foram obtidos os valores médios da produção comercial, não comercial, produtividade e perdas percentuais de cada variável.
- d) A massa e espessura da casca foram realizadas com auxílio de balança de precisão e paquímetro, respectivamente, para obtenção do rendimento.

4.7 Avaliação nutricional

Para avaliar o estado nutricional das plantas de mandioca, ao final do experimento foram coletadas 50 folhas localizadas no terço médio superior das plantas na área útil de cada parcela experimental. Foram determinados os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), além dos micronutrientes Boro (B), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn), de acordo com metodologia da EMBRAPA (2009). Todas as análises foram realizadas no laboratório Terra Brasileira, localizado no município de Balsas - MA.

4.8 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste 'F' e, quando houve significância, aplicou-se teste de média (t de Student à 5% de probabilidade) para os dados qualitativos (adubação mineral) e análise de regressão para os dados quantitativos (adubação orgânica). Quando foi detectada interação significativa entre os fatores, realizou-se o desdobramento unilateral do fator adubação orgânica dentro de cada forma de adubação mineral, por meio de análise de regressão. Todas as análises foram realizadas com auxílio do software para análise estatística AGROESTAT– Sistema para Análises Estatísticas de Ensaios

Agrônomicos 2015. Para a Análise de Componentes Principais (PCA), foi utilizado o programa PAST versão 3.26.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Componentes de produção e produtividade

Verificou-se que não houve interação entre os tratamentos para as variáveis massa fresca da raiz (MFR) e diâmetro da raiz (DR). Por outro lado, ocorreu efeito isolado ($p < 0,01$) dos tratamentos para estas variáveis (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da análise de variância para as variáveis massa fresca de raízes por planta (MFR) e diâmetro da raiz (DR) da mandioca de mesa em função de adubação mineral e orgânica.

FV	GL	Quadrados Médios	
		MFR	DR
Bloco	3	18407836,358**	165,85676250 ^{ns}
NPK	1	90499538,74**	239,45**
Esterco bovino (EB)	4	9994298,56**	215,28**
NPK X EB	4	3747495,47 ^{ns}	0,56 ^{ns}
Resíduo	27	1597731,97	51,60
CV (%)		31,40	15,04
Média		4024,66	47,75

** : Significativo a 1% pelo teste F; ^{ns} : Não significativo. FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; CV: Coeficiente de variação.

As plantas de mandioca que receberam adubação com NPK apresentaram valores de massa fresca da raiz (MFR) (Figura 3A) e diâmetro da raiz (DR) (Figura 3B) superiores aos obtidos nas plantas que não foram adubadas com NPK. Este incremento na MFR e DR de mandioca em função da adubação com NPK observado no presente estudo pode ser atribuído ao maior fornecimento de nutrientes essenciais para as plantas, uma vez que os fertilizantes compostos por NPK fornecem os nutrientes que são absorvidos em maiores quantidades e

estão na forma prontamente solúvel, sendo estes, essenciais para sua tuberização (ODEDINA et al., 2015).

Esse efeito já era esperado, pois há indicativos que o uso de fertilizantes minerais a base de NPK incrementa de 50 a 100% o rendimento de raízes de mandioca. De acordo com Chanu et al. (2012) este incremento ocorre devido os fertilizantes minerais possuírem uma quantidade de nutrientes, que podem ser liberados em um curto período de tempo para as plantas, tornando-se prontamente disponíveis para absorção.

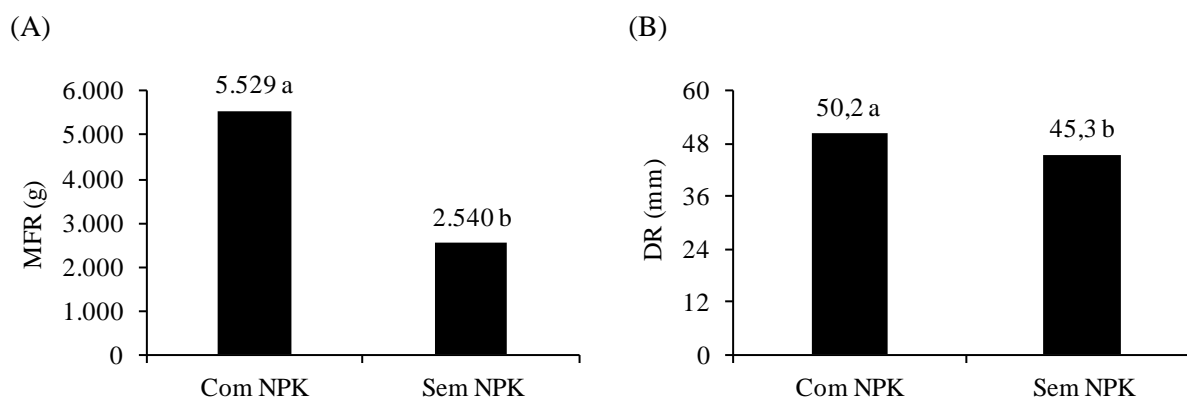


Figura 3. Valores médios de massa fresca da raiz (MFR) e do diâmetro da raiz (DR) da mandioca de mesa em função da adubação mineral.

Médias seguidas de letras diferentes diferem estatisticamente entre si pelo teste t de Student ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

As variáveis MFR (Figura 4A) e DR (Figura 4B) de mandioca de mesa apresentaram resposta linear crescente à adubação com diferentes doses de esterco bovino, sendo verificado incremento de 246,4 g na MFR e 1 mm no DR, respectivamente, para cada tonelada do adubo orgânico aplicado no solo. Este resultado pode ser atribuído à baixa relação de C/N do esterco, uma vez que esta baixa relação favorece a rápida disponibilização dos nutrientes. Além disso, o esterco bovino pode ter melhorado a estrutura física e biológica do solo através do fornecimento de matéria orgânica, melhorando assim a aeração, a retenção de nutrientes e a capacidade de armazenamento de água (ZANDONADI et al., 2014; SOUZA et al., 2017; GOMES et al., 2019; MEDEIROS et al., 2019; SILESHI et al., 2019).

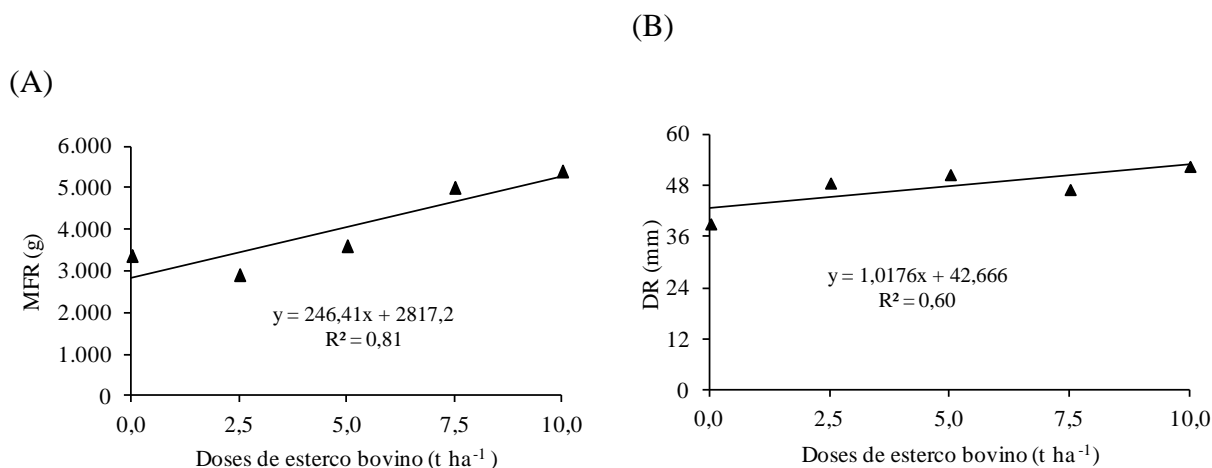


Figura 4. Massa fresca da raiz (MFR) (A) e diâmetro da raiz (DR) (B) da mandioca de mesa em função da adubação com esterco bovino curtido.

Constatou-se interação significativa ($p < 0,01$) entre os tratamentos doses de NPK e esterco bovino para a variável espessura da casca da raiz (ECR) e efeito isolado dos respectivos tratamentos ($p < 0,05$) para a variável espessura da polpa de raízes (EPR) (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo da análise de variância para as variáveis espessura da polpa de raízes (EPR) e espessura da casca da raiz (ECR) da mandioca de mesa em função de adubação mineral e orgânica.

FV	GL	Quadrados médios	
		EPR	ECR
Bloco	3	161,74362917 ^{ns}	0,1606200000 ^{ns}
Esterco bovino (EB)	4	201,21*	0,55**
NPK	1	253,75*	0,20 ^{ns}
NPK X EB	4	1,23 ^{ns}	0,28**
Resíduo	27	50,61	0,05
CV (%)		15,67	9,57
Média		45,40	2,35

** e *: Significativo a 1 e a 5%, respectivamente, pelo teste F; ^{ns}: Não significativo. FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; CV: Coeficiente de Variação.

A espessura da polpa de raízes (EPR) de mandioca expressa o potencial de rendimento de polpa e é uma variável muito importante quando se avalia a produtividade de mandioca. No presente estudo, as plantas de mandioca adubadas com NPK apresentaram maior EPR do que as plantas que não foram adubadas com NPK (Figura 5). Este resultado pode ser atribuído à disponibilidade adequada de nutrientes contidos nos fertilizantes minerais para as plantas, uma vez que a mandioca é considerada uma cultura que extrai muitos nutrientes do solo, especialmente N e K (OBISEGBOR, 2014; OSUNDARE, 2014). Kim et al. (2013) apontam que a redução no fornecimento de fertilizantes ricos em macronutrientes resultam em baixos rendimentos e uma diminuição do peso da raiz, fato este observado no presente estudo.

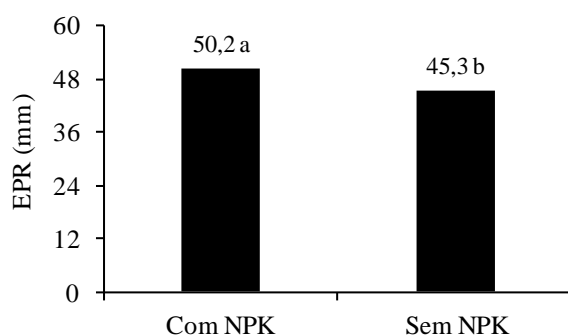


Figura 5. Valores médios de espessura da polpa de raízes (EPR) de mandioca de mesa em função da adubação mineral.

Médias seguidas de letras diferentes diferem estatisticamente entre si pelo teste t de Student ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Os valores de EPR de mandioca de mesa foram incrementados de forma linear como resposta a adubação com doses crescentes de esterco bovino, sendo observado incremento médio de 1 mm para cada tonelada do adubo orgânico, ou seja, as maiores doses de esterco bovino promoveram a produção de raízes com polpas mais espessas (Figura 6). De acordo com Sileshi et al. (2017) e Sileshi et al. (2019), este incremento ocorreu devido maiores quantidades de esterco bovino disponibilizarem maiores quantidades de nutrientes para as plantas, além de melhorar os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, favorecendo assim o desenvolvimento das raízes.

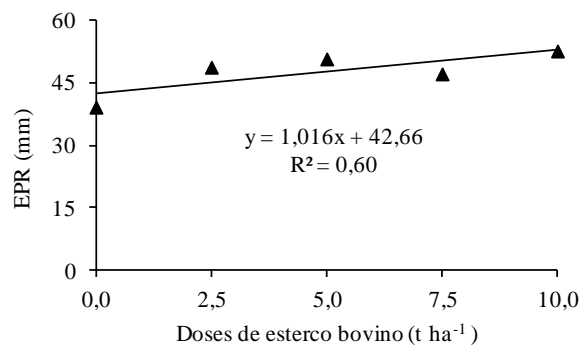


Figura 6. Espessura da polpa de raízes (EPR) de mandioca de mesa em função de adubação com esterco bovino curtido.

O desdobramento da interação entre os tratamentos revelou que para a variável ECR, as doses de esterco bovino promoveram resposta quadrática em ambas as condições de adubação mineral (com e sem adubação com NPK). Na presença de adubação mineral (adubação com NPK), a ECR foi incrementada até a dose estimada de 4,4 t ha⁻¹ de esterco bovino, obtendo-se o valor máximo de 2,5 mm. A partir dessa dose de esterco bovino, a ECR foi reduzida, apresentando o menor valor (1,93 mm) na dose de 10,0 t ha⁻¹ do adubo orgânico. Já na ausência de adubação mineral (sem adubação com NPK), a ECR foi incrementada até a dose estimada de 7,1 t ha⁻¹ esterco bovino, chegando a atingir 2,7 mm. A partir desse ponto, a adição de esterco bovino no solo promoveu uma leve redução nos valores de ECR, atingindo 2,5 na dose de 10,0 t ha⁻¹ (Figura 7).

Não é desejável, do ponto de vista econômico, raízes de mandioca de mesa com casca muito espessa, uma vez que os consumidores visam maior rendimento de polpa. Todavia, do ponto de vista de sobrevivência da espécie, pode ser desejável que as raízes apresentem raízes com casca espessa, pois essa característica pode contribuir para as plantas enfrentarem algumas adversidades, como por exemplo, o estresse hídrico, haja vista que raízes mais espessas reduzem a perda de água (BONFIM et al., 2011).

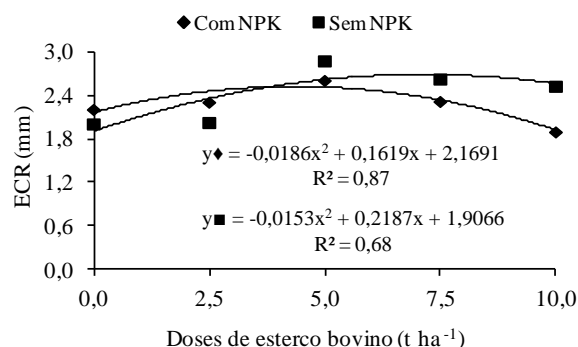


Figura 7. Desdobramento da interação entre os tratamentos (EB x NPK) para a variável espessura da casca da raiz (ECR) de mandioca de mesa em função da adubação orgânica e mineral.

De acordo com a análise de variância, não ocorreu interação significativa entre os tratamentos doses de NPK e doses de esterco bovino para as variáveis produtividade por planta (PP) e produtividade total (PT) das plantas de mandioca, todavia, os tratamentos aplicados influenciaram de forma isolada ($p < 0,01$) estas variáveis (Tabela 5).

Tabela 5. Resumo da análise de variância para as variáveis produtividade por planta (PP) e total (PT) da mandioca de mesa em função de adubação mineral e orgânica.

FV	GL	Quadrados médios	
		PP	PT
Bloco	3	1,1565491667**	115530391,11**
NPK	1	5,58**	562627038,42**
Esterco bovino (EB)	4	0,61**	60926798,96**
NPK X EB	4	0,22 ^{ns}	22342430,29 ^{ns}
Resíduo	27	0,09	10001631,59
CV (%)		31,48	10053,26
Média		1,00	31,45

*: Significativo a 1% pelo teste F; ^{ns}: Não Significativo. FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; CV: Coeficiente de variação.

A adubação com NPK influenciou positivamente o rendimento de mandioca, incrementando a produtividade por planta (PP) e produtividade total (PT) (Figuras 8A e 8B, respectivamente). Pypers et al. (2012), Munyahali et al. (2017) e Carine et al. (2019) também verificaram que a adubação com NPK incrementou a produtividade de mandioca, corroborando assim com os resultados obtidos no presente estudo. De acordo com UWAH et al. (2013) e CUVACA et al. (2017) esta resposta positiva da produtividade de mandioca a fertilização com NPK se deve ao fato dos níveis adequados de N, P e K promoverem maior atividade fotossintética e translocação de nutrientes, favorecendo assim o crescimento das plantas, e conseqüentemente, sua produtividade.

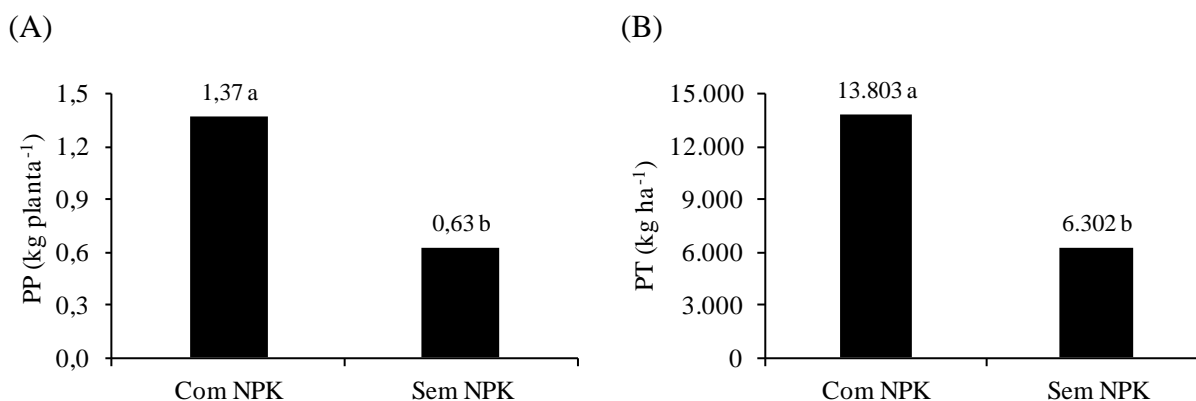


Figura 8. Valores médios de produtividade por planta (PP) e produtividade total (PT) da mandioca de mesa em função da adubação mineral.

Médias seguidas de letras diferentes diferem estatisticamente entre si pelo teste t de Student ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

As variáveis produtividade por planta (PP) (Figura 9A) e total (PT) (Figura 9B) de mandioca de mesa apresentaram resposta semelhante em função da adubação com doses crescentes de esterco bovino, com os valores sendo incrementados linearmente em 0,06 kg por planta e 618,1 kg por hectare, respectivamente, para cada tonelada de esterco bovino aplicado ao solo. Esses resultados são atribuídos aos benefícios do esterco bovino, em virtude do fornecimento de nutrientes em quantidades adequadas, do suprimento das necessidades das

plantas devido à maior disponibilidade de N, P e K de forma gradativa (OLIVEIRA et al., 2010; GOMES et al., 2018), melhorando as características químicas e físico-químicas do solo, como: aumento da soma de bases, teor de P e CTC total, bem como efeitos benéficos na agregação, porosidade, retenção e infiltração de água no solo (RODRIGUES et al., 2013).

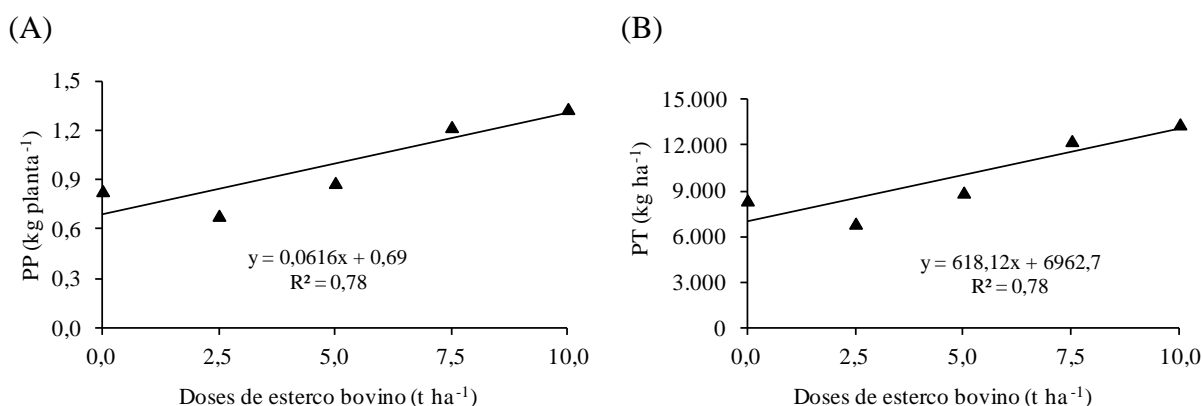


Figura 9. Valores médios de produtividade por planta (PP) e produtividade total (PT) da mandioca de mesa em função de adubação com esterco bovino.

5.2 Variáveis biométricas e fisiológicas

Com exceção para o diâmetro do caule (DC), que não foi influenciado por nenhuma fonte de variação, constatou-se interação significativa ($p < 0,05$) dos tratamentos para as demais variáveis biométricas e a intensidade de verde das plantas de mandioca de mesa (Tabela 6). Biratu et al. (2018a) também verificaram que as aplicações combinadas de esterco bovino e NPK promoveram um efeito significativo na maioria das variáveis biométricas de mandioca, exceto para o diâmetro do caule, assim como ocorreu no presente estudo.

Tabela 6. Resumo da análise de variância para as variáveis altura de planta (ALT), diâmetro do caule (DC), número de folhas por planta (NFP) e índice SPAD da mandioca de mesa em função de adubação mineral e orgânica.

FV	GL	Quadrados médios			
		ALT (m)	DC (mm)	NFP (Unid)	SPAD

Bloco	3	256,77*	9,90*	99,36*	3,11 ^{ns}
NPK	1	0,018 ^{ns}	17,622 ^{ns}	16,900 ^{ns}	8,889
Esterco bovino (EB)	4	0,007 ^{ns}	3,038 ^{ns}	39,437 ^{ns}	4,819 ^{ns}
NPK X EB	4	0,033*	5,816 ^{ns}	135,58*	10,186*
Resíduo	27	0,009	6,182	36,492	3,287
CV (%)		7,30	10,53	12,02	4,06
Média		1,35	23,60	50,25	44,62

*: Significativo a 5% pelo teste F; ^{ns}: Não Significativo. FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; CV: Coeficiente de variação.

O desdobramento da interação entre os tratamentos para a variável altura de plantas (ALT) de mandioca indicou que, na presença de adubação com NPK, não houve diferença significativa em função das doses de esterco bovino, apresentando valor médio de 137,2 cm. Todavia, na ausência de adubação com NPK houve ajuste ao modelo quadrático de regressão, com a ALT sendo incrementada até a dose de 2,5 t ha⁻¹ de esterco bovino, atingindo o valor máximo de 141,6 cm. A partir dessa dose, os valores para essa variável decresceram, atingindo o menor valor (128,3 cm) na dose de 10,0 t ha⁻¹ de esterco bovino (Figura 10).

De modo geral, esses resultados diferem dos obtidos por Biratu et al. (2018a) e Munyahali et al. (2018), que constataram que a combinação de esterco bovino com NPK promoveu incremento na altura de plantas de mandioca. De fato, é de esperar que a combinação de adubação orgânica com NPK incremente a altura das plantas, uma vez que o nitrogênio contido em grande quantidade nos adubos orgânicos favorece o crescimento vegetativo das plantas (NUNES et al., 2016).

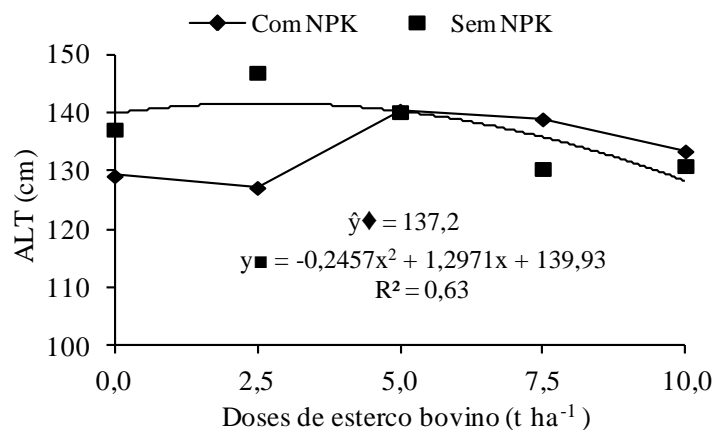


Figura 10. Desdobramento da interação entre os tratamentos para altura de plantas (ALT)) de mandioca de mesa em função da adubação mineral e orgânica.

O desdobramento da interação entre os tratamentos mostrou que nas plantas de mandioca adubadas com NPK, o NFP apresentou resposta quadrática, com os valores decrescendo até a dose de 4,0 t ha⁻¹, obtendo o valor de 47,1 folhas. A partir dessa dose, o NFP apresentou tendência de crescimento, atingindo o maior valor (53,6 folhas) na dose de 10 t ha⁻¹ de esterco bovino. Já nas plantas que não foram adubadas com NPK também foi observada resposta quadrática, no entanto, comportamento diferente, uma vez que o NFP foi incrementado até a dose aproximada de 2,5 t ha⁻¹ de esterco bovino, atingindo o valor de 53,6 folhas e, a partir dessa dose o NFP começou a reduzir, atingindo o menor valor (41,7 folhas) na dose de 10 t ha⁻¹ de esterco bovino (Figura 11).

Este resultado pode ter ocorrido devido à competição entre os íons NH₄⁺ e K⁺ (CASTRO et al., 2016). Como para as plantas adubadas com 10 t ha⁻¹ de esterco bovino na ausência de NPK houve uma boa disponibilidade de nitrogênio e não ocorreu adubação potássica, a competição entre os íons NH₄⁺ e K⁺ deve ter reduzido a absorção de K⁺, comprometendo o metabolismo das plantas, resultando em menor emissão do número de folhas pelas plantas.

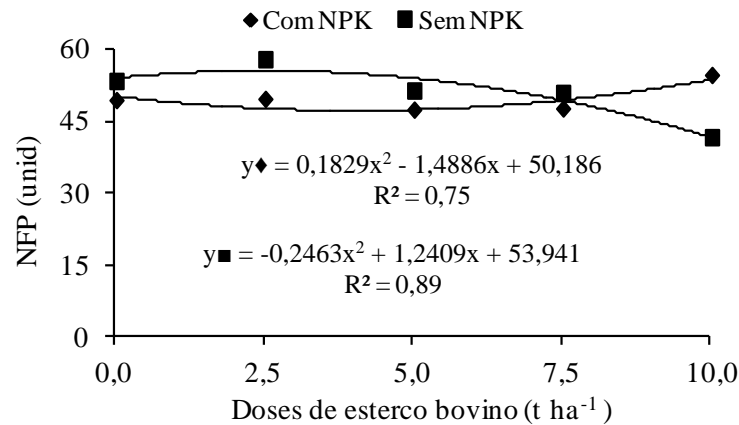


Figura 11. Desdobramento da interação entre os tratamentos para número de folhas por planta (NFP) de mandioca de mesa em função da adubação mineral e orgânica.

Ainda em relação à figura 4, pode se verificar que as plantas adubadas com 10 t ha⁻¹ e NPK apresentaram 11,9 folhas a mais que as plantas adubadas com essa mesma quantidade do adubo orgânico, mas que não receberam adubação com NPK. Uwah et al. (2013) também verificaram que a adubação com N e K incrementa o número de folhas de mandioca. De acordo com Biratu et al. (2018a) este incremento ocorreu devido estes fertilizantes disponibilizarem quantidades adequadas de N, P e K para os processos metabólicos das plantas.

De acordo com Silva et al. (2011) a intensidade de verde pode ser usado como indicativo da necessidade de adubação nitrogenada, uma vez que seu nível crítico (NC) seja conhecido, ou seja, o nível abaixo do qual a planta responderá à adubação nitrogenada, pois em muitas culturas a concentração de clorofila ou o esverdeamento das folhas está correlacionado positivamente com a concentração foliar de nitrogênio. Dessa forma, a medida da intensidade do verde nas folhas pode ser um índice de grande aplicação para verificação do estado de N nas plantas.

No presente estudo, os valores da intensidade de verde das plantas adubadas com NPK não foram influenciados pelas diferentes doses de esterco bovino, apresentando valor médio de 44,6. Por outro lado, nas plantas que não receberam adubação mineral (sem adubação com NPK), os valores da intensidade de verde apresentaram resposta quadrática em função das

diferentes doses de esterco bovino, com os valores decrescendo até a dose de 4,6 t ha⁻¹ do adubo orgânico, obtendo se valor de 44,1. A partir desse ponto os valores de intensidade de verde tenderam a crescerem, atingindo o maior valor (46,3) na dose de 10,0 t ha⁻¹ de esterco bovino (Figura 12).

Em estudo conduzido por Biratu et al. (2018a), foi demonstrado que a adubação com esterco bovino e com NPK incrementou a intensidade de verde de mandioca de mesa, sendo os maiores valores obtidos nas plantas adubadas com NPK. Os referidos autores verificaram ainda que a combinação do adubo orgânico com o mineral resultou em intensidade de verde superior aos obtidos nos tratamentos isolados, fato este não observado no presente estudo.

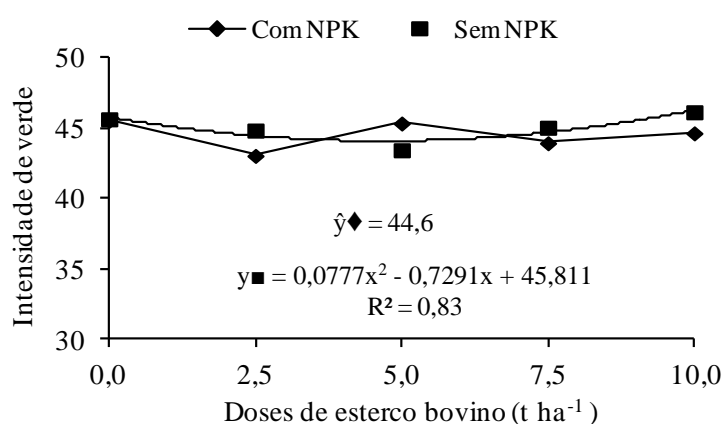


Figura 12. Desdobramento da interação entre os tratamentos para intensidade de verde de plantas de mandioca de mesa em função da adubação mineral e orgânica.

A análise de variância revelou que os tratamentos estudados (adubação com NPK e doses de EB), bem como a interação entre eles, não exerceram efeito significativo para as variáveis Fv/Fm e índice fotossintético (PI), apresentando as médias de 0,76 e 3,64, respectivamente (Tabela 7). Valores de Fv/Fm iguais ou acima de 0,75 indicam que não ocorreu degradação do aparato fotossintético das plantas, ou seja, estas plantas não se encontravam em condição de estresse e o processo de fotossíntese não estava sendo prejudicado (SILVA et al., 2014; SOARES et al., 2018).

Tabela 7. Resumo da análise de variância e valores médios para as variáveis Fv/Fm e índice fotossintético (PI) da mandioca de mesa em função de adubação orgânica e mineral.

FV	GL	Quadrados médios		
		Fv/Fm	PI	
Bloco	3	0,0177121667**	76,978386958**	
NPK	1	0,00141 ^{ns}	0,2606 ^{ns}	
Esterco bovino (EB)	4	0,000429 ^{ns}	1,3319 ^{ns}	
NPK X EB	4	3747495,47 ^{ns}	1,2374 ^{ns}	
Resíduo	27	0,00133	3,61	
CV (%)		4,81	52,23	
Média		0,76	3,64	
Doses de esterco bovino	Valores médios			
	Fv/Fm		PI	
	Com NPK	Sem NPK	Com NPK	Sem NPK
0 t ha ⁻¹	0,77	0,75	4,77	3,40
2,5 t ha ⁻¹	0,77	0,77	3,75	3,73
5,0 t ha ⁻¹	0,76	0,75	3,78	3,36
7,5 t ha ⁻¹	0,76	0,76	3,77	4,00
10 t há ⁻¹	0,77	0,77	2,63	3,33

** : Significativo a 1% pelo teste F; ^{ns}: Não Significativo. FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; CV: Coeficiente de variação.

5.3 Avaliação Nutricional

A análise de variância revelou que a interação entre os tratamentos, bem como as doses de NPK não influenciaram o teor dos nutrientes Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) nas folhas de mandioca de mesa. Por outro lado, o teor de N e P foi influenciado ($p < 0,05$) pelas doses de esterco bovino aplicadas no solo (Tabela 8).

Tabela 8. Resumo da análise de variância para as variáveis teor de Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) de folhas da mandioca de mesa em função de adubação mineral e orgânica.

FV	GL	Quadrados médios		
		N	P	K
NPK	1	0,196 ^{ns}	0,004 ^{ns}	4,970 ^{ns}
Esterco bovino (EB)	4	9,481*	0,252*	1,229 ^{ns}
NPK X EB	4	4,973 ^{ns}	0,14 ^{ns}	4,14 ^{ns}
Resíduo	27	2,511	0,052	5,271
CV (%)		3,63	8,55	14,96
Média		43,54	2,66	15,34

*: Significativo a 5% pelo teste F; ^{ns}: Não Significativo. FV: Fonte de variação; GL: Graus de Liberdade; CV: Coeficiente de variação.

O teor de N obtido nas folhas das plantas de mandioca ajustou-se ao modelo de regressão quadrático, com os valores sendo incrementados até a dose estimada de 4,5 t ha⁻¹ de esterco bovino, atingindo o valor de 44,6 g kg⁻¹. A partir dessa dose de esterco bovino, os valores para o teor de N nas folhas das plantas foi reduzido, apresentando o menor valor (42,1 g kg⁻¹) na dose de 10 t ha⁻¹ do adubo orgânico (Figura 13A).

Diversos autores como Lazcano et al. (2008), Cavalcante et al. (2010) e Nascimento et al. (2015) afirmam que a adubação com esterco bovino incrementa o teor de nitrogênio nas folhas das plantas, divergindo assim dos resultados obtidos no presente estudo. De acordo com Silva et al. (2014) este incremento ocorre devido ao aumento da disponibilidade de nitrogênio no solo, uma vez que o nitrogênio é o principal nutriente presente neste insumo.

Quanto ao teor de P das folhas de mandioca a resposta foi semelhante à obtida para o teor de N, ou seja, ajustou-se ao modelo de regressão quadrático, com os valores sendo incrementados até a dose de 5,3 t ha⁻¹ de esterco bovino, obtendo-se o valor máximo de 2,8 g kg⁻¹. A partir dessa dose, os valores do teor de P tenderam a decrescer, atingindo o valor de 2,5 g kg⁻¹ na dose de 10,0 t ha⁻¹ de esterco bovino (Figura 13B). De acordo com Oliveira et al. (2014) a adubação com esterco bovino favorece o incremento nos teores de fósforo nas folhas

das plantas, fato este observado no presente trabalho até a dose de 5,3 t ha⁻¹ de esterco bovino e por Nascimento et al. (2015) em melancia e por Leonel et al. (2015) em plantas de noni.

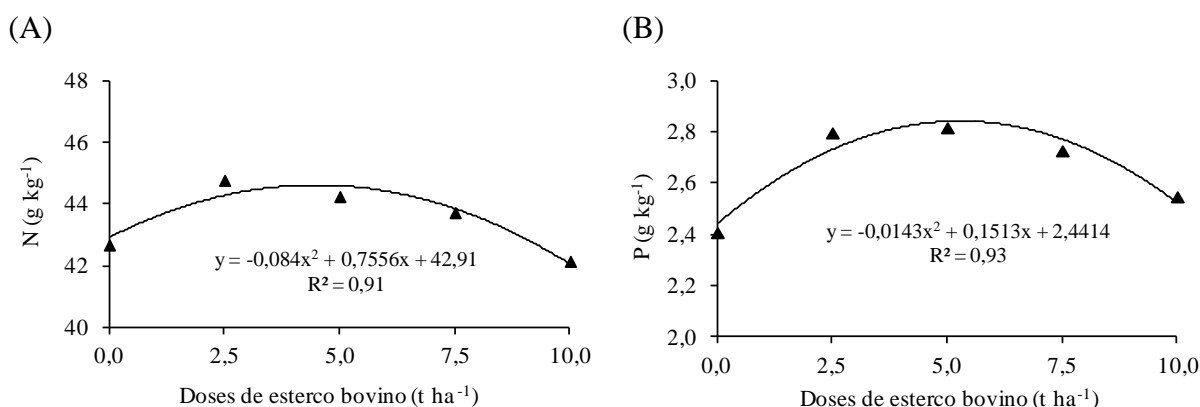


Figura 13. Teor de Nitrogênio (N) e Fósforo (P) em folhas de mandioca de mesa em função da adubação com esterco bovino.

Os teores de Ca e Mg não apresentaram diferença significativa em função dos tratamentos avaliados, enquanto o teor de S foi influenciado significativamente ($p < 0,05$) apenas pelas doses de esterco bovino aplicadas no solo (Tabela 9).

Tabela 9. Resumo da análise de variância para as variáveis teor de Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S) de folhas da mandioca de mesa em função de adubação mineral e orgânica.

FV	GL	Quadrados médios		
		Ca	Mg	S
NPK	1	0,121 ^{ns}	0,064 ^{ns}	0,225 ^{ns}
Esterco bovino (EB)	4	0,654 ^{ns}	0,150 ^{ns}	0,235*
NPK X EB	4	1,842 ^{ns}	0,140 ^{ns}	0,145 ^{ns}
Resíduo	27	1,549	0,111	0,076
CV (%)		15,71	9,95	15,93
Média		7,92	3,3	1,73

*: Significativo a 5% pelo teste F; ^{ns}: Não Significativo. FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; CV: Coeficiente de variação.

O teor de S nas folhas de mandioca foi reduzido de forma linear em função da adubação com esterco bovino, sendo observado um decréscimo estimado de 0,04 g kg⁻¹ para cada tonelada do adubo orgânico aplicado ao solo (Figura 14). Este resultado deve ter ocorrido devido à adubação com doses mais elevadas de esterco bovino disponibilizar maior quantidade de N no solo do que as outras doses utilizadas, resultando em redução de absorção de S pelas plantas, diminuindo assim o teor desse nutriente em suas folhas (SILVA & MONTEIRO, 2010). Araújo et al. (2007) também constataram que o teor de S reduziu na matéria seca foliar de plantas de noni submetidas a doses crescentes de composto orgânico, corroborando assim com os resultados obtidos no presente estudo.

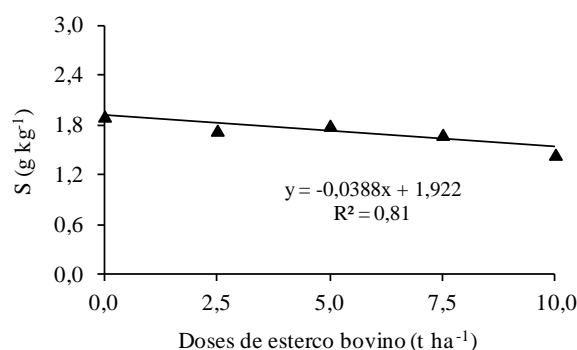


Figura 14. Valores médios para o teor de Enxofre (S) em folhas de mandioca de mesa em função da adubação com esterco bovino.

Com exceção do teor de Zn, que foi influenciado significativamente pela interação doses de esterco bovino e doses de NPK, não foi verificada resposta dos demais micronutrientes avaliados (B, Cu, Fe e Mn) aos tratamentos aplicados (Tabela 10).

Tabela 10. Resumo da análise de variância para as variáveis teor de Boro (B), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn) de folhas da mandioca de mesa em função de adubação mineral orgânica.

FV	GL	Quadrados médios
----	----	------------------

		B	Cu	Fe	Mn	Zn
NPK	1	0,030 ^{ns}	0,009 ^{ns}	525,625	0,900 ^{ns}	2,500 ^{ns}
Esterco bovino (EB)	4	38,610 ^{ns}	0,570 ^{ns}	401,100 ^{ns}	289,287 ^{ns}	82,775*
NPK X EB	4	20,387 ^{ns}	1,029 ^{ns}	280,125	637,96 ^{ns}	109,250**
Resíduo	27	20,697	0,618	365,547	338,292	24,296
CV (%)		17,04	11,56	20,06	22,14	14,67
Média		26,68	6,80	95,33	95,33	33,60

** e *: Significativo a 1% e a 5%, respectivamente, pelo teste F; ^{ns}: Não Significativo. FV: Fonte de variação; GL: Graus de Liberdade; CV: Coeficiente de variação.

O zinco participa da síntese de ácido-indol-acético (AIA), hormônio responsável pelo crescimento das plantas (LEONEL et al., 2015). No presente estudo, o teor de Zn nas folhas de mandioca de mesa apresentou respostas diferentes em função da adubação mineral, uma vez que quando as plantas foram adubadas com NPK, o aumento das doses de esterco bovino resultaram em decréscimo linear de 0,62 mg kg⁻¹ no teor de Zn das folhas das plantas de mandioca. Por outro lado, quando as plantas não foram adubadas com NPK, o teor de Zn apresentou resposta quadrática, com os valores sendo incrementados até a dose de 4,2 t ha⁻¹ de esterco bovino, atingindo o valor de 39,4 mg kg⁻¹ e, a partir dessa dose do adubo orgânico os valores do teor de Zn foram reduzidos, chegando a atingir 25,4 mg kg⁻¹ na dose de 10 t ha⁻¹ de esterco bovino (Figura 15). De acordo com Araújo et al. (2013), este resultado pode ser atribuído ao fato de maiores doses de esterco bovino ter ocorrido maior disponibilidade de outros cátions bivalentes, como Ca²⁺, Mg²⁺ e Fe²⁺; estes cátions competem com o Zn²⁺ pelos sítios de absorção, reduzindo assim a entrada deste micronutriente nas plantas.

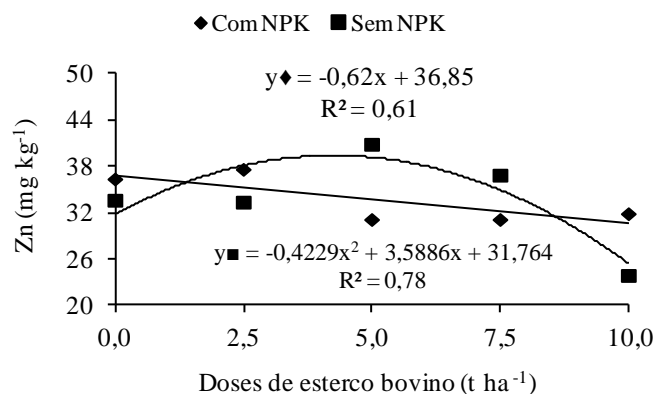


Figura 15. Desdobramento da interação entre os tratamentos (EB x NPK) para o teor de Zinco (Zn) em folhas de mandioca de mesa em função da adubação mineral e orgânica.

5.4 Análise de componentes principais (PCA)

A análise de componentes principais (PCA) é uma ferramenta de muita importância na análise de informações de dados, haja vista que promove uma correlação entre diversas variáveis mensuradas, facilitando assim a compreensão das informações (FERREIRA, 2002; SABIN et al., 2004). De modo geral, por meio da PCA espera-se que um menor número de componentes principais possa explicar a maior parte da variância dos dados originais, sem que haja perda de informação relevante.

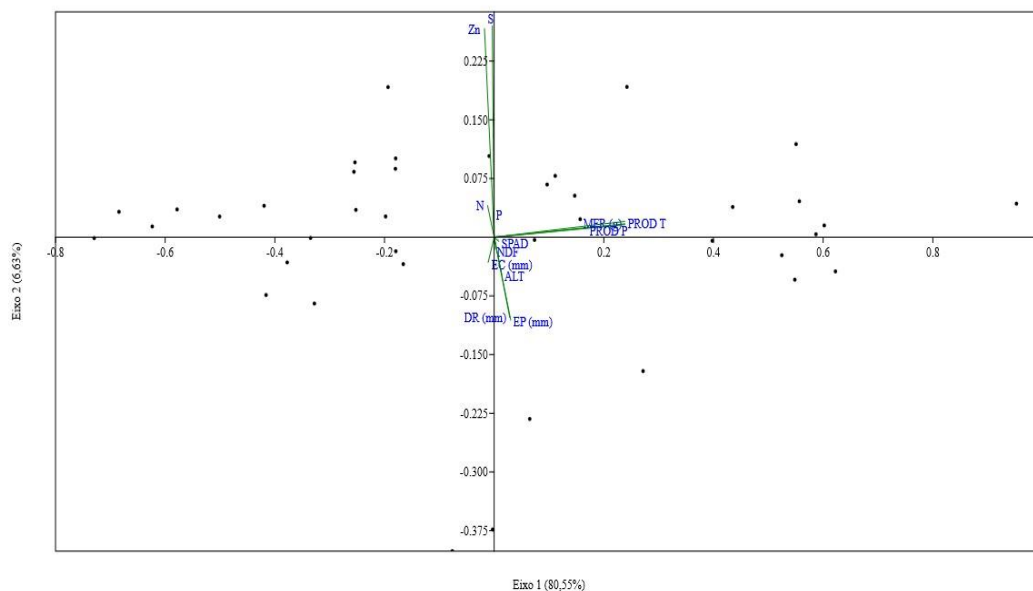
Conforme apresentado na Figura 16 o primeiro eixo apresentou 80,6% da variância observada e o segundo 6,6%, totalizando 87,2% da variação total. Isso demonstra que o primeiro e segundo eixos possibilitam informações suficientes para dar suporte aos resultados.

As variáveis de crescimento e produtividade foram responsáveis pela maior parte da variação dos dados, observa-se no primeiro e segundo quadrante que os tratamentos com NPK tiveram influência direta nessas variáveis. Enquanto, no terceiro e quarto quadrante encontra-se, em sua maioria, os tratamentos sem NPK. Com isso, reafirma-se os resultados já apresentados que a adubação com NPK teve influência nas características produtivas da mandioca de mesa.

Na figura a seguir temos a representação do gráfico biplot de *escores* e pesos (*loadings*) das variáveis (Figura 16A) e completa (Figura 16B). Observa-se que as duas

componentes principais (eixos 1 e 2) explicam aproximadamente 87% da variância dos dados, sendo que 80,6% é explicado pela componente principal 1 (eixo 1). Neste componente encontram-se principalmente as variáveis de crescimento e produtividade, ou seja, estas variáveis são responsáveis pela grande parte da variância dos dados. A componente 2 (eixo 2) explica apenas 6,6% da variância dos dados e nela encontra-se principalmente as variáveis relacionadas à composição nutricional das plantas.

(A)



(B)

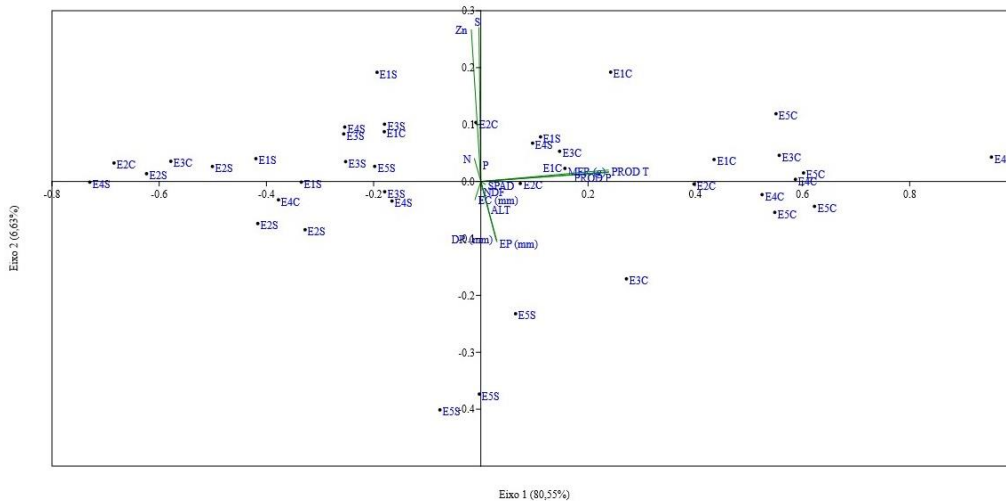


Figura 16. Análise de componentes principais entre os tratamentos e as variáveis de crescimento (ALT- Altura, NPF-Número de folhas por planta), fisiologia (PI- Índice fotossintético), produção (MFR- Massa fresca da raiz, DR- Diâmetro da raiz, EC- Espessura da casca, EP- Espessura da polpa, PROD P- Produtividade por planta e PROD T- Produtividade total) e composição nutricional (N- Nitrogênio, P- Fósforo, S- Enxofre e Zn- Zinco).

6 CONCLUSÕES

As variáveis biométricas de mandioca não foram incrementadas pela combinação de adubação com esterco bovino e NPK.

A adubação com esterco bovino curtido combinado com NPK não influenciou as variáveis fisiológicas de mandioca.

A adubação com esterco bovino curtido incrementou a massa fresca de raiz, o diâmetro de raiz, a espessura da polpa e da casca de raiz, a produtividade por planta e total de mandioca de mesa.

A adubação com NPK incrementou a massa fresca de raiz, o diâmetro de raiz, a espessura da polpa e da casca de raiz, a produtividade por planta e total de mesa.

As diferentes condições de adubação (orgânica e mineral) influenciaram a exportação de nutrientes do solo para as folhas de mandioca.

Para se obter um bom rendimento de mandioca de mesa com alta produtividade recomenda-se adubação com 10 t ha⁻¹ de esterco bovino e com NPK, pois embora não haja interação entre os fertilizantes, eles agem de forma complementar, incrementando os componentes de produção e produtividade da cultura.

REFERÊNCIAS

ADEKAYODE, F. O.; ADEOLA, O. F. The response of cassava to potassium fertilizer treatments. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 7, n. 2, p. 279-282, 2009.

ADEYEMO, O. S.; HYDE, P. T.; SETTER, T. L. Identification of FT family genes that respond to photoperiod, temperature and genotype in relation to flowering in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Plant Reproduction**, v. 32, n. 2, p. 181-191, 2019.

ADJEBENG-DANQUAH, J.; MANU-ADUENING, J.; ASANTE, I. K.; AGYARE, R. Y.; GRACEN, V.; OFFEI, S. K. Genetic diversity and population structure analysis of Ghanaian and exotic cassava accessions using simple sequence repeat (SSR) markers. **Heliyon**, v. 6, n. 1, p. e03154, 2020.

AFONSO, S.; ARROBAS, M.; FERREIRA, I. Q.; RODRIGUES, M. Â. Assessing the potential use of two portable chlorophyll meters in diagnosing the nutritional status of plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 41, n. 2, p. 261-271, 2018.

AI, Z.; ZHANG, J.; LIU, H.; XIN, Q.; XUE, S.; LIU, G. Soil nutrients influence the photosynthesis and biomass in invasive *Panicum virgatum* on the Loess Plateau in China. **Plant and Soil**, v. 418, n. 1-2, p. 153-164, 2017.

ALBUQUERQUE, J. A. A.; EVANGELISTA, M. O.; MATES, A. P. K.; ALVES, J. M. A.; OLIVEIRA, N. T.; SEDIYAMA, T.; SILVA, A. A. Occurrence of weeds in Cassava savana plantations in Roraima. **Planta Daninha**, v. 32, n. 1, p. 91-98, 2014.

ALIYU, I. A.; YUSUF, A. A.; UYOVBISERE, E. O.; MASSO, C.; SANDERS, I. R. Effect of co-application of phosphorus fertilizer and in vitro-produced mycorrhizal fungal inoculants on yield and leaf nutrient concentration of cassava. **PloS one**, v. 14, n. 6, p. 1-19, 2019.

ALVES AAC. Fisiologia da mandioca. In: EMBRAPA. **Mandioca e Fruticultura Tropical. Aspectos socioeconômicos e agrônômicos da mandioca**. EMBRAPA, 2006. Cap.7, p.138-169.

ALVES FILHO, P. P. C.; GALVÃO, J. R.; NEVES, L. B.; COSTA, I. R. Resposta da cultivar de mandioca roxinha à adubação NPK. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 11, nº 1, p. 1-7, 2015.

ALVES, R. N. B.; MODESTO JÚNIOR, M. S.; FERREIRA, E. R. Doses de NPK na adubação de mandioca (*Manihot esculenta*, L) variedade paulozinho em moju – Pará. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 8, p. 65-70, 2012.

AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis**. 16 ed. Arlington: AOAC International, 1995. 1025 p.

ARAÚJO, É. O.; SANTOS, E. F.; CAMACHO, M. A. Absorção de cálcio e magnésio pelo algodoeiro cultivado sob diferentes concentrações de boro e zinco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.8, n.3, p.383-389, 2013.

ARGENTA, G. et al. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, n. 2, p. 158-167, 2001.

ASARE, D. K.; AYEH, E. O.; AMENORPE, G. Response of rainfed cassava to methods of application of fertilizer-nitrogen in a coastal savannah environment of Ghana. **World Journal of Agricultural Sciences**, v. 5, p. 323-27, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE AMIDO DE MANDIOCA.
Produção de fécula de mandioca no ano de 2013. Disponível em:
<<http://www.abam.com.br/>> Acesso em: 22 mar. 2019.

AZEVEDO NETO, A. D. de. et al. Fluorescência da clorofila como uma ferramenta possível para seleção de tolerância à salinidade em girassol. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 4, p. 893-897, out/dez., 2011.

BANKS, J. M. Continuous excitation chlorophyll fluorescence parameters: a review for practitioners. **Tree physiology**, v. 37, n. 8, p. 1128-1136, 2017.

BARBER, S. A. **Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach**. New York: John Wilen & Sons, Inc. , 1984, 398 p.

BECKLIN, K. M.; ANDERSON, J. T.; GERHART, L. M.; WADGYMAR, S. M.; WESSINGER, C. A.; WARD, J. K. Examining plant physiological responses to climate change through an evolutionary lens. **Plant Physiology**, v. 172, n. 2, p. 635-649, 2016.

BHUSAL, N.; SHARMA, P.; SAREEN, S.; SARIAL, A. K. Mapping QTLs for chlorophyll content and chlorophyll fluorescence in wheat under heat stress. **Biologia Plantarum**, v. 62, n. 4, p. 721-731, 2018.

BIRATU, G. K.; ELIAS, E.; NTAWURUHUNGA, P.; SILESHI, G. W. Cassava response to the integrated use of manure and NPK fertilizer in Zambia. **Heliyon**, v. 4, n. 8, p. e00759, 2018a.

BIRATU, G. K.; ELIAS, E.; NTAWURUHUNGA, P.; NHAMO, M. Effect of Chicken Manure Application on Cassava Biomass and Root Yields in Two Agro-Ecologies of Zambia. **Agriculture**, v. 8, n. 4, p. 1-15, 2018b.

BJÖRKMAN, O.; DEMMIG, B. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. **Planta**, v. 170, n. 4, p. 489-504, 1987.

BONFIM, N. N.; RIBEIRO, D. G.; NASSAR, N. M. A. Genetic diversity of root anatomy in wild and cultivated *Manihot* species. **Genetics and Molecular Research**, v.10, n.2, p.544-551, 2011.

BOVI, M.L.A.; GODOY JUNIOR, G.; SPIERING, S.H. Respostas de crescimento da pupunheira à adubação NPK. **Scientia Agrícola**, v.59, n.1, p.161-166, 2002.

CARDOSO JÚNIOR, N. dos S. Efeito do nitrogênio sobre o teor de HCN e características agronômicas da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Dissertação (Mestrado em Agronomia - Fitotecnia) **Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia**, Vitória da Conquista, 2004.

CARDOSO JÚNIOR, N. S.; VIANA, A. E. S.; MATSUMOTO, S. N.; SEDIYAMA, T.; CARVALHO, F. M. Efeito do nitrogênio em características agronômicas da mandioca. **Bragantia**, v. 64, n. 4, p. 651-659, 2005.

CARINE, T. N.; FRANCIS, N. A.; NGALLE, E. Appropriate fertilizer (NPK) rates for cassava (*Manihot esculenta* Crantz) production in the humid forest agro-ecological zone of Cameroon. **African Journal of Agricultural Research**, v. 14(35), p. 2017-2022, 2019.

CASTRO, B. F.; SANTOS, L. G.; BRITO, C. F. B.; FONSECA, V.; BEBÉ, F. Produção de rabanete em função da adubação potássica e com diferentes fontes de nitrogênio. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 39, n. 3, p. 341-348, 2016.

CAVALCANTE, A. R.; JÚNIOR, J. A. S.; FURTADO, G. F.; CHAVES, L. H. G. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica do pimentão hidropônico sob salinidade e densidades de plantio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.23, n.1, p.3-8, 2019.

CAVALCANTI, J. C. P (Coord.). **Recomendações de adubação para o estado do Pernambuco (2ª aproximação)**. 3. ed. Recife: Instituto Agrônomo do Pernambuco-IPA, 2008. 212 p.

CECÍLIO FILHO, A. B.; GRANGEIRO, L. C. Produtividade da cultura da melancia em função de fontes e doses de potássio. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 3, p. 561- 569, 2004.

CENI, G. C.; COLET, R.; PERUZZOLO, M.; WITSCHINSKI, F.; TOMICKI, L.; BARRIQUELLO, A. L.; VALDUGA, E. Avaliação de componentes nutricionais de cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Alim. Nutr.**, Araraquara, v. 20, n.1, p. 107-111, 2009.

CHIANU, J. N.; CHIANU, J. N.; MAIRURA, F. Mineral fertilizers in the farming systems of sub-Saharan Africa. **Agronomy for sustainable development**, v. 32, n. 2, p. 545-566, 2012.

COELHO, D. G.; FONSECA, K. S.; MÉLO NETO, D. F.; ANDRADE, M. T.; COELHO JUNIOR, L. F.; FERREIRA- SILVA, S. L.; SIMÕES, A. D. N. Association of preharvest management with oxidative protection and enzymatic browning in minimally processed cassava. **Journal of Food Biochemistry**, v. 43, n. 5, p. e12840, 2019.

COELHO, A. P.; LEAL, F. T.; FILLA, V. A.; DALRI, A. B.; FARIA, R. T. Estimativa da produtividade de grãos da aveia-branca cultivada sob níveis de irrigação utilizando clorofilômetro portátil. **Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente**, v. 9, n. 2, p. 662-667, 2018.

COGO, C. M.; ANDRIOLO, J. L.; BISOGNIN, D. A.; GODOY, R. DOS S.; BORTOLOTO, O. C.; BARROS, G. T. Crescimento, produtividade e qualidade de processamento de tubérculos de batata produzidos sob alta disponibilidade de potássio. **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, p. 985-988, 2006.

CONAB. Mandioca: raiz, fécula e farinha. **Conjunturas da Agropecuária**, 2017.

COUTO, T. R.; SILVA, J. R.; NETO, A. T.; CARVALHO, V. S.; CAMPOSTRINI, E. Eficiência fotossintética e crescimento de genótipos de abacaxizeiro cultivados in vitro em diferentes qualidades de luz, tipos de frasco de cultivo e concentrações de sacarose. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 2, p. 459-466, 2014.

CREWS, T. E.; RUMSEY, B. E. What agriculture can learn from native ecosystems in building soil organic matter: A review. **Sustainability**, v. 9, n. 4, p. 578, 2017.

CROFT, H.; CHEN, J. M.; LUO, X.; BARTLETT, P.; CHEN, B.; STAEBLER, R. M. Leaf chlorophyll content as a proxy for leaf photosynthetic capacity. **Global change biology**, v. 23, n. 9, p. 3513-3524, 2017.

CRUZ, J. L.; MOSQUIM, P. R.; PELACANI, P. R.; ARAÚJO, W. L.; DaMATTA, F. M. Photosynthesis impairment in cassava leaves in response to nitrogen deficiency. **Plant and Soil**, v. 257, p. 417-423, 2003.

CUVACA, I. B.; EASH, N. S.; LAMBERT, D. M.; WALKER, F. R.; RUSTRICK, W. Nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizer effects on cassava tuber yield in the coastal district of Dondo, Mozambique. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 42, p. 3112-3119, 2017.

DINIZ, M. de S.; GOMES, J. de C.; CALDAS, R. C. Sistemas de adubação na cultura da mandioca. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v. 13, n. 2, p. 157-160, 1994.

EL-HENDAWY, S.; HU, Y.; SCHIMIDHALTER, U. Growth, ion content, gas exchange, and water relations of wheat genotypes differing in salt tolerances. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.56, n. 2, p.123-134, 2005.

EMBRAPA- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro** de classificação de solos. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa informação Tecnológica, 2009. 627p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise do solo**. 3 ed. Brasília-DF, 2017, 230p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistemas de produção de mandioca**. Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/> Acesso em: 30 Dez. 2018.

EZUI, K. S.; FRANKE, A. C.; MANDO, A.; AHIABOR, B. D. K.; TETTEH, F. M.; SOGBEDJI, J.; GILLER, K. E. Fertiliser requirements for balanced nutrition of cassava across eight locations in West Africa. **Field Crops Research**, v. 185, p. 69-78, 2016.

FENG, R. J.; REN, M. Y.; LU, L. F.; PENG, M.; GUAN, X.; ZHOU, D. B.; YUN, T. Y. Involvement of abscisic acid-responsive element-binding factors in cassava (*Manihot esculenta*) dehydration stress response. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1-12, 2019.

FERGUSON, M. E.; SHAH, T.; KULAKOW, P.; CEBALLOS, H. A global overview of cassava genetic diversity. **PloS one**, v. 14, n. 11, 2019.

FERNANDES, A. M.; GAZOLA, B.; NUNES, J. G. D. S.; GARCIA, E. L.; LEONEL, M. Yield and nutritional requirements of cassava in response to potassium fertilizer in the second cycle. **Journal of Plant Nutrition**, v. 40, n. 20, p. 2785-2796, 2017.

FERNANDES, R.B.A.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; FONTES, M.P.F. Quantificação de óxidos de ferro de latossolos brasileiros por espectroscopia de refletância difusa. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, v. 28, p. 245-257, 2004.

FERREIRA, M. M. C. Multivariate QSAR. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v.13, n.6, p.742-753, 2002.

FERREIRA, P. A.; GARCIA, G. O.; MIRANDA, G. V.; OLIVEIRA, F. G.; SANTOS D. B. Tolerância da variedade milho UFVM 100 à salinidade avaliada por três métodos. **Irriga**, v. 12, p. 532-544, 2007.

FIDALSKI, J. Respostas da mandioca à adubação NPK e calagem em solos arenosos do noroeste do Paraná. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.34, n.8, p.1353-1359, 1999.

FILHO, P. P. C. A.; GALVÃO, J. R.; NEVES, L. B.; COSTA, I. R. Resposta da cultivar de mandioca roxinha à adubação NPK. **Rev. Raízes Amidos Trop.**, v. 11, nº 1, p. 1-7, 2015.

FLOOD, Pádraic J. et al. Phenomics for photosynthesis, growth and reflectance in *Arabidopsis thaliana* reveals circadian and long-term fluctuations in heritability. **Plant Methods**, v. 12, n. 1, p. 14, 2016.

FOLLET, R. H.; FOLLET, R. F.; HALVORSON, A. D. Use of a chlorophyll meter to evaluate the nitrogen status of dryland winter wheat. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 23, p. 687-697, 2008.

FREITAS, M. A.; MEDEIROS, F. H.; MELO, I. S.; PEREIRA, P. F.; PEÑAFLORES, M. F. G.; BENTO, J. M.; PARÉ, P. W. Stem inoculation with bacterial strains *Bacillus amyloliquefaciens* (GB03) and *Microbacterium imperiale* (MAIIF2a) mitigates *Fusarium* root rot in cassava. **Phytoparasitica**, v. 47, n. 1, p. 135-142, 2019.

FUKUDA, C.; OTSUBO, A. A. **Cultivo da mandioca na região centro sul do Brasil**. Cruz das Almas: EMBRAPA-CNPMF, 2003. (Sistemas de Produção, 7).

GALBIATTI, J. A.; SILVA, F. G.; FRANCO, C. F.; CAMELO, A. D. Desenvolvimento do feijoeiro sob o uso de biofertilizante e adubação mineral. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v. 31, n. 1, p.167-177, 2011.

GOMES, R. S.; SANTOS SILVA, F. C.; JUNIOR, R. M.; ALMEIDA, C. F.; DELAZARI, F. T.; LAURINDO, R. D. F.; SILVA, D. J. H. The integration of quantitative and multicategorical data for the analysis of genetic divergence in germplasm of cassava (*Manihot esculenta* Crantz.): A new approach. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 10, p. 1596-1602, 2018.

GOMES, J. C.; SILVA, J. Correção da acidez e adubação. In: SOUZA, L. S. et al (Ed.). **Aspectos socioeconômicos e agrônômicos da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006. p. 215-247.

GOMES, L. S. P.; BRAZ, T. G. S.; MOURTHÉ, M. H. F.; PARAÍSO, H. A.; PIRES NETO, O. S.; SILVA, F. E. G.; PEREIRA, L. R. F.; ALMEIDA, B. Q. Níveis de substituição de ureia por esterco bovino na adubação de capim-marandu. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 4, p. 914-923, 2018.

GRANTZ, D. A.; ZINSMEISTER, D.; BURKHARDT, J. Ambient aerosol increases minimum leaf conductance and alters the aperture–flux relationship as stomata respond to vapor pressure deficit (VPD). **New Phytologist**, v. 219, n. 1, p. 275-286, 2018.

GUIMARÃES, D. G.; PRATES, C. J. N.; VIANA, A. E. S.; CARDOSO, A. D.; SANTOS, V. D. S.; MATSUMOTO, S. N.; LOPES, S. C. Physiological and agronomic characteristics of cassava genotypes. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 5, p. 354-361, 2017.

GROSSMANN, J.; FREITAS, A.C. Determinação do teor de matéria seca pelo peso específico em raízes de mandioca. **Revista Agrônômica**, Porto Alegre, v. 14, p.75-80, 1950.

HE, Z. S.; TANG, R.; LI, M. J.; JIN, M. R.; XIN, C.; LIU, J. F.; HONG, W. Response of Photosynthesis and Chlorophyll Fluorescence Parameters of *Castanopsis kawakamii* Seedlings to Forest Gaps. **Forests**, v. 11, n. 1, p. 21, 2020.

HIJBEEK, R.; VAN ITTERSUM, M. K.; TEN BERGE, H. F.; GORT, G.; SPIEGEL, H.; WHITMORE, A. P. Do organic inputs matter—a meta-analysis of additional yield effects for arable crops in Europe. **Plant and Soil**, v. 411, n. 1-2, p. 293-303, 2017.

HOWELER, R. H. How to apply NPK fertilizers: what kind, how much, when and where. In: ____. **Sustainable Soil and Crop Management of Cassava in Asia**. Vietnam: CIAT Publication, 2014. p. 77-95.

HOWELER, R. H.; LUTALADIO, N.; THOMAS, G. **Save and Grow: Cassava – A guide to Sustainable Production Intensification**. Rome, Italy: Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), 2013.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Brasília**. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Disponível em: www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric. Acesso em 01 de fevereiro de 2019.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Brasília**. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618>. Acesso em 20 de abril de 2020.

IMAS, P.; JOHN, K. S. **Potassium nutrition of cassava**. Switzerland: International potash institute. p.18, 2013.

INSTITUTO ADOLF LUTZ. **Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 3 ed., São Paulo: Instituto Adolf Lutz, v.1, 533p. 1985.

JIANG, D.; WANG, Q.; DING, F.; FU, J.; HAO, M. Potential marginal land resources of cassava worldwide: A data-driven analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 104, p. 167-173, 2019.

KALAJI, H. M.; RAČKOVÁ, L.; PAGANOVÁ, V.; SWOCZYNA, T.; RUSINOWSKI, S.; SITKO, K. Can chlorophyll-a fluorescence parameters be used as bio-indicators to distinguish between drought and salinity stress in *Tilia cordata* Mill?. **Environmental and Experimental Botany**, v. 152, p. 149-157, 2018.

KALAJI, H. M.; SCHANSKER, G.; BRESTIC, M.; BUSSOTTI, F.; CALATAYUD, A.; FERRONI, L.; LOSCIALE, P. Frequently asked questions about chlorophyll fluorescence, the sequel. **Photosynthesis Research**, v. 132, n. 1, p. 13-66, 2017.

KAWEEWONG, J.; KONGKEAW, T.; TAWORNPREEK, S.; YAMPRACHA, S.; YOST, R. Nitrogen requirements of cassava in selected soils of Thailand. **Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics**, v. 114, p. 13- 19, 2013.

KIM, M. R.; KHALEDA, L.; JUNG, I. J.; KIM, J. Y.; LEE, S. Y.; CHA, J. Y.; KIM, W. Y. Overexpression of chloroplast-localized NADPH-dependent thioredoxin reductase C (NTRC) enhances tolerance to photo-oxidative and drought stresses in *Arabidopsis thaliana*. **Journal of Plant Biology**, v. 60, n. 2, p. 175-180, 2017.

KINTCHÉ, K.; HAUSER, S.; MAHUNGU, N. M.; NDONDA, A.; LUKOMBO, S.; NHAMO, N.; MBALA, M. Cassava yield loss in farmer fields was mainly caused by low soil fertility and suboptimal management practices in two provinces of the Democratic Republic of Congo. **European Journal of Agronomy**, v. 89, p. 107-123, 2017.

LAZCANO, C., GÓMEZ-BRANDÓN, M.; DOMÍNGUEZ, J. Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. **Chemosphere**, v. 72, p. 1013-1019, 2008.

LIAO, W. B.; LI, Y. Y.; LU, C.; PENG, M. Expression of sucrose metabolism and transport genes in cassava petiole abscission zones in response to water stress. **Biologia Plantarum**, v. 61, n. 2, p. 219-226, 2017.

LINS, L. K. **Variação de traços funcionais que estruturam comunidades vegetais em restingas**. 2017. 55 f. Dissertação (Mestrado em Diversidade Biológica e Conservação nos Trópicos) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2017

LOPES, E. A. P.; BRAYNER, F. A.; ALVES, L. C. Acclimatization of manihot esculenta crantz seedlings inoculated in vitro with plant growth-promoting bacteria. **Advances in Plants & Agriculture Research**, v. 7, n. 5, p. 377-386, 2017.

LOPES, E. A. P.; SILVA, A. D. A. D.; MERGULHÃO, A. C. D. E. S.; SILVA, E. V. N. D.; SANTIAGO, A. D.; FIGUEIREDO, M. D. V. B. Co-inoculation of growth promoting bacteria and glomus clarum in micropropagated cassava plants. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 1, p. 152-166, 2019.

LORENZI, J. O.; OTSUBO, A. A.; MONTEIRO, D. A.; VALLE, T. L. Aspectos fitotécnicos da mandioca em Mato Grosso do Sul. In: OTSUBO, A. A.; MERCANTE, F. M.; MARTINS, C. de S. (Eds.). Aspectos do cultivo da mandioca em Mato Grosso do Sul. Dourados: **Embrapa Agropecuária Oeste/UNIDERP**, 2002. p. 77-108.

LUO, X.; CROFT, H.; CHEN, J. M.; HE, L.; KEENAN, T. F. Improved estimates of global terrestrial photosynthesis using information on leaf chlorophyll content. **Global change biology**, v. 25, n. 7, p. 2499-2514, 2019.

MANFREDINI, D.; MELO, S. P.; TOALIARI, J. G.; FERNANDES, R. S.; MONTEIRO, F. A. A. Aelação silicato – fosfato em um latossolo vermelho-amarelo distrófico. In: **Anais... Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas**, 26, Lages, 2004.

MARANHÃO HOJE. Ambev lança nova cerveja, exclusiva para o mercado maranhense. Disponível em: <<https://maranhaohoje.com/ambev-lanca-uma-nova-marca-de-cerveja-exclusiva-para-o-mercado-maranhense/>>. Acesso em: 22 Abr. 2020.

MARENCO, R. A. et al. Fisiologia de espécies florestais da Amazônia: fotossíntese, respiração e relações hídricas. **Ceres**, v. 61, n. 7, 2014.

MATTOS, P.L.P.; GOMES, J.C.; FARIAS, A.R.N.; FUKUDA, C. Cultivo da mandioca nas regiões norte e nordeste do Brasil. In: CEREDA, M.P. (coord.). **Agricultura: tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2002. p.274- 301.

MEDEIROS, T. S.; GOMES, A. R. M. G.; ALVES, M. P. B.; SOUSA MARCELINO, A.; MATOS SANTOS, D.; GIONGO, A. M. M.; COSTA, A. R. Produção de rabanete (*Raphanus sativus* L.) cultivado sob níveis de esterco bovino e respiração basal do solo. **Brazilian Applied Science Review**, v. 3, n. 2, p. 1348-1357, 2019.

MEHDI, S. M.; SARFRAZ, M.; HAFEEZ, M. Response of rice advance line PB-95 to potassium application in saline-sodic soil. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 10, n.17, p. 2935-2939, 2007.

MOHAN, G.; RAJU, J.; SHINY, R.; ABHILASH, P. V.; SOUMYA, S. Biochemical, mineral and proximate composition of Indian cassava varieties. **International Journal of Chemical Studies**, v. 7, n. 4, p. 1059-1065, 2019.

MORAIS, R. R., ROSSI, L. M. B., HIGA, R. C. V. Trocas gasosas de plantas jovens de taxi-branco submetidas à variação de temperatura foliar e suspensão da irrigação. **Ciência Florestal**, v. 27, p. 97-104, 2017.

MORGANTE, C. V.; NUNES, S. L. P.; MELO CHAVES, A. R.; FERREIRA, C. F.; TARSO AIDAR, S.; VITOR, A. B.; OLIVEIRA, E. J. Genetic and physiological analysis of early drought response in *Manihot esculenta* and its wild relative. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 42, n. 2, p. 1-11, 2020.

MOUGET, J.; TREMBLIN, G. Suitability of the fluorescence monitoring system (FMS, Hansatech) for measurement of photosynthetic characteristics in algae. **Aquatic Botany**, v.74, p.219-231, 2002.

MUNYAHALI, W.; PYPERS, P.; SWENNEN, R.; WALANGULULU, J.; VANLAUWE, B.; MERCKX, R. Responses of cassava growth and yield to leaf harvesting frequency and NPK fertilizer in South Kivu, Democratic Republic of Congo. **Field Crops Research**, v. 214, p. 194-201, 2017.

MTUNGUJA, M. K.; BECKLES, D. M.; LASWAI, H. S.; NDUNGURU, J. C.; SINHA, N. J. Opportunities to commercialize cassava production for poverty alleviation and improved food security in Tanzania. **African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development**, v. 19, n. 1, p. 13928-13946, 2019.

MUTHURAJA, R.; MUTHUKUMAR, T. Arbuscular Mycorrhizal and Dark Septate Endophyte Fungal Association in Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) Varieties, Southern India. **Notulae Scientia Biologicae**, v. 11, n. 1, p. 154-166, 2019.

MUTIARA, C.; BOLLY, Y. Y. Identification of Agricultural Activities and Soil Fertility in the Cultivation Area of Nuabosi Cassava. **Caraka Tani: Journal of Sustainable Agriculture**, v. 34, n. 1, p. 22-30, 2019.

NAZ, S.; TARSELLI, M. A.; JENSEN, M. M.; BLIDNER, A. G.; NIKOLAOU, A.; POLAT, E. O.; ISAACSON, K. J. Foods of the future. **Science**, v. 366, n. 6471, p. 1306-1307, 2019.

NEVES, O. S. C.; CARVALHO, J. C.; MARTINS, F. A. D.; PADUA, T. R. P.; PINHO, P. J. Uso do SPAD-502 na avaliação dos teores foliares de clorofila, nitrogênio, enxofre, ferro e manganês do algodoeiro herbáceo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 5. P. 75-78, maio 2005.

NUNES, A. R. A.; FERNANDES, A. M.; LEONEL, M.; GARCIA, E. L.; MAGOLBO, L. A.; CARMO, E. L. Nitrogênio no crescimento da planta e na qualidade de raízes da mandioquinha-salsa. **Ciência Rural**, v. 46, n. 2, p. 242-247, 2016.

OBISEGBOR, N.B. Trends of cassava responses to fertilization in southwestern Nigeria. **Journal of Biology and Physical Sciences**, v. 19, p. 412-418, 2014.

ODEDINA, J.; OJENIYI, S.; ODEDINA, S.; FABUNMI, T.; OLOWE, V. Growth and yield responses of cassava to poultry manure and time of harvest in rainforest agro-ecological zone of Nigeria. **International Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources**, v. 2, n. 3, p. 67-72, 2015.

OLDFIELD, E. E.; WOOD, S. A.; BRADFORD, M. A. Direct effects of soil organic matter on productivity mirror those observed with organic amendments. **Plant and Soil**, v. 423, n. 1-2, p. 363-373, 2018.

OLIVEIRA, A. P.; SANTOS, J. F.; CAVALCANTE, L. F.; PEREIRA, W. E.; SANTOS, M. D. C. C.; OLIVEIRA, A. N. P.; SILVA, N. V. Yield of sweet potato fertilized with cattle manure and biofertilizer. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 3, p. 277-281, 2010.

OLIVEIRA, N. T.; UCHÔA, S. C. P.; ALVES, J. M. A.; ALBUQUERQUE, J. A. A.; RODRIGUES, G. S. Effect of Harvest Time and Nitrogen Doses on Cassava Root Yield and Quality. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. 1-12, e0150204, 2017.

OMAR, N. F.; HASSAN, S. A.; YUSOFF, U. K.; ABDULLAH, N. A. P.; WAHAB, P. E. M.; SINNIHAH, U. R. Phenolics, Flavonoids, Antioxidant Activity and Cyanogenic Glycosides of Organic and Mineral-base Fertilized Cassava Tubers. **Molecules**, v. 17, p. 2378-2387, 2012.

OMONDI, J. O.; NAFTALI, L.; SHIMON, R.; KUKREW, T.; URI, Y.; YASUOR, H. Potassium and storage root development: focusing on photosynthesis, metabolites and soluble carbohydrates in cassava. **Physiologia Plantarum**, p. 1-20, 2019a.

OMONDI, J. O.; LAZAROVITCH, N.; RACHMILEVITCH, S.; YERMIYAHU, U. PHOSPHORUS affects storage root yield of cassava through root numbers. **Journal of Plant Nutrition**, v. 42, n. 17, p. 2070-2079, 2019b.

OMONDI, J. O.; LAZAROVITCH, N.; RACHMILEVITCH, S.; BOAHEN, S.; NTAWURUHUNGA, P.; SOKOLOWSKI, E.; YERMIYAHU, U. Nutrient use efficiency and harvest index of cassava decline as fertigation solution concentration increases. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 181, n. 5, p. 644-654, 2018.

OTSUBO, A. A.; SAGRILO, E.; LORENZI, J. O.; GALHARINI, L. G.; OTSUBO, I. M. N.; MATOS, J. S.; UTIDA, D.; FUJINAKA, J. Avaliação de clones de mandioca visando o processamento industrial em Dourados, MS. **Raízes e Amidos Tropicais**, v. 3, p. 1- 4, 2007.

OSUNDARE, B. Observations on cassava (*Manihot esculenta* Crantz) root yield and soil fertility under different K-sources. **Journal of Biology, Agriculture and Healthcare**, v. 4, n. 28, p. 81-86, 2014.

OTSUBO, A. A.; SAGRILO, E.; LORENZI, J. O.; GALHARINI, L. G.; OTSUBO, I. M. N.; MATOS, J. S.; UTIDA, D.; FUJINAKA, J. Avaliação de clones de mandioca visando o processamento industrial em Dourados, MS. **Raízes e Amidos Tropicais**, v. 3, p. 1- 4, 2007.

PEIXOTO, C. P. Mandioca. In: CASTRO, P. R. C. **Ecofisiologia de cultivos anuais**. Piracicaba: Nobel, 2009. p.109-126.

PEREIRA, G. A. M.; LEMOS, V. T.; SANTOS, J. B.; FERREIRA, E. A.; SILVA, D. V.; OLIVEIRA, M. C.; MENEZES, C. W. G. Crescimento da mandioca e plantas daninhas em resposta à adubação fosfatada. **Revista Ceres**, v. 59, p. 716-722, 2012.

PYPERS, P.; BIMPONDA, W.; LODI-LAMA, J. P.; LELE, B.; MULUMBA, R.; KACHAKA, C.; VANLAUWE, B. Combining mineral fertilizer and green manure for increased, profitable cassava production. **Agronomy Journal**, v. 104, n. 1, p. 178-187, 2012.

QIU, K.; XIE, Y.; XU, D.; QI, T.; POTT, R. Photosynthesis-related properties are affected by desertification reversal and associated with soil N and P availability. **Brazilian Journal of Botany**, v. 41, n. 2, p. 329-336, 2018.

RÊGO, G. M.; POSSAMAI, E. Avaliação dos teores de clorofila no crescimento de mudas do jequitibá-rosa (*Cariniana legalis*). EMBRAPA, Colombo. **Comunicado Técnico** 128. Dez, 2004.

RIBEIRO, M. N. O.; CARVALHO, S. P.; PEREIRA, F. J.; CASTRO, E. M. Anatomia foliar de mandioca em função do potencial para tolerância à diferentes condições ambientais. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 2, p. 354-361, 2012.

RODRIGUES, J. F.; REIS, J. M. R.; REIS, M. A. Utilização de esterco em substituição a adubação mineral na cultura do rabanete. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 7, n. 2, p. 160–168, 2013.

RÓS, A. B. Produtividade de raízes de mandioca em função de doses de potássio. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 9, n. 1, p. 25-32, 2013.

RÓS, A. B.; HIRATA, A. C. S.; NARITA, N. Produção de raízes de mandioca e propriedades química e física do solo em função de adubação com esterco de galinha. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 3, p. 247-254, 2013.

SABIN, J. G.; FERRÃO, M. F.; FURTADO, J. C. Análise multivariada aplicada na identificação de fármacos antidepressivos. Parte II: Análise por componentes principais (PCA) e o método de classificação SIMCA. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 40, n. 3, p. 387-396, 2004.

SAGRILO, E.; VIDIGAL FILHO, P. S.; PEQUENO, M. G.; VIDIGAL, M. C. G.; SCAPIM, C. A.; KVITSCHAL, M. V; RIMOLDI, F. Effect of harvest period on foliage production and dry matter distribution in five cassava cultivars during the second plant cycle. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 49, n. 6, p.1007-1018. 2006.

SALLA, D. A. Análise energética de sistemas de produção de etanol de mandioca, cana-de-açúcar e milho. 2008. 168 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu.

SANGAKKARA, U. R.; WIJESINGHE, D. B. Nitrogen Fertilizer Affects Growth, Yield, and N Recovery in Cassava (*Manihot esculenta* L. Crantz). **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 45, n. 11, p. 1446-1452, 2014.

SANTOS, H. G; **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 5ª ed. Ver. Ampl. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2018. 356 p.

SANTOS, N. S. D.; ALVES, J. M. A.; UCHÔA, S. C. P.; OLIVEIRA, N. T. D.; ALBUQUERQUE, J. D. A. A. D. Absorption of macronutrients by cassava in different

harvest dates and dosages of nitrogen. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 4, p. 633-640, 2014.

SEGATTO, C.; CONTE, R.; LAJÚS, C. R.; LUZ, G. L. D. A. Relação da leitura do clorofilômetro com o rendimento da cultura do milho em diferentes níveis de suprimento de nitrogênio. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 16, n. 1, p. 253-259, 2017.

SILESHI, G. W.; NHAMO, N.; MAFONGOYA, P. L.; TANIMU, J. THE stoichiometry of animal manure and its implications for nutrient cycling and agriculture in sub-Saharan Africa. **Nutrient cycling in agroecosystems**, v. 107, n. 1, p. 91-105, 2017.

SILESHI, G. W.; JAMA, B.; VANLAUWE, B.; NEGASSA, W.; HARAWA, R.; KIWIA, A.; KIMANI, D. Nutrient use efficiency and crop yield response to the combined application of cattle manure and inorganic fertilizer in sub-Saharan Africa. **Nutrient cycling in agroecosystems**, v. 113, n. 2, p. 181-199, 2019.

SILVA, D. C. O.; ALVES, J. M. A.; UCHÔA, S. C. P.; SOUSA, A. D. A.; BARRETO, G. F.; SILVA, C. N. Growth curves of cassava plants under different doses of potassium. **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 60, n. 2, p.158-165, 2017.

SILVA, D. V.; SANTOS, J. B.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. A.; FRANÇA, A. C.; SEDIYAMA, T. Manejo de plantas daninhas na cultura da mandioca. **Planta daninha**, v. 30, p. 901-910, 2012.

SILVA, E. M. B.; MONTEIRO, F. A. Nitrogênio e enxofre na adubação e em folhas diagnósticas e raízes do capimbraquiária em degradação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.8, p.1641-1649, 2010.

SILVA, F. G.; DUTRA, W. F.; DUTRA, A. F.; OLIVEIRA, I. M.; FILGUEIRAS, L. M. B.; MELO, A. S. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.10, p.946–952, 2015.

SILVA, Í. R. C.; CARDOSO, R. D. C. V.; GÓES, J. Â. W.; DRUZIAN, J. I.; JÚNIOR, P. O. V.; ANDRADE, A. C. B. Food safety in cassava “flour houses” of Copioba Valley, Bahia, Brazil: Diagnosis and contribution to geographical indication. **Food Control**, v. 72, p. 97-104, 2017.

SILVA, L. A.; BRITO, M. E. B.; SÁ, F. V. DA S.; MOREIRA, R. C. L.; SOARES FILHO, W. S.; FERNANDES, P. D. Mecanismos fisiológicos em híbridos de citros sob estresse salino em cultivo hidropônico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p.S1-S7, 2014.

SILVA, L. E. B.; SANTOS, J. K. B.; BARBOSA, J. P. F.; LIMA, L. L. C.; SILVA, C. S. Aspectos gerais e peculiaridades sobre mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Diversitas Journal**, v, 3, p. 13-23, 2018.

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. 1-18, 2019.

SIMÃO, A. A., **Antioxidantes, clorofila e perfil de ácidos graxos em folhas de Mandioca**. 2010. Dissertação (Pós-Graduação em Agroquímica) Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais.

SILVA, L. A.; BRITO, M. E. B.; SÁ, F. V. S.; MOREIRA, R. C. L.; SOARES FILHO, W. S.; FERNANDES, P. D. Mecanismos fisiológicos em híbridos de citros sob estresse salino em

cultivo hidropônico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p.S1-S7, 2014.

SINGH, S. K.; REDDY, V. R.; FLEISHER, D. H.; TIMLIN, D. J. Relationship between photosynthetic pigments and chlorophyll fluorescence in soybean under varying phosphorus nutrition at ambient and elevated CO₂. **Photosynthetica**, v. 55, n. 3, p. 421-433, 2017.

SOARES, L. A. A.; FERNANDES, P. D.; LIMA, G. S.; BRITO, M. E. B.; NASCIMENTO, R.; ARRIEL, N. H. Physiology and production of naturally-colored cotton under irrigation strategies using salinized water. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.53, p.746-755, 2018.

SOARES, M. R. S.; NASCIMENTO, R. M.; VIANA, A. E. S.; CARDOSO, A. D.; MAGALHÃES, G. C.; FOGAÇA, J. J. L. Componentes agronômicos qualitativos e caracterização morfológica de variedades de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em seis épocas de colheita. **Revista Scientia Plena**, v. 13, 2017.

SOUSA, A. D. M.; BARROS, I. B.; PALOMINO, E. C.; JESUS, L. M.; OLIVEIRA, W. C.; SILVA, T. V.; FERREIRA, J. B. A.; SOUZA, U, S. Avaliação da qualidade de raízes e taxa de sobrevivência de diferentes variedades de mandioca de mesa. **Revista Agroecossistemas**, v. 9, 2017.

SOUZA, R. C., Avaliação do potencial agronômico de cultivares de mandioca oriundas do nordeste brasileiro. 2017. Dissertação (Mestrado Profissional em Olericultura) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano. Campus Morrinhos.

STIRBET, A.; LAZÁR, D.; KROMDIJK, J. Chlorophyll a fluorescence induction: can just a one-second measurement be used to quantify abiotic stress responses? **Photosynthetica**, v. 56, n. 1, p. 86-104, 2018.

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

SUNG, M. G.; HAN, J. I.; LEE, B.; CHANG, Y. K. Wavelength shift strategy to enhance lipid productivity of *Nannochloropsis gaditana*. **Biotechnology for Biofuels**, v. 11, n. 1, p. 70, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Trad. de E.R. Santarém. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, planta e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de Solos/Faculdade de Agronomia/UFRGS, 1995.

TIRONI, L. F., UHLMANN, L. O., STRECK, N. A., SAMBORANHA, F. K., FREITAS, C. P. O., SILVA, M. R. Desempenho de cultivares de mandioca em ambiente subtropical. **Bragantia**, v.74, n. 1, p.58-66, 2015.

UWAH, D. F.; EFFA, E. B.; EKPENYONG, L. E.; AKPAN, I. E. Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) performance as influenced by nitrogen and potassium fertilizers in Uyo, Nigeria. **The Journal of Animal & Plant Sciences**, v. 23, n. 2, p. 2013, 2013.

VALLADARES, G.S.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. Adsorção de fósforo em solos de argila de baixa atividade. **Bragantia**, v. 62, p.111-118, 2003.

VALLE TL; LORENZI JO. 2014. Cultivares melhoradas de mandioca como instrumento de inovação, segurança alimentar, competitividade e sustentabilidade: contribuições do Instituto Agronômico de Campinas (IAC). **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, 31(1): 15-34.

VANCE, C.P.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D.L. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, v. 157, p. 423–447, 2003.

VEGA, O.; CARVAJAL, L. M.; RODRÍGUEZ, F.; MARÍN, M. C.; RAMÍREZ, C.; SIMPSON, R.; VALDENEGRO, M. Effect of thermal pretreatments and cooking characteristics on physicochemical, rheological, and sensorial properties of food products based on cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Journal of Food Process Engineering**, v. 41, n. 1, p. e12612, 2018.

VERÍSSIMO, V.; CRUZ, S. J. S.; PEREIRA, L. F. M.; SILVA, P. B.; TEIXEIRA, J. D.; FERREIRA, V. M.; ENDRES, L. Pigmentos e eficiência fotossintética de quatro variedades de mandioca. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 6, p. 222-231, 2010.

VIANA, A. E. S.; SEDIYAMA, T.; LOPES, S. C.; CECON, P. R.; SILVA, A. A. Avaliação de métodos de preparo de manivas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras. Edição Especial, p.1383-1390, dez., 2002.

WANG, Y.; AN, Z. C.; LI, R. K.; YANG, X.; HUANG, Y. F.; SHAO, R. X.; YE, Y. L. The nutritional status and fluorescence characteristics of maize cultivars with different chlorophyll content and yields. **Photosynthetica**, v. 57, n. 1, p. 295-302, 2019.

WU, G.; LIU, H.; HUA, L.; LUO, Q.; LIN, Y.; HE, P.; YE, Q. Differential responses of stomata and photosynthesis to elevated temperature in two co-occurring subtropical forest tree species. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 467, 2018.

YAARAN, A.; NEGIN, B.; MOSHELION, M. Role of guard-cell ABA in determining steady-state stomatal aperture and prompt vapor-pressure-deficit response. **Plant science**, v. 281, p. 31-40, 2019.

YU, Y.; LIU, J.; WANG, Y.; XIANG, C.; ZHOU, J. Practicality of using solar energy for cassava irrigation in the Guangxi Autonomous Region, China. **Applied energy**, v. 230, p. 31-41, 2018.

ZANDALINAS, S. I.; MITTLER, R.; BALFAGÓN, D.; ARBONA, V.; GÓMEZ- CADENAS, A. Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures. **Physiologia plantarum**, v. 162, n. 1, p. 2-12, 2018.

ZANETTI, S. **Caracterização morfológica e nutricional em diferentes estádios fenológicos da mandioca de mesa iac 576-70 sob deficiência hídrica**. 2016. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp- Campus de Botucatu.