

LYDIA HELENA DA SILVA DE OLIVEIRA MOTA

**APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO NO SEGUNDO CICLO DA
MANDIOCA MANEJADA COM E SEM PODA DA PARTE AÉREA**

Botucatu

2019

LYDIA HELENA DA SILVA DE OLIVEIRA MOTA

**APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO NO SEGUNDO CICLO DA
MANDIOCA MANEJADA COM E SEM PODA DA PARTE AÉREA**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu,
para obtenção do título de Doutor em Agronomia
(Agricultura).

Orientador: Prof. Dr. Adalton Mazetti Fernandes

Botucatu
2019

M917a Mota, Lydia Helena da Silva de Oliveira
Aplicação de nitrogênio e potássio no segundo ciclo da
mandioca manejada com e sem poda da parte aérea /
Lydia Helena da Silva de Oliveira Mota. -- Botucatu, 2019
101 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientador: Adalton Mazetti Fernandes

1. Manihot esculenta Crantz. 2. Nutrição mineral. 3.
Manejo da Poda. 4. Época de plantio. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca
da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo
autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO DA TESE: APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO NO SEGUNDO CICLO DA MANDIOCA
MANEJADA COM E SEM PODA DA PARTE AÉREA**

AUTORA: LYDIA HELENA DA SILVA DE OLIVEIRA MOTA

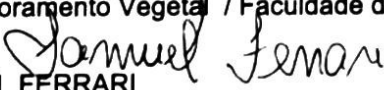
ORIENTADOR: ADALTON MAZETTI FERNANDES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ADALTON MAZETTI FERNANDES
CERAT / Universidade Estadual Paulista - UNESP


Prof. Dr. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES
Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP


Prof. Dr. MARCELO DE ALMEIDA SILVA
Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP


Prof. Dr. SAMUEL FERRARI
Agronomia / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena - UNESP


Pesquisador Dr. MARCO ANTÔNIO SEDREZ RANGEL
Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Mandioca e Fruticultura

Botucatu, 04 de dezembro de 2019

À meu esposo e filha,

Hugo e Alice,

dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e por mais essa conquista.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP pela possibilidade de realização deste curso.

Ao Centro de Raízes e Amidos Tropicais - CERAT pelo suporte e apoio institucional.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Acre (IFAC), pelo apoio financeiro e pela concessão do afastamento para realização do doutorado.

Ao Prof. Dr. Adalton Mazetti Fernandes pela orientação e ensinamentos.

Ao Prof. Dr. Dirceu Maximino Fernandes pelo apoio e gratificante amizade.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Agricultura pelos ensinamentos repassados.

Aos funcionários e alunos do CERAT, em especial ao Elder C. Mattos, Débora, Alessandra, Danilo Rosa de Lima, Pâmela, Luís, Thaís, Lucas, Rudieli, Nathalia Ribeiro, Ricardo, Gyslane, Luan, Bruno, Jesion, Jason e Jéssica pela amizade, ajuda e disposição sempre.

Aos amigos Gustavo e Lívia pelo apoio, convívio e amizade durante o doutorado.

Às amigas Juliana, Natália Assunção e Michely pela ajuda, paciência, compreensão, amizade, respeito, companheirismo e alegria, tornando meus dias mais divertidos e leves durante o doutorado. Vocês são mais do que especiais.

Aos amigos Leonardo, Maísa, Olívia, Denis, Waldiane e Clara, por todo carinho e por serem sempre presentes na minha vida e da minha família.

Aos queridos amigos Dayane, Laura, Jeunes, Elenice e Duda pelo companheirismo e momentos de imensa alegria, sendo minha segunda família em Botucatu. Vocês são muito importantes para mim.

Ao meu esposo Hugo e filha Alice pelo apoio incondicional. E aos meus queridos pais, irmãos, cunhados, sobrinhos e Martinha por todos os momentos agradáveis em família. Todos eles são essenciais na minha vida.

E a todos que de alguma forma contribuíram para o sucesso desse trabalho. Serei eternamente grata.

“É da natureza humana fazer planos, mas é o Senhor quem dirige nossos passos”.

Provérbios, 16-9.

RESUMO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) tem sido muito utilizada para alimentação humana, consumo animal e para a indústria. Apesar de ser uma cultura rústica, a planta de mandioca necessita de uma nutrição mineral equilibrada para expressar todo seu potencial de produção de raízes e amido (fécula). O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento da planta, a produtividade de raízes, amido e farinha de mandioca e a eficiência de uso do nitrogênio em resposta à aplicação de N e K em cobertura no segundo ciclo da mandioca manejada com e sem poda da parte aérea. Foram conduzidos dois experimentos, um plantado na estação seca (junho de 2016) e outro na estação chuvosa (outubro de 2016). Em ambos os experimentos o delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados completos, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram compostas por quatro formas de manejo da poda e da aplicação de K no segundo ciclo vegetativo (CP-SK = com poda na fase de repouso fisiológico e sem K; CP-CK = com poda na fase de repouso fisiológico e com aplicação de 90 kg ha⁻¹ de K₂O; SP-SK = sem poda e sem K; SP-CK = sem poda e com aplicação de 90 kg ha⁻¹ de K₂O). As subparcelas foram compostas por quatro doses de N (0, 50, 100 e 200 kg ha⁻¹ de N) aplicadas no segundo ciclo vegetativo da mandioca. Nas duas épocas de plantio, a mandioca foi colhida com 22 meses de ciclo. Na mandioca plantada na estação seca, o manejo da poda da parte aérea na fase de repouso fisiológico, seguida da adubação potássica de cobertura não interferiu na produtividade de raízes, amido e farinha, mas no plantio das águas as plantas podadas na fase de repouso fisiológico precisaram receber K em cobertura no segundo ciclo para manterem os mesmos teores de amido nas raízes e rendimento de farinha que as plantas conduzidas sem a poda da parte aérea. A aplicação de N na cultura da mandioca no segundo ciclo vegetativo e após a poda da parte aérea mostrou-se eficiente para estimular a rebrota das plantas e a reconstituição da área foliar, aumentando o IAF e a produtividade de raízes. Além disso, a adubação nitrogenada de cobertura no segundo ciclo vegetativo aumentou o índice de área foliar das plantas no segundo ciclo e as produtividades de raízes, amido, farinha de mandioca, extração e exportação de N e K pelas plantas de mandioca de uso industrial, com melhores respostas na mandioca plantada na estação seca. A adubação nitrogenada no início do segundo ciclo vegetativo da

mandioca proporcionou aumento na produção de raízes com alta eficiência no uso do N aplicado.

Palavras-Chave: *Manihot esculenta* Crantz. Nutrição mineral. Manejo da Poda. Época de plantio.

ABSTRACT

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) has been widely used for human food, animal feed and for industry. Despite being a rustic crop, the cassava plant needs a balanced mineral nutrition to express its full potential for producing roots and starch. The objective of this work was to evaluate cassava plant growth, yields of storage root, starch, and flour and N-use efficiency in response to N and K supply in the second vegetative cycle of cassava managed with and without shoot pruning. Two experiments were carried out, one planted in dry season (June 2016) and another in rainy season (October 2016). In both experiments, the experimental design used was a randomized block, in a split plot scheme, with four replications. The plots were composed by four shoot pruning-K supply managements (+Pr -K = cassava pruned and no K supply; +Pr +K = cassava pruned and with K supply; -Pr -K = cassava unpruned and no K supply; -Pr +K = cassava unpruned and with K supply). The subplots were composed of four N rates (0, 50, 100, and 200 kg ha⁻¹ N) applied in the second vegetative cycle of cassava. In both planting seasons, cassava was harvested at 22 months of cycle. In the cassava planted in the dry season, the shoot pruning in the autumn-winter resting phase followed by K supply in cover did not interfere in the yields of storage root, starch, and flour, but in the rainy season planting the pruned plants in the autumn-winter resting phase had to receive K at sidedressing in the second cycle to maintain the same root starch and flour contents that plants managed without shoot pruning. N application in the cassava crop in the second vegetative cycle and after shoot pruning was efficient to stimulate plant regrowth and leaf area recomposition and storage root yield. In addition to, N fertilization in the second vegetative cycle increased the plants leaf area index in the second vegetative cycle and the yields of roots, starch, and flour, absorption and removal of N and K by cassava plants of industrial use, with better responses in cassava planted in dry season. Nitrogen fertilization at the beginning of the second vegetative cycle of cassava increased root yield with high efficiency in the use of applied N.

Keywords: *Manihot esculenta* Crantz. Mineral nutrition. Pruning management. Planting season.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Precipitação pluvial (■) e temperaturas máximas (—) e mínimas (—) registradas, durante o período de janeiro de 2016 a dezembro de 2018..... 32
- Figura 2 – Teores de matéria orgânica (M.O.) e potássio (K), capacidade de troca de cátions (CTC) e teores de areia, silte e argila na linha e entrelinha da mandioca em diferentes profundidades..... 35
- Figura 3 – Concentrações de nutrientes no limbo foliar das folhas mais jovens totalmente expandidas aos quatro meses após a poda da parte aérea da cultura da mandioca em resposta à aplicação de doses de N em cobertura em duas épocas de plantio. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$ 41
- Figura 4 – Teor de Cu no limbo foliar das folhas mais jovens totalmente expandidas aos quatro meses após a poda da parte aérea da cultura da mandioca em resposta à aplicação de doses de N em cobertura no plantio das águas. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$. CP-SK = com poda e sem K; CP-CK = com poda e com 90 kg ha⁻¹ de K₂O; SP-SK = sem poda e sem K; SP-CK = sem poda e com 90 kg ha⁻¹ de K₂O. Barra vertical indica o valor de DMS pelo teste LSD ($P \leq 0,05$)..... 43
- Figura 5 – Altura (a), número de folhas (b, c, d, e), área foliar (f, g) e índice de área foliar (h, i) da cultura da mandioca plantada na seca (a, c, e, g, i) e nas águas (b, d, f, h) em resposta às doses de N. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$. MAP: meses após a poda. CP-SK= com poda e sem K; CP-CK= com poda e com 90 kg ha⁻¹ de K₂O; SP-SK= sem poda e sem K; SP-CK= sem poda e com 90 kg ha⁻¹ de K₂O. Barra vertical indica o valor de DMS ($P \leq 0,05$)..... 46
- Figura 6 – Número de raízes por planta (a), diâmetro (b), peso médio (c), produtividade (d) e matéria seca (MS) de raízes (e), produtividade de amido (f), rendimento (g) e produtividade de farinha (h) da cultura da mandioca em resposta à aplicação de

	doses de N em cobertura em duas épocas de plantio. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$	51
Figura 1 –	Precipitação pluvial (■) e temperaturas máximas (—) e mínimas (—) registradas, durante o período de janeiro de 2016 a dezembro de 2018.....	68
Figura 2 –	Teores de matéria orgânica (M.O.) e potássio (K), capacidade de troca de cátions (CTC) e teores de areia, silte e argila na linha e entrelinha da mandioca em diferentes profundidades.....	71
Figura 3 –	Altura de plantas de mandioca na colheita, em resposta à aplicação de doses de N em cobertura no plantio da seca. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$. CP-SK = com poda e sem K; CP-CK = com poda e com 90 kg ha ⁻¹ de K ₂ O; SP-SK = sem poda e sem K; SP-CK = sem poda e com 90 kg ha ⁻¹ de K ₂ O. Barra vertical indica o valor de DMS pelo teste LSD ($P \leq 0,05$).....	75
Figura 4 –	Índice de área foliar (IAF) aos 8 meses após a poda da parte aérea da mandioca plantada nas secas (a) e nas águas (b) em resposta à aplicação de doses de N em cobertura em duas épocas de plantio. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$	77
Figura 5 –	Concentrações de N nas cepas (a) e raízes (b), de K nas folhas (c), hastes (d), cepas (e) e raízes (f), extração de N (g) e K (i) e exportação de N (h) e K (j) pela cultura da mandioca em resposta à aplicação de doses de N em cobertura em duas épocas de plantio. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$	82
Figura 6 –	Eficiência de uso do N aplicado para a produção de raízes (EUNAPR) (a, b) e eficiência de recuperação do N aplicado (ERNAPR) (c, d) da cultura da mandioca plantada nas secas (a, c) e nas águas (b, d) em resposta à aplicação de doses de N em cobertura. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$. CP-SK = com poda e sem K; CP-CK = com poda e com 90 kg ha ⁻¹ de K ₂ O; SP-SK = sem poda e sem K; SP-CK = sem poda e com 90 kg ha ⁻¹ de K ₂ O. Médias seguidas de letras distintas minúscula para o fator	

	manejo e maiúscula para o fator dose, diferem entre si pelo teste LSD ($P \leq 0,05$).....	87
Figura 7 –	Eficiência de uso do N absorvido (EUNABS) da cultura da mandioca em resposta à aplicação de doses de N em cobertura em duas épocas de plantio. $*P \leq 0,05$; $**P \leq 0,01$	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características químicas do solo na profundidade de 0-0,20 m das áreas de ambos os plantios de mandioca.....	33
Tabela 2 – Concentrações de nutrientes no limbo foliar das folhas mais jovens totalmente expandidas aos quatro meses após a poda da parte aérea da cultura da mandioca em resposta ao manejo da poda e da aplicação de K e de doses de N em duas épocas de plantio, e análise de variância.....	40
Tabela 3 – Altura de plantas, número de folhas por planta, área foliar por planta e índice de área foliar da cultura da mandioca em resposta ao manejo da poda e da aplicação de K e de doses de N em duas épocas de plantio, e análise de variância.....	45
Tabela 4 – População final de plantas, número de raízes por planta, comprimento, diâmetro, peso médio e produtividade de raízes, teor de matéria seca (MS) e amido nas raízes, produtividade de amido, rendimento e produtividade de farinha da cultura da mandioca em resposta ao manejo da poda e da aplicação de K e de doses de N em duas épocas de plantio, e análise de variância.....	49
Tabela 5 – Coeficientes de correlação de Pearson (r) e valores de probabilidade (P) para as relações do índice de área foliar (IAF), produtividade de raízes, amido e farinha com os componentes de produção.....	56
Tabela 1 – Características químicas do solo na profundidade de 0-0,20 m das áreas de ambos os plantios de mandioca.....	69
Tabela 2 – Altura de plantas na colheita, número de folhas e de hastes por planta, diâmetro de hastes, acúmulos de matéria seca (MS) na parte aérea (PA), cepas, raízes, na planta inteira, índice de colheita (IC) e produtividade de raízes da cultura da mandioca em resposta ao manejo da poda e da aplicação de K e de doses de N em duas épocas de plantio, e análise de variância.....	75

Tabela 3 – Concentrações de N e K nas folhas, hastes, cepas e raízes na colheita, extração (Ext.) e exportação (Export.) de N e K pela cultura da mandioca em resposta ao manejo da poda e da aplicação de K e de doses de N em duas épocas de plantio, e análise de variância.....	81
Tabela 4 – Eficiência de uso do N aplicado para a produção de raízes (EUNAPR), eficiência de recuperação do N aplicado (ERNAPR) e eficiência de uso do N absorvido (EUNABS) da cultura da mandioca em resposta ao manejo da poda e da aplicação de K e de doses de N em duas épocas de plantio, e análise de variância.....	85

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	23
CAPÍTULO 1 - Produtividade da mandioca em resposta à poda da parte aérea e a adubação nitrogenada e potássica no segundo ciclo vegetativo.....	27
1.1 Introdução.....	29
1.2 Material e métodos.....	31
1.2.1 Localização e características da área experimental.....	31
1.2.2 Delineamento experimental e tratamentos.....	32
1.2.3 Instalação e condução do experimento.....	33
1.2.4 Avaliações.....	36
1.2.4.1 Diagnose foliar.....	36
1.2.4.2 Número de folhas, altura de plantas, área foliar e índice de área foliar no início do segundo ciclo (após a poda).....	36
1.2.4.3 População final de plantas.....	36
1.2.4.4 Número, comprimento, diâmetro e peso médio das raízes tuberosas.....	36
1.2.4.5 Produtividade de raízes tuberosas.....	37
1.2.4.6 Porcentagem de matéria seca (MS) nas raízes tuberosas.....	37
1.2.4.7 Teor de amido nas raízes tuberosas e produtividade de amido.....	37
1.2.4.8 Rendimento e produtividade de farinha.....	38
1.2.5 Análise estatística.....	38
1.3 Resultados e discussão.....	38
1.3.1 Diagnose foliar no 1º e no 2º ciclo vegetativo.....	38
1.3.2 Número de folhas, altura de planta, área foliar e índice de área foliar no início do segundo ciclo (após a poda).....	44
1.3.3 Avaliações biométricas, componentes de produção e produtividade da mandioca.....	48
1.3.4 Coeficientes de correlação.....	55
1.4 Conclusões.....	58
Referências.....	59

CAPÍTULO 2 - Acúmulo de biomassa e demanda nutricional da mandioca em função do manejo da poda e das adubações tardias de nitrogênio e potássio.....	63
2.1 Introdução.....	65
2.2 Material e métodos.....	67
2.2.1 Localização e características da área experimental.....	67
2.2.2 Delineamento experimental e tratamentos.....	67
2.2.3 Instalação e condução do experimento.....	68
2.2.4 Avaliações.....	72
2.2.4.1 Altura de plantas, número de folhas e hastes por planta, diâmetro de hastes, acúmulo de matéria seca na parte aérea, cepas e raízes tuberosas na colheita.....	72
2.2.4.2 Índice de colheita (IC).....	72
2.2.4.3 Teor, extração e exportação de N e K.....	72
2.2.4.4 Eficiência de uso do N aplicado para a produção de raízes.....	73
2.2.4.5 Eficiência de recuperação do N aplicado para a produção de raízes.....	73
2.2.4.6 Eficiência de uso do N absorvido pelas plantas.....	73
2.2.5 Análise estatística.....	74
2.3 Resultados e discussão.....	74
2.3.1 Componentes biométricos e acúmulos de MS nas folhas, hastes, cepas e raízes tuberosas e índice de colheita.....	74
2.3.2 Concentrações de N e K nas partes da planta, extração e exportação de N e K.....	80
2.3.3 Eficiência de uso e recuperação do N aplicado e eficiência de uso do N absorvido.....	85
2.4 Conclusões.....	90
Referências.....	91
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	97
REFERÊNCIAS.....	99

INTRODUÇÃO GERAL

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma planta que tem como centro de diversidade genética mais aceito a América do Sul (ROGERS; APPAN, 1973) e é considerada um dos maiores recursos alimentares na região tropical. Suas raízes tuberosas apresentam-se como um dos principais alimentos energéticos, principalmente em países em desenvolvimento (LEONEL et al., 2015). De acordo com a FAO (2018), a produção mundial de mandioca aumentou em 58% no período de 2000 a 2016, sendo que uma das explicações para esse aumento é que a mandioca é a fonte de amido mais importante depois do milho. A produção de mandioca no Brasil em 2018 foi de 19,39 milhões de toneladas, com uma produtividade média de 14,18 t ha⁻¹. De acordo com a última atualização do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE (março/2019), a estimativa de produção brasileira de raiz de mandioca para o ano corrente é de 20,5 milhões de toneladas, cultivadas numa área de 1,6 milhão de hectares. Ou seja, presume-se que a produção em 2019 será 5,6% maior e a produtividade terá um ganho de 4,99% (CONAB, 2019).

A produção de mandioca pode ser classificada de acordo com sua finalidade de uso das raízes em duas categorias, a mandioca de mesa e a mandioca de indústria. A mandioca de mesa é utilizada para comercialização *in natura* e na forma de mandioca pré-cozida e congelada, que tem crescido nos últimos anos. A mandioca de indústria apresenta grande variedade de usos, mas o principal é como matéria-prima para as indústrias de amido (fécula) e farinha (LEONEL et al., 2015). Na região Centro-Sul do Brasil, o cultivo de mandioca de indústria vem apresentando expressivo aumento para atender à crescente demanda das indústrias por matéria-prima. Esse cenário é resultado da modernização do setor industrial, com o aumento das possibilidades no uso do amido de mandioca em diversos segmentos do mercado de alimentação humana e de embalagens, colas, mineração, têxtil e farmacêutica. Esses mercados acima citados são os de maior agregação de valor e melhores perspectivas no desenvolvimento da atividade mandioqueira (CARDOSO; SOUZA, 2002).

A cultivar de mandioca IAC 14 é uma das mais plantadas no Estado de São Paulo para atender à demanda das indústrias de processamento de amido (fécula). Essa cultivar apresenta alto teor de matéria seca nas raízes e alto rendimento de amido, é resistente a bacteriose, apresenta produção de plantas muito vigorosas e pode ser

cultivada em solos de baixa fertilidade, sendo preferencialmente utilizada pelas indústrias de amido (fecularias) (LEONEL et al., 2015).

No caso da mandioca de indústria, as recomendações de adubação com N e K são para fornecimento desses nutrientes apenas no primeiro ciclo vegetativo, seja com aplicações apenas no momento do plantio ou em cobertura, com doses que não ultrapassem 80 kg ha⁻¹ de N e 60 kg ha⁻¹ de K₂O (LORENZI et al., 1997; NOGUEIRA; GOMES, 1999; SOUSA; LOBATO, 2004). No entanto, como na grande maioria das situações a mandioca é cultivada em solos com baixos teores de matéria orgânica, é de se esperar que ela apresente respostas positivas a adubação nitrogenada (NGUYEN et al., 2002; CRUZ et al., 2003; LÔBO et al., 2005; LEONEL et al., 2015), tendo em vista que o N é o segundo nutriente mais absorvido pela cultura da mandioca (HOWELER, 1981). Em solos arenosos e com menores teores de matéria orgânica alguns autores já obtiveram aumentos lineares na produtividade de raízes da mandioca até doses de 90 kg ha⁻¹ de N e/ou até doses maiores desse nutriente (MORAES et al., 1981; CARDOSO JÚNIOR et al., 2005); o que demonstra que o fornecimento adequado de N é fundamental para se obter maiores níveis de produtividade nessa cultura.

Na região Centro-Sul do Brasil, entre o primeiro e o segundo ciclo vegetativo a mandioca passa por um período de repouso fisiológico, que ocorre na época mais fria e seca do ano (LORENZI, 2003; EL-SHARKAWY, 2006; AGUIAR et al., 2011). Nessa fase, têm-se realizado a poda da parte aérea das plantas para facilitar o controle de plantas daninhas com herbicida no segundo ciclo (TAKAHASHI, 1998; LORENZI, 2003; AGUIAR et al., 2011) e também obter material de propagação para novos plantios (TAKAHASHI, 2002). O segundo ciclo vegetativo se inicia com a rebrota das hastes, estimulada pelo aumento da temperatura e retorno das chuvas, e as plantas passam novamente por outro período de intenso crescimento vegetativo (AGUIAR et al., 2011; FERNANDES et al., 2017a), sendo que alguns autores relatam que no segundo ciclo aquelas plantas que foram podadas na fase de repouso fisiológico apresentam crescimento e desenvolvimento mais rápido e vigoroso das novas brotações (NORMANHA; PEREIRA, 1962; CONCEIÇÃO, 1981). Dessa forma, como o ciclo da cultura é longo, com crescimento inicial lento e baixa acumulação de matéria seca e nutrientes até os 120 dias (LORENZI et al., 1981), pode ser que o N e o K fornecidos apenas na fase inicial do primeiro ciclo da cultura não sejam suficientes

para garantir produtividades satisfatórias de raízes e amido na mandioca colhida com dois ciclos, principalmente em condições de solo arenoso.

Estudos recentes mostram que a aplicação de K no início do segundo ciclo vegetativo da mandioca de indústria submetida a poda na fase de repouso fisiológico pode beneficiar a produtividade de raízes e amido, porque nessa condição a adubação estimula a rebrota da parte aérea e a reconstituição da área foliar, aumentando assim a atividade fotossintética (FERNANDES et al., 2017a). Há indícios de que plantas que são podadas no período de repouso fisiológico têm maior desenvolvimento do índice de área foliar (IAF) no segundo ciclo vegetativo quando em comparação com plantas conduzidas sem a poda da parte aérea (LORENZI, 2003).

Dessa forma, como a produtividade da cultura vai depender do saldo entre as reservas consumidas para emitir as novas brotações no segundo ciclo e da capacidade de produção de carboidratos da nova área foliar desenvolvida, medidas de manejo que favoreçam o reestabelecimento mais rápido da área foliar perdida no final do primeiro ciclo podem favorecer positivamente a produtividade da cultura.

Fernandes et al. (2017a) verificaram que a aplicação de doses entre 45 e 89 kg ha⁻¹ de K₂O no início do segundo ciclo da mandioca podada na fase de repouso fisiológico aumentou em 36 e 49% as produtividades de raízes e amido, respectivamente. No entanto, em mandioca que não teve a poda da parte aérea durante a fase de repouso fisiológico a aplicação de doses entre 89 e 99 kg ha⁻¹ de K₂O de forma parcelada com pelo menos uma aplicação em cobertura no início do segundo ciclo vegetativo aumentou a produtividade de raízes e o aproveitamento do K aplicado (FERNANDES et al., 2017b; SILVA et al., 2017).

Dessa forma, fica evidente a importância de mais estudos para compreender melhor se a adubação nitrogenada e potássica no início do segundo ciclo vegetativo da mandioca pode auxiliar no reestabelecimento rápido da área foliar da mandioca e melhorar a produtividade de raízes e amido das plantas submetidas ou não a poda da parte aérea na fase de repouso fisiológico. Sendo assim, este trabalho parte da hipótese que a aplicação de N e K no início do segundo ciclo da mandioca manejada com e sem poda da parte aérea pode favorecer a recomposição mais rápida da área foliar perdida na fase de repouso fisiológico e resultar em ganhos de produtividade de raízes e amido. O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a nutrição e o crescimento das plantas, a extração e exportação de N e K e a produtividade de raízes e amido da

mandioca em resposta à aplicação de N e K em cobertura no início do segundo ciclo da mandioca manejada com e sem poda da parte aérea.

CAPÍTULO 1 - Produtividade e nutrição da mandioca em resposta à poda da parte aérea e a adubação nitrogenada e potássica no segundo ciclo vegetativo

Resumo

O manejo da poda da parte aérea e as adubações nitrogenada e potássica podem favorecer o desempenho produtivo da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) colhida com dois ciclos vegetativos. O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento e desenvolvimento da planta e a concentração de nutrientes nas folhas da mandioca no segundo ciclo vegetativo, bem como as produtividades de raízes, amido e farinha em resposta à aplicação de nitrogênio (N) e potássio (K) em cobertura no segundo ciclo da mandioca manejada com e sem poda da parte aérea. Um experimento foi plantado na estação seca e outro na estação chuvosa. Em ambos os experimentos, o delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram compostas por quatro formas de manejo da poda e da aplicação de K no segundo ciclo vegetativo (CP-SK = com poda na fase de repouso fisiológico e sem K; CP-CK = com poda na fase de repouso fisiológico e com aplicação de 90 kg ha⁻¹ de K₂O; SP-SK = sem poda e sem K; SP-CK = sem poda e com aplicação de 90 kg ha⁻¹ de K₂O). As subparcelas foram compostas por quatro doses de N aplicadas no segundo ciclo vegetativo da mandioca (0, 50, 100 e 200 kg ha⁻¹ de N). Nas plantas da mandioca podadas na fase de repouso fisiológico e fertilizadas com K os teores foliares de N, P e K foram maiores. Plantas de mandioca manejadas sem poda da parte aérea apresentaram teores foliares Ca, Fe e Mn mais elevados no início do segundo ciclo vegetativo. A adubação nitrogenada no início do segundo ciclo vegetativo aumentou os teores de quase todos os nutrientes nas folhas da mandioca, principalmente no plantio realizado na estação seca. Em solos com média disponibilidade inicial de K, não há necessidade de fornecer K no segundo ciclo vegetativo da mandioca, pois a aplicação de K não aumentou a reconstituição foliar, componentes de produtividade e as produtividades de raízes e amido, independente do manejo da poda da parte aérea. A aplicação tardia de N em plantas de mandioca melhorou seu estado nutricional e aumentou a área foliar das plantas no segundo ciclo vegetativo. A produtividade de raízes, amido e farinha aumentaram linearmente em resposta às doses de aplicadas no segundo ciclo.

Palavras-chave: *Manihot esculenta* Crantz, nutrição mineral, área foliar, amido.

Yield and nutritional status of cassava in response to shoot pruning and nitrogen and potassium fertilization in the second vegetative cycle

Abstract

The management of shoot pruning, and nitrogen and potassium fertilization may favor the productive performance of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) harvested with two vegetative cycles. The objective of this work was to evaluate the growth and development of the plant and nutrient concentration in the leaves of cassava in the second vegetative cycle, as well as the yield of roots, starch and flour in response to nitrogen (N) and potassium (K) in side-dressing application in the second vegetative cycle of cassava managed with and without shoot pruning. One experiment was planted in the dry season and another in the rainy season. In both experiments, the experimental design was a randomized block design, in a split plot scheme with four replications. The plots were represented by four shoot pruning-K supply management in the second vegetative cycle (+Pr -K = cassava pruned in the autumn-winter resting phase and no K supply; +Pr +K = cassava pruned in the autumn-winter resting phase and with K supply of 90 kg ha⁻¹ of K₂O; -Pr -K = cassava unpruned and no K supply; -Pr +K = cassava unpruned and with K supply of 90 kg ha⁻¹ of K₂O). The subplots were composed of four N rates applied in the second vegetative cycle of cassava (0, 50, 100, and 200 kg ha⁻¹ N). In cassava plants pruned in the physiological rest phase and fertilized with K, the leaf concentrations of N, P, and K were higher. Cassava plants managed without shoot pruning showed higher Ca, Fe, and Mn leaf concentrations at the beginning of the second vegetative cycle. Nitrogen fertilization at the beginning of the second vegetative cycle increased the levels of almost all the nutrients in cassava leaves, especially in the dry season planting. In soils with a medium level of K availability, K provision during the second cassava growth cycle is unnecessary because the application of K did not increase leaf reconstitution or yield components in either pruned or unpruned plants. The late application of N improved the nutritional status of cassava plants and increased their leaf area during the second growth cycle. Cassava root, starch, and flour yields increased in a linear fashion in response to the late application of N.

Keywords: *Manihot esculenta* Crantz, mineral nutrition, leaf area, starch.

1.1 Introdução

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é cultivada em todas as regiões brasileiras e tem sido muito utilizada para alimentação humana, consumo animal e para a indústria (BALAGOPALAN, 2002). É considerada uma cultura de subsistência, mas está se tornando cada vez mais comercializada. Porém, a produtividade média brasileira ainda é baixa, o que pode estar associada ao uso incipiente de tecnologias disponíveis capazes de explorar o potencial genético da mandioca ocasionando maiores produtividades (GOMES; SILVA, 2006), além do uso insuficiente e desequilibrado de fertilizantes (EZUI et al., 2016).

Sua capacidade de produzir em locais onde outras culturas não teriam o mesmo rendimento levou muitos a acreditar que a fertilidade do solo não é importante na produção de mandioca. No entanto, os resultados da pesquisa mostram que isso é um equívoco (FENING et al., 2009). Quando variedades melhoradas foram cultivadas sem uso de fertilizantes, a baixa fertilidade do solo mostrou ser a principal restrição ao rendimento da mandioca. Como resultado, existe enorme lacuna de rendimentos entre a produtividade real nos campos dos agricultores e a produtividade potencial da cultura da mandioca (EZUI et al., 2016).

No Brasil, diferente do resto do mundo, o cultivo de mandioca para uso industrial envolve variedades com teores mais elevados de ácido cianídrico nas raízes, e que são cultivadas por 16 a 24 meses (2 ciclos vegetativos), ao passo que em outros países a mandioca é colhida com 8 a 12 meses de cultivo, independentemente do destino final da raiz. Nesse sistema de cultivo, realizado principalmente na região Centro-Sul do Brasil, verifica-se que entre o primeiro e o segundo ciclo vegetativo a mandioca passa por um período de repouso fisiológico, que ocorre na época mais fria e seca do ano.

Em grandes áreas de cultivo de mandioca para uso industrial, entre o primeiro e o segundo ciclo vegetativo, têm-se realizado a poda da parte aérea das plantas, visando facilitar o controle de plantas daninhas com herbicida no segundo ciclo e também obter material de propagação para novos plantios. Porém, os resultados de estudos sobre o aumento de produtividade da mandioca com o manejo de poda da parte aérea ainda são escassos e controversos. Alguns indicam que a poda pode causar redução de produtividade e do teor de amido das raízes (CORREIA et al., 1973; OLIVEIRA et al., 2010). Silva et al. (2011) observaram que a poda realizada no

repouso fisiológico não altera a produtividade da cultura. No entanto, Andrade (2010) indica que a poda pode aumentar a produtividade e o teor de matéria seca das raízes de mandioca. Vale salientar que o efeito da poda na produtividade de mandioca está relacionado à época da realização, clima e fertilidade do solo (TAKAHASHI, 1998; LORENZI, 2003).

O K e o N, por serem os nutrientes exigidos em maiores quantidades pela cultura da mandioca e desempenharem importante papel nos processos de crescimento e desenvolvimento das plantas, podem auxiliar nesse reestabelecimento rápido da área foliar da mandioca submetida ou não a poda, contribuindo assim, para elevar a atividade fotossintética das folhas das plantas e melhorar a produtividade de raízes e amido.

O N tem funções reconhecidas no metabolismo das plantas, participando como constituinte de proteínas, coenzimas, ácidos nucleicos, citocromo, clorofila, pigmentos e produtos secundários (FERREIRA et al., 2007). Em mandioca, a adubação nitrogenada promove o aumento 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), mas o excesso de N pode reduzir a produtividade de raízes por promover o crescimento excessivo da parte aérea (TSAY et al., 1989; OLIVEIRA et al., 2017).

O K tem funções reguladoras de grande importância e está ligado ao processo fotossintético em muitos níveis, participa da síntese de ATP, afeta a taxa de assimilação do dióxido de carbono, afeta a manutenção do turgor das células-guarda e, ainda, é importante nos processos que controlam o uso de água pela planta (BULL, 1993; WENGLING, 2005). Além disso, está associado à síntese de amido e a translocação de carboidratos das folhas para as raízes tuberosas, onde os carboidratos são o material de armazenamento principal. Em consequência a este fato, ocorre o aumento da produtividade e a melhoria da qualidade das raízes (MEHDI et al., 2007).

Estudo realizado por Fernandes et al. (2017) com a cultivar de mandioca IAC 13, submetida à poda da parte aérea, demonstrou que a aplicação de K no início do segundo ciclo vegetativo aumentou a produtividade de raízes em 36% e a produtividade de amido em 49%. Segundo esses autores, a aplicação de K no segundo ciclo após a poda da parte aérea beneficiou a produtividade de amido porque

ela estimulou mais a síntese e acúmulo de amido nas raízes do que o crescimento das raízes em número e tamanho. Assim, como é bem conhecido que o N e o K têm uma interação sinérgica (RIETRA et al., 2015; BALIGAR et al., 2001), pode ser que a aplicação combinada de N e K no segundo ciclo vegetativo da cultura da mandioca possa estimular a recomposição foliar no início do segundo ciclo, aumentando a atividade fotossintética das plantas e potencializando a produtividade de raízes e amido.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento foliar e a concentração de nutrientes nas folhas da mandioca no segundo ciclo vegetativo, bem como as produtividades de raízes, amido e farinha em resposta à aplicação de nitrogênio e potássio em cobertura no segundo ciclo da mandioca manejada com e sem poda da parte aérea.

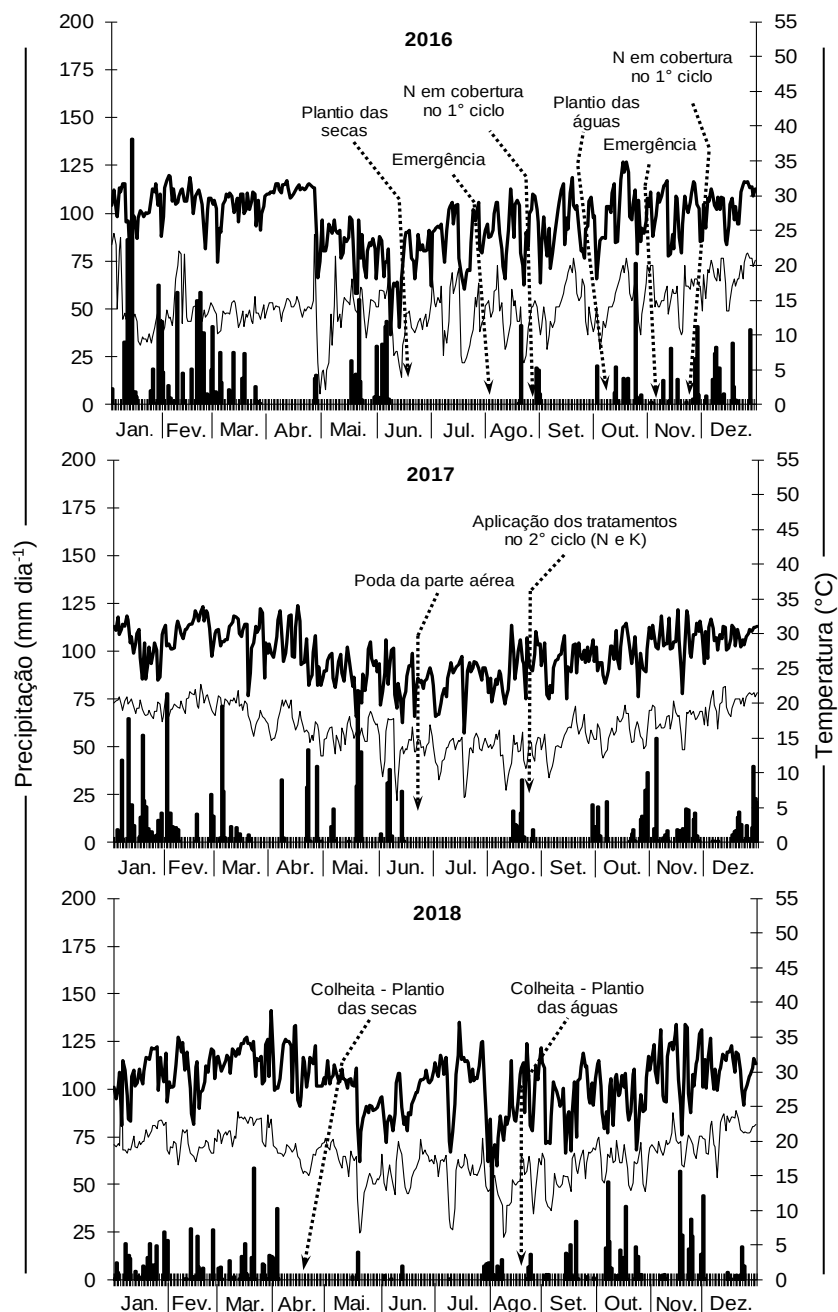
1.2 Material e Métodos

Foram conduzidos dois experimentos, um com plantio na época das secas (junho de 2016) e outro com plantio na época das águas (outubro de 2016). Nos dois experimentos a mandioca foi colhida com 22 meses de ciclo, ou seja, em abril e agosto de 2018, respectivamente.

1.2.1 Localização e características da área experimental

Os experimentos foram conduzidos na área experimental do Centro de Raízes e Amidos Tropicais (CERAT), localizada na Fazenda Experimental de São Manuel da FCA-UNESP, no município de São Manuel - SP (22° 77' S; 48° 57' W e altitude média de 740 m). O clima da região, conforme classificação de Köppen, é do tipo Cwa (tropical, com inverno seco e verão quente e chuvoso), com precipitação média anual de 1.398 mm e temperatura média anual de 20,9 °C. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (SANTOS et al., 2006), de textura arenosa. Na área foi cultivado milho durante a safrinha de 2014 e desde então a área permaneceu em pousio. Durante a condução da pesquisa foram coletados os dados de precipitação e temperaturas máxima e mínima (Figura 1).

Figura 1 – Precipitação pluvial (■) e temperaturas máximas (—) e mínimas (—) registradas, durante o período de janeiro de 2016 a dezembro de 2018.



1.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

Em ambos os experimentos (plantio da seca e das águas), o delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, no esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram representadas por quatro sistemas de manejo da poda e da aplicação de K em cobertura no segundo ciclo (CP-SK - com poda e sem K; CP-CK - com poda e com aplicação de 90 kg ha⁻¹ de K₂O;

SP-SK - sem poda e sem K; SP-CK - sem poda e com aplicação de 90 kg ha⁻¹ de K₂O). As subparcelas foram compostas por quatro doses de N aplicadas no segundo ciclo da mandioca (0, 50, 100 e 200 kg ha⁻¹ de N). Cada parcela foi composta de 5 linhas de 24 m de comprimento, e cada subparcela foi representada por 5 linhas de 6 metros de comprimento. A área útil das subparcelas foi representada pelas três fileiras centrais de plantas, descartando-se 0,5 m em ambas as extremidades de cada fileira.

1.2.3 Instalação e condução do experimento

Antes da instalação dos experimentos, em ambas as épocas, foram coletadas amostras de solo da área experimental, na profundidade de 0-0,20 m, para a determinação das características químicas (van RAIJ et al., 2001) (Tabela 1). O solo de ambas as áreas (Tabela 1) apresentava média disponibilidade inicial de K (Lorenzi et al., 1997).

Tabela 1 – Características químicas do solo na profundidade de 0-0,20 m das áreas de ambos os plantios de mandioca.

Características químicas	Plantio da seca (junho)	Plantio das águas (outubro)
pH (CaCl ₂)	5,2	5,2
M.O. (g dm ⁻³)	17,0	11,8
P _{resina} (mg dm ⁻³)	11,0	10,0
S (g dm ⁻³)	2,0	7,0
K (mmol _c dm ⁻³)	0,9	1,4
Ca (mmol _c dm ⁻³)	12	15
Mg (mmol _c dm ⁻³)	5	4
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	13	18
CTC (mmol _c dm ⁻³)	31	39
V (%)	58	53
B (mg dm ⁻³)	0,11	0,12
Cu (mg dm ⁻³)	1,3	1,2
Fe (mg dm ⁻³)	14	9
Mn (mg dm ⁻³)	8,6	4,2
Zn (mg dm ⁻³)	1,6	1,2

Para o plantio das manivas o solo foi preparado de forma convencional, realizando-se uma aração e uma gradagem niveladora, conforme recomendações de Souza et al. (2006). O material utilizado foi a cultivar IAC 14, sendo as manivas sementes retiradas do terço médio de plantas saudáveis com 12 meses de idade e com 20 cm de comprimento. O plantio foi realizado nos dias 17/06/2016 para a época da seca e 12/10/2016 para a época das águas. A profundidade de plantio foi de 10 cm,

com espaçamento de 1,0 m entre linhas e 0,80 m entre plantas, estimando uma população média de 12500 plantas ha⁻¹.

A adubação de plantio foi realizada no sulco, aplicando-se 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato triplo e 40 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio (KCl) de acordo com a análise de solo e as recomendações de Lorenzi et al. (1997).

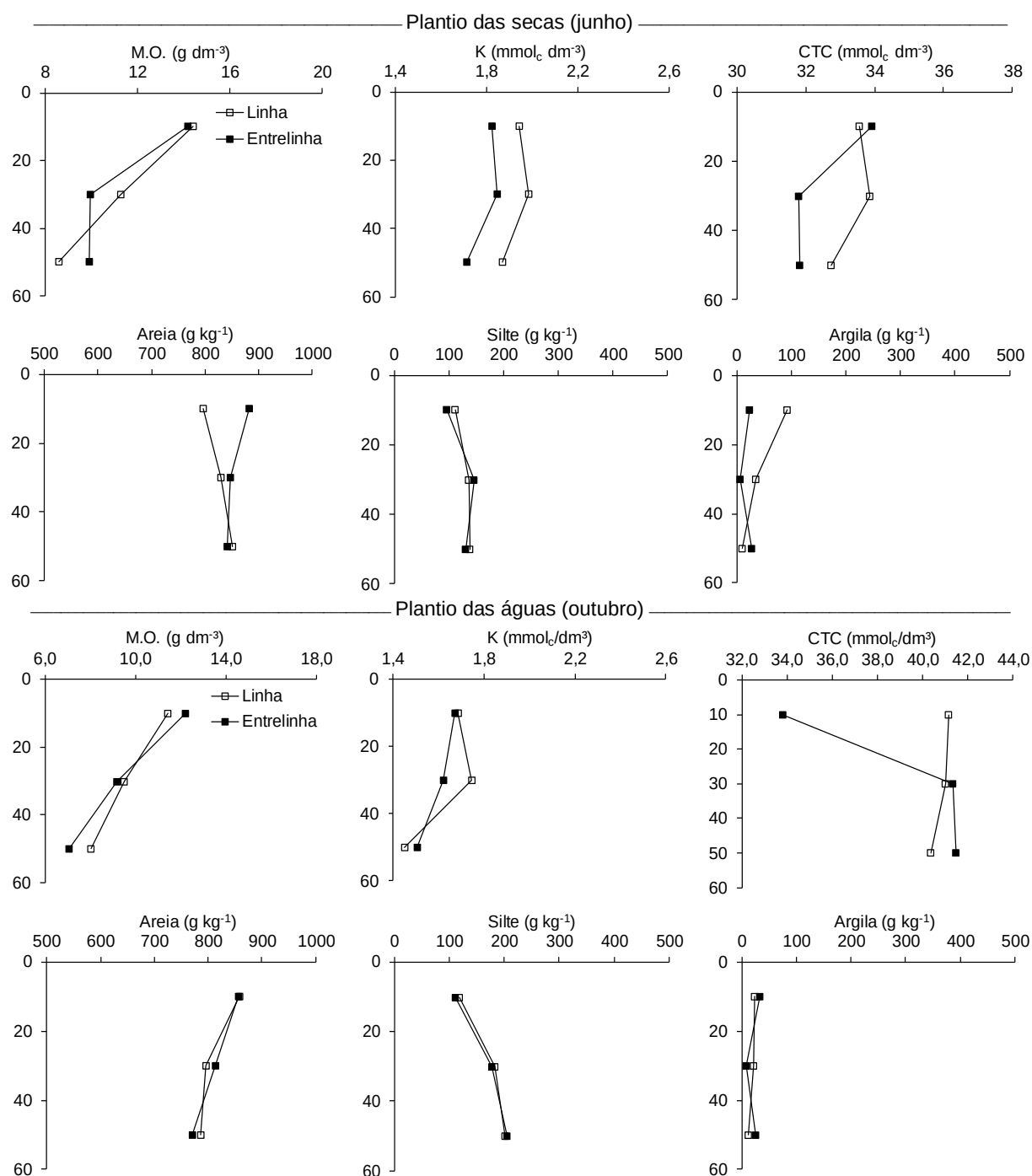
A emergência completa da mandioca no plantio da seca ocorreu em 01/08/2016 (45 dias após o plantio - DAP), devido às baixas temperatura e precipitação do período (Figura 1). Já no plantio das águas a emergência ocorreu em 11/11/2016, aos 30 DAP; porém, a brotação das manivas foi baixa e houve elevada precipitação no final de outubro de 2016 o que causou erosão superficial no solo das parcelas e reduziu a população de plantas pré-estabelecida. A adubação nitrogenada de cobertura no primeiro ciclo vegetativo da cultura foi realizada aos 25 e 20 dias após a emergência das secas e das águas, respectivamente, aplicando-se 40 kg ha⁻¹ de N (ureia) de acordo com as recomendações de Lorenzi et al. (1997). A adubação de cobertura no plantio da seca foi realizada atrasada por conta do atraso na emergência das plantas. O fertilizante foi aplicado na superfície do solo em filete contínuo distanciado aproximadamente 10 cm das fileiras de plantas.

A poda da parte aérea das plantas dos manejos CP-SK e CP-CK foi realizada em 26/06/2017 (12 e 8 meses após o plantio, para os plantios da seca e das águas, respectivamente), durante a fase de repouso fisiológico. Na região de Botucatu-SP e São Manuel a fase de repouso fisiológico em que se recomenda a realização da poda da parte aérea ocorre entre os meses de maio a julho (AGUIAR et al., 2011). A poda da parte aérea foi realizada a uma altura de 10 cm em relação à superfície do solo (LORENZI, 2003), com auxílio de um facão.

Antes da aplicação dos tratamentos foi realizada coleta de solo em 12 pontos das linhas e entrelinhas de plantas de cada bloco separadamente, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, as quais foram utilizadas para compor uma amostra composta por bloco (repetição). As amostras após secas foram analisadas quanto aos teores de matéria orgânica (M.O.), potássio, capacidade de troca de cátions (CTC) e teores de areia, silte e argila (Figura 2). A aplicação dos tratamentos referente à adubação nitrogenada e potássica do segundo ciclo foi realizada em 21 de agosto de 2017 (55 dias após a poda da parte aérea), quando reiniciaram as precipitações (Figura 1). Como fonte de N e K foram utilizados os fertilizantes ureia e cloreto de potássio, respectivamente.

Durante a condução dos experimentos, os tratos culturais, envolvendo controle de plantas daninhas, pragas e doenças, entre outros, foram realizados de acordo com a necessidade e as recomendações técnicas para a cultura da mandioca na região. A colheita da mandioca foi realizada em 18/04/2018 e 13/08/2018 (aproximadamente 22 meses de ciclo).

Figura 2 – Teores de matéria orgânica (M.O.) e potássio (K), capacidade de troca de cátions (CTC) e teores de areia, silte e argila na linha e entrelinha da mandioca em diferentes profundidades.



1.2.4 Avaliações

1.2.4.1 Diagnose foliar

Foi realizada coleta de folhas para avaliação da diagnose foliar nas plantas de mandioca aos quatro meses após o plantio, de acordo com as recomendações de Lorenzi et al. (1997). No segundo ciclo vegetativo da mandioca não há recomendação específica de coleta de folhas para fins de avaliação da diagnose foliar. Assim, para avaliar o efeito dos tratamentos no estado nutricional das plantas de mandioca no segundo ciclo, procedeu-se a coleta de folhas de acordo com a metodologia proposta por Lorenzi et al. (1997), porém, aos quatro meses após a poda da parte aérea (MAP). O material coletado foi lavado em água corrente e seco em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C por 96 horas. Em seguida, o material seco foi moído e submetido às determinações dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn (Malavolta et al., 1997).

1.2.4.2 Número de folhas, altura de plantas, área foliar e índice de área foliar no início do segundo ciclo (após a poda)

Aos quatro e oito MAP (dois e seis meses após a adubação dos tratamentos) foi quantificado o número de folhas por planta, a altura das plantas e a área foliar de todas as folhas de duas plantas da área útil das subparcelas, utilizando-se um medidor de área foliar (LI-COR, Area Meter LI-3100, Nebraska, USA). A altura das plantas foi considerada como a distância entre o solo e o ponto mais alto da planta. O índice de área foliar (IAF) foi calculado por meio da relação entre área foliar total por planta e a área do solo disponível para a planta, considerando o espaçamento entre plantas.

1.2.4.3 População final de plantas

A população final de plantas foi quantificada na véspera da colheita, considerando três linhas de 4 m de comprimento na área útil de cada subparcela, sendo os resultados convertidos em plantas ha⁻¹.

1.2.4.4 Número, comprimento, diâmetro e peso médio das raízes tuberosas

No momento da colheita foi realizada a contagem do número de raízes e a pesagem das raízes tuberosas de dez plantas da área útil de cada subparcela. Em seguida, de mais duas plantas da área útil de cada subparcela foi contado o número

de raízes por planta, feito a pesagem e medido o comprimento e o diâmetro das raízes tuberosas. O comprimento das raízes tuberosas foi determinado com fita métrica de uma extremidade a outra das raízes e o diâmetro foi determinado com paquímetro na região do terço médio das raízes. O peso médio das raízes foi calculado mediante a relação entre o peso total e o número total de raízes de cada planta. Foi considerado como raízes de padrão comercial aquelas que tinham comprimento e diâmetro superiores a 15 e 2,9 cm, respectivamente.

1.2.4.5 Produtividade de raízes tuberosas

A produtividade de raízes tuberosas foi determinada coletando-se todas as raízes das plantas de três linhas de 3,2 m da área útil de cada subparcela (± 12 plantas). As raízes foram destacadas das plantas, escovadas e pesadas. Os valores obtidos junto com os dados de população de plantas foram utilizados para o cálculo da produtividade de raízes frescas.

1.2.4.6 Porcentagem de matéria seca (MS) nas raízes tuberosas

A porcentagem de MS nas raízes tuberosas foi determinada em uma amostra de raízes tuberosas de cada subparcela experimental. As raízes foram coletadas aleatoriamente, pesadas (peso fresco), fatiadas e secas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C até peso constante, e pesadas para o cálculo da porcentagem de MS.

1.2.4.7 Teor de amido nas raízes tuberosas e produtividade de amido

No material utilizado para determinação do teor de MS nas raízes foi também determinado o teor de amido pela hidrólise enzimática, seguido da determinação dos açúcares de acordo com a metodologia de Somogyi, adaptada por Nelson (1944). Em seguida, os teores de açúcares foram convertidos em teores de amido pela multiplicação dos valores pelo fator 0,9. O teor de amido foi determinado nas amostras secas e os resultados foram convertidos para teor de amido na matéria fresca. A produtividade de amido foi calculada multiplicando-se o teor de amido nas raízes frescas pela produtividade de raízes tuberosas.

1.2.4.8 Rendimento e produtividade de farinha

O rendimento de farinha foi calculado utilizando a metodologia proposta por Fukuda e Caldas (1987), empregando-se a equação 1.

$$y=2,57567+0,0752613x \quad (1)$$

Onde: y = é a porcentagem de farinha, e x = é o peso (g) de 3 kg de raiz na água obtido pelo método da balança hidrostática.

A produtividade de farinha foi calculada multiplicando-se o rendimento de farinha (%) pela produtividade de raízes tuberosas (kg ha⁻¹).

1.2.5 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância separadamente por experimento. As médias dos tratamentos referentes aos manejos da poda da parte aérea e dos níveis de K foram comparadas pelo teste LSD a 5% de probabilidade. Os efeitos das doses de N foram avaliados por análise de regressão, adotando-se como critério para escolha do modelo a magnitude dos coeficientes de regressão significativos a 5% de probabilidade pelo teste F. Os coeficientes de correlação de Pearson foram calculados entre as variáveis analisadas para determinar as relações do índice de área foliar (IAF), produtividade de raízes, amido e farinha com os componentes de produção.

1.3 Resultados e discussão

1.3.1 Diagnose foliar no 1º e no 2º ciclo vegetativo

Na avaliação da diagnose foliar do primeiro ciclo vegetativo da mandioca aos quatro meses após o plantio, os tratamentos ainda não tinham sido aplicados. Nesta avaliação, em ambas as épocas de plantio, os teores de nutrientes nas folhas variaram de 45 a 51 g kg⁻¹ para o N, 3,8 a 5,0 g kg⁻¹ para o P, 15 a 16 g kg⁻¹ para o K, 3,4 a 3,7 g kg⁻¹ para o Ca, 2,2 a 3,1 g kg⁻¹ para o Mg, 2,7 a 3,5 g kg⁻¹ para o S, 35 a 39 mg kg⁻¹ para o B, 4,1 a 5,0 mg kg⁻¹ para o Cu, 120 a 151 mg kg⁻¹ para o Fe, 52 a 137 mg kg⁻¹ para o Mn, 36 a 54 mg kg⁻¹ para o Zn.

Os teores foliares de N, P, K, Mg, B, Fe e Zn no primeiro ciclo vegetativo da mandioca (quatro meses após o plantio) ficaram dentro dos valores estabelecidos como adequados por Lorenzi et al. (1997), o que indica que a adubação do primeiro ciclo vegetativo da mandioca nutriu adequadamente as plantas. Lorenzi et al. (1997)

atribuem como adequadas as faixas de teores de 45-60 g kg⁻¹ para o N, 2-5 g kg⁻¹ para o P, 10-20 g kg⁻¹ para o K, 2-5 g kg⁻¹ para o Mg, 15-50 mg kg⁻¹ para o B, 60-200 mg kg⁻¹ para o Fe e 35-100 mg kg⁻¹ para o Zn. Os teores foliares de Ca, S e Cu ficaram dentro e/ou abaixo da faixa estabelecida como adequada por Lorenzi et al. (1997) que é de 5-15 g kg⁻¹ para o Ca, 3-4 g kg⁻¹ para o S e 5-25 mg kg⁻¹ para o Cu; porém, não se constatou sintomas de deficiências ou redução do crescimento das plantas, até porque os teores de Ca e S no solo (Tabela 1) eram considerados médio-altos e os de Cu eram altos (van RAIJ et al., 1997). O Mn apresentou teores até superiores ao limite estabelecido por Lorenzi et al. (1997), mesmo com as concentrações no solo não estando altas (Tabela 1) (van RAIJ et al., 1997). Porém, apesar dos teores foliares mais elevados de Mn não se verificou sintomas de toxidez nas plantas.

O teor de N na folha diagnose no segundo ciclo vegetativo da mandioca aos quatro MAP foi afetado pelos fatores isolados no plantio das águas e apenas pelas doses de N no plantio da seca (Tabela 2). No plantio das águas, o teor de N nas folhas das plantas podadas não foi alterado pela aplicação de K, mas as plantas podadas que receberam aplicação de K apresentaram teor de N nas folhas maior do que nas plantas sem poda. O que pode ter ocorrido pelo fato de que parte do N absorvido fica também nas hastes das plantas. O menor teor de N nas folhas foi obtido nas plantas sem poda e que não receberam K. A aplicação de N aumentou os teores de N nas folhas de mandioca até a maior dose de N estudada nos plantios da seca e das águas (Figura 3a).

Houve efeito isolado dos fatores estudados, em relação ao teor de P e K na folha da mandioca nos dois plantios (Tabela 2). Nas duas épocas de plantio, as plantas podadas apresentaram maior teor de P nas folhas do que a plantas sem poda, independente da aplicação de K. No plantio da seca, o maior teor de K na folha ocorreu nas plantas podadas e que receberam K e o menor teor foi obtido nas plantas sem poda e sem fornecimento de K. No plantio das águas, o teor de K nas folhas das plantas podadas não diferiu, mas as plantas podadas que receberam K apresentaram teores foliares maiores do que os das plantas sem poda. O teor de P nas folhas da mandioca aumentou de forma quadrática até a maior dose de N estudada no plantio da seca e de forma linear no plantio das águas (Figura 3b). Nas duas épocas de plantio houve aumento linear no teor de K das folhas com o aumento das doses de N (Figura 3c).

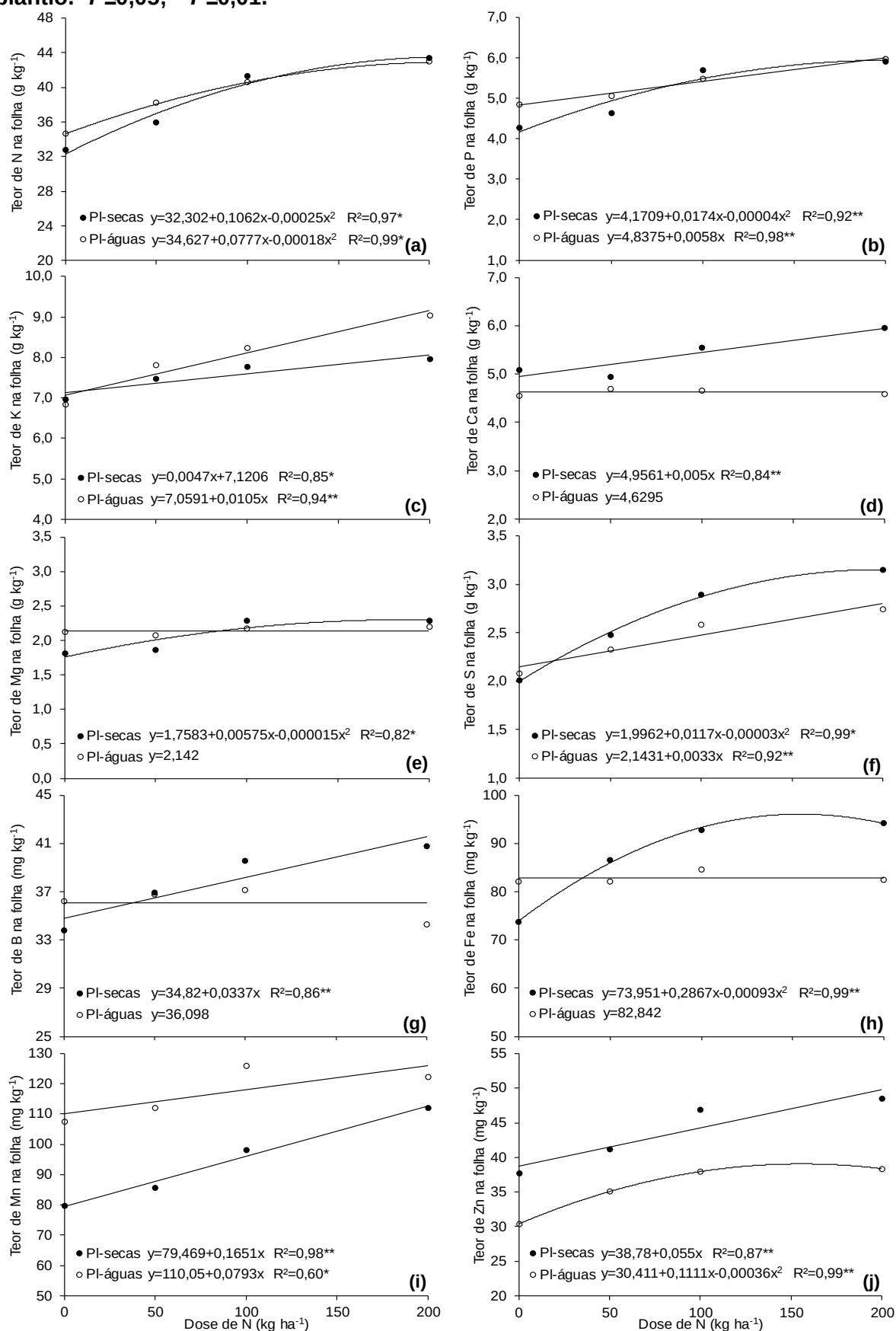
Tabela 2 - Concentrações de nutrientes no limbo foliar das folhas mais jovens totalmente expandidas aos quatro meses após a poda da parte aérea da cultura da mandioca em resposta ao manejo da poda e da aplicação de K e de doses de N em duas épocas de plantio, e análise de variância.

Variáveis	Manejos ⁽¹⁾				ANOVA (P>F)		
	CP-SK	CP-CK	SP-SK	SP-CK	Manejo (M)	Dose N (N)	M x N
Plantio da seca (junho)							
Teor de N (g kg ⁻¹)	38,6a	40,3a	37,1a	37,2a	NS	<0,0001	NS
Teor de P (g kg ⁻¹)	5,5a	5,9a	4,5b	4,6b	0,0014	<0,0001	NS
Teor de K (g kg ⁻¹)	7,6b	8,2a	6,9c	7,5b	0,0072	0,0017	NS
Teor de Ca (g kg ⁻¹)	5,2b	5,0b	5,9a	5,5ab	0,0347	0,0112	NS
Teor de Mg (g kg ⁻¹)	2,1a	2,0a	2,1a	2,1a	NS	<0,0001	NS
Teor de S (g kg ⁻¹)	2,7a	2,8a	2,4a	2,7a	NS	<0,0001	NS
Teor de B (mg kg ⁻¹)	38,1ab	40,0a	36,3b	36,8ab	0,0500	<0,0001	NS
Teor de Cu (mg kg ⁻¹)	3,8a	4,2a	3,6a	3,7a	NS	NS	NS
Teor de Fe (mg kg ⁻¹)	79,9b	74,8b	93,0a	99,6a	0,0002	0,0004	NS
Teor de Mn (mg kg ⁻¹)	80,8b	88,8ab	104,1a	102,0a	0,0213	<0,0001	NS
Teor de Zn (mg kg ⁻¹)	42,1a	45,6a	42,8a	43,8a	NS	<0,0001	NS
Plantio das águas (outubro)							
Teor de N (g kg ⁻¹)	40,7ab	41,4a	35,2c	38,8b	0,0002	<0,0001	NS
Teor de P (g kg ⁻¹)	5,7a	6,0a	4,5c	5,2b	<0,0001	0,0003	NS
Teor de K (g kg ⁻¹)	8,3ab	9,1a	6,9c	7,6bc	0,0297	<0,0001	NS
Teor de Ca (g kg ⁻¹)	4,0b	4,2b	5,1a	5,3a	0,0001	NS	NS
Teor de Mg (g kg ⁻¹)	2,1b	2,1b	2,1b	2,3a	0,0222	NS	NS
Teor de S (g kg ⁻¹)	2,6a	2,6a	2,3ab	2,2b	0,0481	0,0003	NS
Teor de B (mg kg ⁻¹)	35,0a	35,0a	37,5a	37,0a	NS	NS	NS
Teor de Cu (mg kg ⁻¹)	3,9a	4,1a	2,9b	3,6ab	0,0241	<0,0001	0,0418
Teor de Fe (mg kg ⁻¹)	76,6bc	70,0c	84,6b	100,1a	0,0001	NS	NS
Teor de Mn (mg kg ⁻¹)	105,2bc	116,7b	103,6c	142,4a	0,0002	0,041	NS
Teor de Zn (mg kg ⁻¹)	34,3ab	37,5a	31,8b	38,2a	0,0407	0,0003	NS

Valores seguidos pelas mesmas letras nas linhas não diferem entre si pelo teste LSD ($P \leq 0,05$). NS: não significativo. ⁽¹⁾ CP-SK = com poda e sem K; CP-CK = com poda e com 90 kg ha⁻¹ de K₂O; SP-SK = sem poda e sem K; SP-CK = sem poda e com 90 kg ha⁻¹ de K₂O.

O teor de Ca nas folhas teve influência dos fatores isolados no plantio da seca e apenas das formas de manejo no plantio das águas (Tabela 2). No plantio das águas, o teor de Ca nas folhas das plantas sem poda foi maior do que nas plantas podadas independente da aplicação de K, mas no plantio das secas apenas as plantas sem poda e que não receberam K apresentaram teores foliares de Ca superiores aos das plantas podadas. No plantio da seca o teor de Ca nas folhas aumentou linearmente com as doses de N (Figura 3d).

Figura 3 – Concentrações de nutrientes no limbo foliar das folhas mais jovens totalmente expandidas aos quatro meses após a poda da parte aérea da cultura da mandioca em resposta à aplicação de doses de N em cobertura em duas épocas de plantio. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$.



Os teores de Mg e S foram influenciados apenas pelas doses de N no plantio da seca (Tabela 2). No plantio das águas, o Mg teve influência do manejo e o S dos fatores isolados. No plantio da seca, a aplicação de N aumentou o teor de Mg e S nas folhas da mandioca até as doses estimadas de 192 e 195 kg ha⁻¹ de N, respectivamente (Figuras 3e e 3f). Porém, no plantio das águas o teor de S aumentou de forma linear com a adubação nitrogenada.

De modo geral, a poda da parte aérea das plantas, principalmente quando associada com o fornecimento de K aumentou os teores foliares de N, P e K das plantas em relação às plantas sem poda. Porém, em geral, as plantas manejadas sem a poda da parte aérea apresentaram teores foliares de Ca, Fe e Mn maiores do que as plantas podadas. Com exceção do Cu, o fornecimento de N no início do segundo ciclo vegetativo aumentou os teores foliares de todos os nutrientes nas folhas da mandioca plantada na estação seca, o que também ocorreu no plantio da estação chuvosa, exceto para os nutrientes B e Fe. Isso mostra que o fornecimento de N nessa fase da cultura melhorou o estado nutricional das plantas.

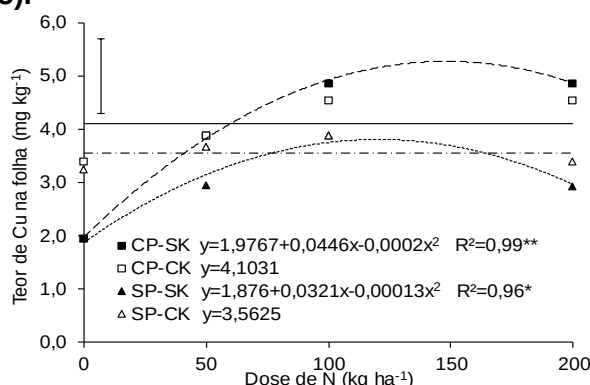
Em ambos os plantios, os teores de N, K e S nas folhas durante o segundo ciclo vegetativo da cultura ficaram abaixo da faixa de teores proposta como adequada para a cultura no primeiro ciclo vegetativo, a qual varia de 45 a 60 g kg⁻¹ para o N, 10 a 20 para o K e 3 a 4 g kg⁻¹ para o S (LORENZI et al., 1997). No entanto, em ambos os plantios, os teores de P, Ca e Mg ficaram dentro da faixa considerada como adequada para as plantas no primeiro ciclo vegetativo, que é de 2 a 5 g kg⁻¹ para o P, 5 a 15 g kg⁻¹ para o Ca e 2 a 5 g kg⁻¹ para o Mg (LORENZI et al., 1997) (Tabela 2). Estes resultados mostram que os teores de N, K e S nas folhas das plantas no início do segundo ciclo vegetativo considerados como adequados não são os mesmos do início do primeiro ciclo vegetativo, uma vez que não houve deficiência no fornecimento de N e K e os teores de S no solo não eram baixos (Tabela 1) (van RAIJ et al., 1997).

Em relação aos micronutrientes, não houve influência dos fatores estudados sobre os teores de Cu nas folhas da mandioca plantada no período seco e sobre os teores B nas folhas da mandioca plantada na estação chuvosa, os quais foram em média de 3,8 e 37,8 mg kg⁻¹, respectivamente (Tabela 2). No plantio da seca, os teores foliares de B, Fe e Mn foram afetados pelos fatores isolados. Os teores foliares de B nas plantas podadas e que receberam K foram maiores do que nas plantas sem poda e sem fornecimento de K. Já os teores foliares de Fe e Mn, em geral, foram maiores nas plantas que não tiveram sua parte aérea podada. A adubação nitrogenada aumentou

linearmente os teores B e Mn nas folhas das plantas plantadas na época seca, enquanto o teor de Fe aumentou até a dose de 154 kg ha⁻¹ de N (Figuras 3g, 3h e 3i).

No plantio das águas, o teor de Cu nas folhas foi afetado pelos fatores isolados e pela interação entre eles, os teores de Fe foram influenciados pelas formas de manejo, enquanto os teores foliares de Mn foram influenciados pelos fatores isolados (Tabela 2). As plantas que receberam K no segundo ciclo, independentemente da poda, não tiveram seus teores foliares de Cu afetados pela adubação nitrogenada, mas quando não houve o fornecimento de K a adubação nitrogenada aumentou os teores de Cu nas folhas até as doses de 112 e 123 kg ha⁻¹ de N nas plantas podadas e sem poda, respectivamente (Figura 4). Assim, principalmente na ausência da adubação nitrogenada as plantas que não receberam K apresentaram teores foliares de Cu inferiores aos dos demais tratamentos.

Figura 4 – Teor de Cu no limbo foliar das folhas mais jovens totalmente expandidas aos quatro meses após a poda da parte aérea da cultura da mandioca em resposta à aplicação de doses de N em cobertura no plantio das águas. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$. CP-SK = com poda e sem K; CP-CK = com poda e com 90 kg ha⁻¹ de K₂O; SP-SK = sem poda e sem K; SP-CK = sem poda e com 90 kg ha⁻¹ de K₂O. Barra vertical indica o valor de DMS pelo teste LSD ($P \leq 0,05$).



Os maiores teores foliares de Fe e Mn ocorreram nas plantas sem poda e que receberam K, enquanto os menores teores de Fe foram obtidos nas folhas das plantas podadas e que receberam K e os menores teores de Mn ocorreram nas plantas podadas e sem K (Tabela 2). A adubação nitrogenada aumentou linearmente os teores de Mn nas folhas das plantas do plantio das águas (Figura 3i).

O teor foliar de Zn foi influenciado pelas doses de N no plantio da seca e pelos fatores isolados no plantio das águas (Tabela 2). No plantio das águas, os teores foliares de Zn nos manejos que receberam aplicação de K no segundo ciclo (CP-CK e SP-CK) foram maiores do que no manejo em que a mandioca não foi podada e não

recebeu fornecimento de K (SP-SK). A adubação nitrogenada aumentou os teores foliares de Zn até a dose de 154 kg ha⁻¹ de N no plantio das águas e de forma linear no plantio das secas (Figura 3j).

Os teores de B, Fe, Mn e Zn nas duas épocas de plantio ficaram dentro da faixa proposta como adequada para o primeiro ciclo de cultivo da cultura da mandioca, que é de 15 a 50, 5 a 25 e 60 a 200 mg kg⁻¹, respectivamente (LORENZI et. al., 1997). Somente o Cu ficou abaixo da faixa estabelecida como adequada para o primeiro ciclo da mandioca, que é de 5 a 25 mg kg⁻¹ (LORENZI et. al., 1997) (Tabela 2), mas não pode-se dizer que os tratamentos causaram deficiência de Cu ou que as plantas tiveram limitação no fornecimento de Cu.

1.3.2 Número de folhas, altura de planta, área foliar e índice de área foliar no início do segundo ciclo (após a poda)

A altura das plantas teve influência dos fatores isolados aos quatro e oito MAP no plantio da seca, e somente das formas de manejo no plantio das águas (Tabela 3). Nas duas épocas de plantio a altura de plantas, avaliada aos quatro e oito MAP, foi maior nas plantas que não foram podadas na fase de repouso fisiológico, independente da aplicação de K. Porém, a mandioca teve crescimento de parte aérea mais acelerado nesse intervalo de quatro meses nas plantas podadas, independente do fornecimento de K, em relação às não podadas. Esse efeito era esperado, tendo em vista que a poda estimula o crescimento da parte aérea. Porém, embora tenha sido empregado um tipo de poda drástica, com remoção de toda a copa, o menor peso das ramificações e as folhas novas não conseguiram superar o vigor de crescimento da parte aérea das plantas não podadas, concordando com os dados de Oliveira et al. (2010). No plantio da seca, a aplicação de N aumentou de forma linear a altura das plantas de mandioca nas avaliações feitas aos quatro e oito MAP (Figura 5a). O N aplicado no primeiro ciclo vegetativo normalmente aumenta a altura das plantas (CARDOSO JÚNIOR et al., 2005; UWAH et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2017; THUMMANATSAKUN; YAMPRACHA, 2018), mas os resultados obtidos também mostram que o seu fornecimento no segundo ciclo vegetativo da mandioca aumenta a altura das plantas plantadas na estação seca.

Em ambos os plantios, o número de folhas por planta aos quatro MAP foi influenciado pela interação entre os fatores estudados, mas aos oito MAP houve influência apenas dos fatores isolados sobre esta variável (Tabela 3). No plantio da

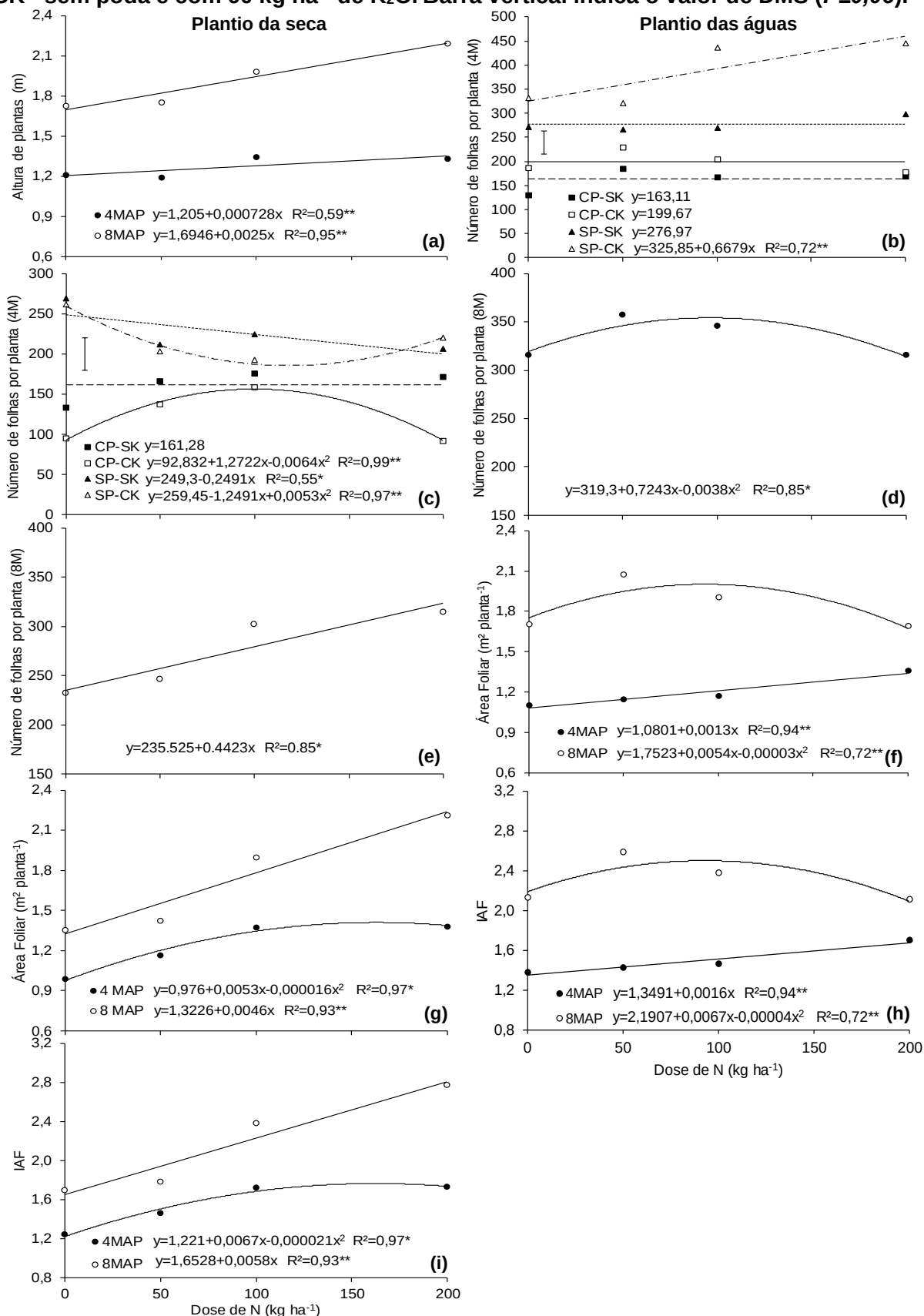
seca, o número de folhas aos quatro MAP não foi influenciado pela adubação nitrogenada quando se realizou a poda das plantas sem fornecer K, mas quando houve fornecimento de K as plantas podadas aumentaram o número de folhas até a dose de 99 kg ha⁻¹ de N (Figura 5c). No entanto, nas plantas manejadas sem a poda da parte aérea a adubação nitrogenada reduziu linearmente número de folhas das plantas sem fornecimento de K e até a dose de 118 kg ha⁻¹ de N nas plantas fertilizadas com K. Assim, na dose de 100 kg ha⁻¹ de N o número de folhas por planta foi muito similar entre os manejos estudados, mas na menor e na maior dose de N as plantas não podadas apresentaram maior número de folhas.

Tabela 3 – Altura de plantas, número de folhas por planta, área foliar por planta e índice de área foliar da cultura da mandioca em resposta ao manejo da poda e da aplicação de K e de doses de N em duas épocas de plantio, e análise de variância.

Variáveis	Manejos ⁽¹⁾				ANOVA (P>F)		
	CP-SK	CP-CK	SP-SK	SP-CK	Manejo (M)	Dose N (N)	M x N
Plantio da seca (junho)							
4 meses após a poda							
Altura de plantas (m)	0,89b	0,88b	1,68a	1,62a	<0,0001	0,0082	NS
Nº de folhas por planta	161,3b	120,5c	227,6a	219,4a	<0,0001	NS	0,0001
Área foliar (m ²)	1,2ab	1,1b	1,4a	1,3a	0,0129	0,0002	NS
IAF	1,5ab	1,3b	1,7a	1,6a	0,0128	0,0002	NS
8 meses após a poda							
Altura de plantas (m)	1,63b	1,70b	2,17a	2,15a	0,0013	<0,0001	NS
Nº de folhas por planta	245,1b	220,7b	317,7a	313,4a	0,0028	<0,0001	NS
Área foliar (m ²)	1,8ab	1,5b	1,9a	1,7ab	0,0434	<0,0001	NS
IAF	2,2ab	1,9b	2,4a	2,1ab	0,0440	<0,0001	NS
Plantio das águas (outubro)							
4 meses após a poda							
Altura de plantas (m)	0,69b	0,76b	1,22a	1,21a	<0,0001	NS	NS
Nº de folhas por planta	163,1d	199,7c	277,0b	384,3a	<0,0001	0,0041	0,0004
Área foliar (m ²)	1,0c	1,2b	1,2b	1,4a	0,001	0,0029	NS
IAF	1,2c	1,5b	1,5b	1,8a	0,001	0,0028	NS
8 meses após a poda							
Altura de plantas (m)	1,47b	1,44b	1,70a	1,75a	0,0046	NS	NS
Nº de folhas por planta	286,0b	259,1b	390,9a	397,6a	<0,0001	0,0431	NS
Área foliar (m ²)	1,7b	1,6b	2,0a	2,1a	0,0165	0,0128	NS
IAF	2,1b	2,1b	2,5a	2,6a	0,0171	0,0127	NS

Valores seguidos pelas mesmas letras nas linhas não diferem entre si pelo teste de LSD ($P \leq 0,05$). NS: não significativo. ⁽¹⁾ CP-SK = com poda e sem K; CP-CK = com poda e com 90 kg ha⁻¹ de K₂O; SP-SK = sem poda e sem K; SP-CK = sem poda e com 90 kg ha⁻¹ de K₂O.

Figura 5 – Altura (a), número de folhas (b, c, d, e), área foliar (f, g) e índice de área foliar (h, i) da cultura da mandioca plantada na seca (a, c, e, g, i) e nas águas (b, d, f, h) em resposta às doses de N. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$. MAP: meses após a poda. CP-SK= com poda e sem K; CP-9CK= com poda e com 90 kg ha⁻¹ de K₂O; SP-SK= sem poda e sem K; SP-CK= sem poda e com 90 kg ha⁻¹ de K₂O. Barra vertical indica o valor de DMS ($P \leq 0,05$).



No plantio das águas, o número de folhas por planta aos 4 MAP aumentou de forma linear com as doses de N somente no manejo sem poda e com aplicação de K, enquanto que nas demais formas de manejo a adubação nitrogenada não alterou o número de folhas por planta (Figura 5b). Dessa forma, somente nas maiores doses de N as plantas conduzidas sem poda e com fornecimento de K obtiveram maior número de folhas que todos os demais tratamentos.

Aos oito MAP de ambos os plantios, o número de folhas por planta nas plantas sem poda foi maior do que nas plantas podadas, independente da aplicação de K (Tabela 3). Esse resultado ocorreu porque as plantas podadas gastam energia para emitir novas e folhas e também hastes, enquanto as plantas não podadas o gasto de energia da planta foi somente para emissão de novas folhas nesse período após a poda da parte aérea. O número de folhas por planta aos oito MAP aumentou de forma linear com as doses de N no plantio da seca e até a dose estimada de 95 kg ha⁻¹ de N no plantio das águas (Figuras 5e e 5d).

A área foliar (AF) e o índice de área foliar (IAF) foram influenciados pelos fatores isolados na avaliação realizada aos quatro e oito MAP das duas épocas de plantio (Tabela 3). Na avaliação realizada aos quatro MAP do plantio da seca, as plantas manejadas sem poda, independente da aplicação de K, apresentaram maior AF e IAF do que as plantas podadas que receberam K. Porém, aos oito MAP os maiores valores de AF e IAF ocorreram nas plantas sem poda e sem aplicação de K, enquanto os menores valores foram obtidos nas plantas conduzidas com poda e com aplicação de K. No plantio das águas a AF e o IAF aos quatro MAP nas plantas sem poda e que receberam K foram maiores do que nos outros tratamentos, e os menores valores de AF e IAF ocorreram nas plantas podadas e sem aplicação de K. No entanto, aos oito MAP as plantas sem poda, independente do fornecimento de K, apresentaram maior AF e IAF que os manejos com poda da parte aérea. O que pode ser explicado pelo fato de as plantas podadas apresentarem maior gasto de energia para reconstituição de novas hastes e folhas.

Esse comportamento foi contrário aos indícios de que plantas que são podadas no período de repouso fisiológico têm maior desenvolvimento do IAF no segundo ciclo vegetativo quando em comparação com plantas conduzidas sem a poda da parte aérea (LORENZI, 2003). Por outro lado, pode haver variação do índice de área foliar de plantas de mandioca como resultado da vulnerabilidade da área foliar por fatores ambientais e fisiológicos (LOPES et al., 2010). Vale salientar que os resultados do

presente estudo concordam com os de outros autores, de que as plantas podadas na fase de repouso fisiológico apresentam no segundo ciclo vegetativo desenvolvimento mais rápido e vigoroso das novas brotações (NORMANHA; PEREIRA, 1962; CONCEIÇÃO, 1981), uma vez que, em média, a altura das plantas podadas, aos 8 MAP, foi somente 16 a 23% menor do que nas plantas sem poda. Porém, apesar do rápido crescimento das novas brotações, o crescimento aéreo das plantas podadas não superou o das plantas manejadas sem a poda da parte aérea, tal como relatado por OLIVEIRA et al. (2010).

No plantio da seca, a aplicação de N aumentou a AF e o IAF na avaliação realizada aos 4 MAP até as doses estimadas de 166 e 160 kg ha⁻¹ de N, respectivamente (Figuras 5g e 5i). Porém, na avaliação feita aos 8 MAP a aplicação de N aumentou linearmente a AF e o IAF das plantas de mandioca. Já no plantio das águas, a aplicação de N aumentou a AF e o IAF de forma linear na avaliação feita aos 4 MAP, e aos 8 MAP os aumentos ocorreram até as doses estimadas de 90 e 84 kg ha⁻¹ de N, respectivamente (Figuras 5f e 5h). De acordo com outros autores, o N aumenta o crescimento em geral das plantas de mandioca (HOWELER, 2002; KAWEEWONG et al., 2013), o acúmulo de biomassa fresca na parte aérea (OLIVEIRA et al., 2017) e o IAF das plantas (HOWELER, 2002; KAWEEWONG et al., 2013). No entanto, a poda da parte aérea ou o fornecimento de K não potencializaram o efeito da adubação nitrogenada sobre a recomposição da área foliar das plantas, mas ficou evidente que a adubação nitrogenada proporciona maior reestabelecimento da AF e do IAF das plantas de mandioca no segundo ciclo vegetativo (Figura 5). Os valores de IAF do primeiro ciclo vegetativo considerados como adequados para a obtenção de alta produtividade de raízes na cultura da mandioca variam de 3,0 a 3,5 (COCK et al., 1979), os quais são superiores aos obtidos no segundo ciclo vegetativo da cultura neste estudo.

1.3.3 Avaliações biométricas, componentes de produção e produtividade da mandioca

Na colheita, a população final de plantas não teve influência de nenhum dos fatores estudados em ambos plantios (Tabela 4), o que era esperado tendo em vista que os tratamentos foram aplicados no segundo ciclo vegetativo da cultura, ou seja, quando as plantas já estavam estabelecidas no campo. A população de plantas foi em média 12.617 e 5.076 plantas por hectare no plantio da seca e das águas,

respectivamente. No plantio das águas, a brotação das manivas foi baixa e houve elevada precipitação na fase inicial do ciclo da cultura o que causou erosão nas parcelas, sendo que ambos os fatores contribuíram para reduzir a população de plantas.

Tabela 4 – População final de plantas, número de raízes por planta, comprimento, diâmetro, peso médio e produtividade de raízes, teor de matéria seca (MS) e amido nas raízes, produtividade de amido, rendimento e produtividade de farinha da cultura da mandioca em resposta ao manejo da poda e da aplicação de K e de doses de N em duas épocas de plantio, e análise de variância.

Variáveis	Manejos ⁽¹⁾				ANOVA (P>F)		
	CP-SK	CP-CK	SP-SK	SP-CK	Manejo (M)	Dose N (N)	M x N
Plantio da seca (junho)							
População final (pl ha ⁻¹)	12708a	12813a	12552a	12396a	NS	NS	NS
Nº de raízes por planta	6,8bc	6,4c	7,1ab	7,5a	0,0043	NS	NS
Comp. de raízes (cm)	29,2a	29,3a	28,0a	28,3a	NS	NS	NS
Diâm. de raízes (cm)	5,8a	5,6a	5,5a	5,8a	NS	0,0008	NS
Peso de raízes (g)	552,0a	568,6a	571,6a	564,3a	NS	<0,0001	NS
Produtiv. raízes (t ha ⁻¹)	46,5a	46,6a	51,0a	52,2a	NS	<0,0001	NS
Teor de MS na raiz (%)	42,9a	43,5a	43,2a	43,6a	NS	0,0500	NS
Teor de amido na raiz (% MF)	35,3a	35,6a	36,5a	34,7a	NS	NS	NS
Produtiv. amido (t ha ⁻¹)	16,4a	16,7a	18,6a	18,2a	NS	<0,0001	NS
Rendim. farinha (%)	34,7a	35,8a	34,7a	35,0a	NS	0,0469	NS
Produtiv. farinha (t ha ⁻¹)	16,2a	16,7a	17,6a	18,3a	NS	<0,0001	NS
Plantio das águas (outubro)							
População final (pl ha ⁻¹)	5208a	5208a	4983a	4905a	NS	NS	NS
Nº de raízes por planta	6,8a	6,9a	7,2a	6,8a	NS	0,0232	NS
Comp. de raízes (cm)	26,3a	25,4a	27,8a	25,4a	NS	NS	NS
Diâm. de raízes (cm)	6,0a	5,6a	5,7a	5,8a	NS	NS	NS
Peso de raízes (g)	663,2a	637a	698a	736,7a	NS	NS	NS
Produtiv. raízes (t ha ⁻¹)	23,1a	22,7a	24,4a	24,2a	NS	0,0016	NS
Teor de MS na raiz (%)	42,9a	44,0a	44,0a	42,8a	NS	NS	NS
Teor de amido na raiz (% MF)	37,1b	39,4ab	41,1a	38,4ab	0,05	NS	NS
Produtiv. amido (t ha ⁻¹)	8,6b	8,9b	10,0a	9,3ab	0,0463	0,0152	NS
Rendim. farinha (%)	32,6b	33,3ab	33,9a	32,3b	0,0474	NS	NS
Produtiv. farinha (t ha ⁻¹)	7,5a	7,6a	8,3a	7,8a	NS	0,0021	NS

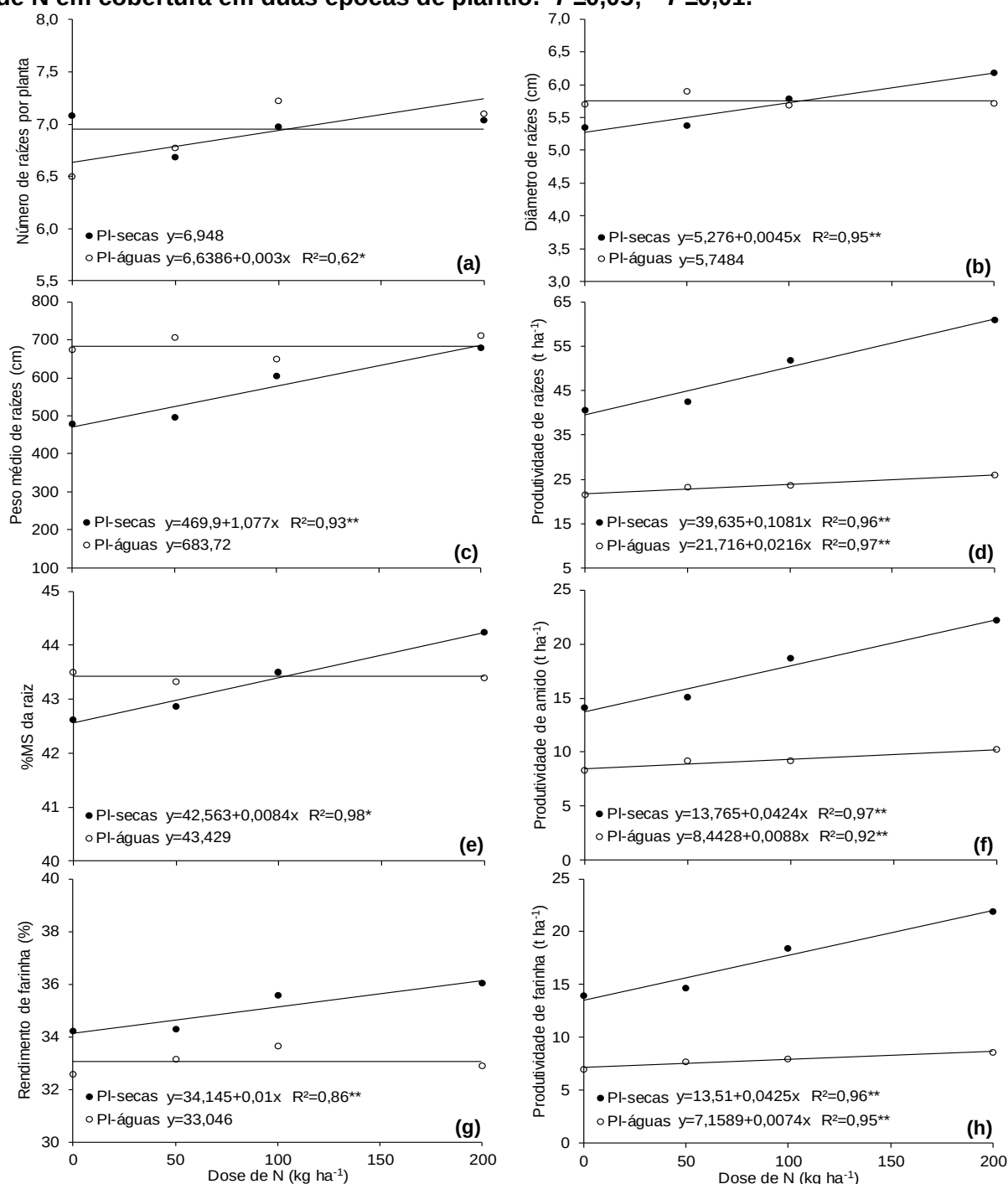
Valores seguidos pelas mesmas letras nas linhas não diferem entre si pelo teste de LSD ($P \leq 0,05$). NS: não significativo. ⁽¹⁾ CP-SK = com poda e sem K; CP-CK = com poda e com 90 kg ha⁻¹ de K₂O; SP-SK = sem poda e sem K; SP-CK = sem poda e com 90 kg ha⁻¹ de K₂O.

O número de raízes por planta foi influenciado pelas formas de manejo no plantio da seca e pelas doses de N no plantio das águas (Tabela 4). No plantio da seca, as plantas sem poda, principalmente aquelas que receberam K, produziram maior

número de raízes por planta do que as plantas submetidas à poda da parte aérea. As raízes fibrosas, que atuam na absorção de água e nutrientes, crescem logo no início do primeiro ciclo vegetativo da mandioca e algumas dessas raízes se tornam posteriormente raízes de reserva (ALVES, 2006), sendo estabelecido o número de raízes por planta durante a fase de tuberização, que ocorre entre 2 e 6 MAP durante o primeiro ciclo vegetativo da mandioca (TERNES, 2002; LORENZI, 2003; ALVES, 2006). Porém, isso não quer dizer que todas as raízes que se diferenciaram nessa fase atingirão o padrão comercial para a colheita. Dessa forma, o maior número de raízes por planta nos tratamentos manejados sem poda da parte aérea deve estar relacionado com a translocação de reservas (carboidratos) das hastes para as raízes na fase de repouso fisiológico, o que contribuiu para encher as raízes já diferenciadas no primeiro ciclo vegetativo da cultura. No entanto, não houve efeito do suprimento de K sobre o número de raízes por planta, o que concorda com os resultados da literatura de que a aplicação de K no segundo ciclo vegetativo da mandioca não aumenta o número, o comprimento e o diâmetro médio das raízes (FERNANDES et al., 2017).

No plantio das águas, o número de raízes por planta aumentou linearmente com as doses de N aplicadas no segundo ciclo vegetativo, proporcionando incremento de 9,1% no número de raiz por planta (Figura 6a). Esse resultado ocorreu provavelmente porque a aplicação tardia de N contribuiu para aumentar o enchimento das raízes já diferenciadas durante o processo de tuberização do primeiro ciclo (TERNES, 2002; LORENZI, 2003; ALVES, 2006), raízes estas, que se não tivessem aumentado de tamanho não seriam contabilizadas na colheita final. Dessa forma, o aumento no número de raízes tuberosas em resposta à aplicação de N no segundo ciclo vegetativo deve-se ao fato que a adubação tardia de N pode ter contribuído para aumentar o acúmulo tardio de matéria seca em raízes já diferenciadas durante o primeiro ciclo, mas que não tinham apresentado crescimento adequado a ponto de serem contabilizadas na colheita final. De acordo com Oliveira et al. (2017), doses mais altas de N no primeiro ciclo vegetativo da mandioca aumentam o número de raízes por planta, mas as diferenças no número de raízes das plantas crescidas com doses altas e baixas de N tendem a diminuir com o período de desenvolvimento da planta. Porém, os resultados do presente estudo indicam que o fornecimento tardio de N pode contribuir para o maior número de raízes por planta na colheita final.

Figura 6 – Número de raízes por planta (a), diâmetro (b), peso médio (c), produtividade (d) e matéria seca (MS) de raízes (e), produtividade de amido (f), rendimento (g) e produtividade de farinha (h) da cultura da mandioca em resposta à aplicação de doses de N em cobertura em duas épocas de plantio. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$.



O comprimento das raízes tuberosas não teve influência dos fatores estudados em ambos os plantios, apresentando comprimento médio de 28,7 e 26,2 cm no plantio da seca e das águas, respectivamente (Tabela 4). O diâmetro e o peso médio de raízes foram influenciados pela aplicação de N no plantio da seca e não teve influência

dos fatores estudados no plantio das águas. A aplicação de N no segundo ciclo da cultura implantada no período seco aumentou o diâmetro e o peso médio de raízes de forma linear em 15,7 e 42%, respectivamente, até a maior dose de N estudada (Figuras 6b e 6c).

A produtividade de raízes foi influenciada apenas pela aplicação de N nas duas épocas de plantio (Tabela 4). A adubação nitrogenada aumentou de forma linear a produtividade de raízes em aproximadamente 50 e 21% no plantio da seca e das águas, respectivamente (Figura 6d). No plantio da seca, a resposta da mandioca à aplicação de N no segundo ciclo vegetativo foi maior, porque nessa época de plantio, como a mandioca passa por um período de estresse hídrico severo na fase inicial de desenvolvimento (Figura 1), há um atraso no período de tuberização das raízes e com isso, apesar das raízes fibrosas conseguirem se diferenciar em raízes tuberosas, as mesmas não apresentam elevado acúmulo de MS, diferentemente do que ocorre quando a mandioca é plantada no período chuvoso. De acordo com Alves (2006), no caso da mandioca plantada no período chuvoso, a diferenciação das raízes fibrosas em tuberosas já se inicia entre o segundo e o terceiro mês após o plantio. Assim, estes resultados mostram que a mandioca plantada no período seco responde mais à adubação nitrogenada no segundo ciclo, porque a aplicação de N nessa fase aumenta o diâmetro, o peso médio e a produtividade de raízes, enquanto que no plantio do período chuvoso o aumento na produtividade de raízes é reflexo apenas do número de raízes por planta. Vários trabalhos mostram respostas positivas da adubação nitrogenada sobre a produtividade da mandioca durante o primeiro ciclo vegetativo (CARDOSO JÚNIOR et al., 2005; KAWEEWONG et al., 2013; SANGAKKARA; WIJESINGHE, 2014; OLIVEIRA et al., 2017), mas os resultados do presente estudo mostram que a aplicação de N no 2º ciclo também aumenta a produtividade da mandioca.

O teor de MS nas raízes teve influência da aplicação de N apenas no plantio da seca, apresentando aumento linear com as doses de N e não foi influenciado pelos fatores estudados no plantio das águas (Tabela 4 e Figura 6e). Esses dados juntamente com o IAF no plantio da seca (Figura 5i) mostram que tanto a produção de parte aérea como a de raízes tuberosas aumentaram de forma linear em função da aplicação de N no segundo ciclo da cultura, indicando que essa maior produção de parte aérea não chegou a desequilibrar a relação entre desenvolvimento da parte aérea e das raízes de reserva (CARDOSO JÚNIOR et al., 2005). Esses resultados

confirmam que em mandioca existe uma correlação positiva entre a área foliar e o rendimento de raízes de reserva, indicando que a área foliar é fundamental na determinação da taxa de crescimento da cultura e da taxa de tuberização das raízes (COCK et al., 1979; ALVES, 2006), tendo em vista que o crescimento e desenvolvimento foliar definem a evolução do IAF que intercepta a radiação solar durante a estação de crescimento, aumentando a fotossíntese e produção de fotoassimilados que serão acumulados nas raízes (TIRONI et al., 2015). Phuntupan e Banterng (2017) verificaram que o IAF no estágio inicial de crescimento (120 DAP) da mandioca foi o componente fisiológico determinante da produtividade de raízes sob fertilização com alto N.

No plantio da seca, o teor de amido nas raízes não teve influência dos fatores estudados e a produtividade de amido foi influenciada apenas pelas doses de N (Tabela 4). No plantio das águas, o teor de amido nas raízes teve influência apenas das formas de manejo e produtividade de amido foi influenciada pelos fatores isolados. Nessa época, as plantas manejadas sem poda da parte aérea e sem fornecimento de K apresentaram teor de amido nas raízes maior do que as plantas podadas que não receberam aplicação de K. Nesta mesma época de plantio, a produtividade de amido foi maior nas plantas manejadas sem poda e sem K, não diferindo estatisticamente do manejo com poda e com K. Somente no plantio das águas, as plantas podadas na fase de repouso fisiológico precisaram receber K em cobertura no segundo ciclo para manterem os mesmos teores de amido nas raízes e rendimento de farinha que as plantas conduzidas sem a poda da parte aérea. Isso ocorreu porque o K é um nutriente requerido para a síntese de amido e a translocação de açúcares para todas as partes da planta (BOATENG; BOADI, 2010), além de ser essencial para promover a translocação de assimilados das folhas para as raízes de reserva (HOWELER, 2002; KANTO et al., 2012; UWAH et al. 2013), sendo que os maiores efeitos da aplicação tardia de K sobre os teores de amido nas raízes ocorrem na mandioca submetida à poda da parte aérea, como observado por Fernandes et al. (2017). Estes autores verificaram que a aplicação de K no segundo ciclo vegetativo da mandioca cv. IAC 13 submetida à poda da parte aérea aumentou em 3,7% os teores de amido das raízes.

Apesar do fornecimento de K nas plantas podadas ter mantido os teores de amido das raízes similares aos das plantas sem poda, a produtividade de amido das plantas podadas foi menor. Isso ocorreu porque a produtividade de raízes não diferiu estatisticamente entre os tratamentos, mas no manejo com poda e com fornecimento

de K foi em média $1,6 \text{ t ha}^{-1}$ inferior a dos tratamentos sem poda da parte aérea. Diferente desses resultados, Fernandes et al. (2017) obtiveram aumento de 49% na produtividade de amido em resposta à aplicação de K no segundo ciclo vegetativo, cujos benefícios foram atribuídos a capacidade do K estimular a síntese e a alocação de amido nas raízes. As diferenças observadas entre os trabalhos podem estar relacionadas às cultivares utilizadas, uma vez que neste estudo trabalhou-se com a cultivar IAC 14 e no estudo de Fernandes et al. (2017) a cultivar utilizada foi a IAC 13.

Em ambos os plantios, a produtividade de amido aumentou de forma linear com as doses de N aplicadas no segundo ciclo da cultura, apresentando incremento de 58 e 23% na produtividade de amido no plantio da seca e das águas, respectivamente (Figura 6f). O N aumenta a clorofila das folhas, promovendo o aumento da capacidade fotossintética das plantas e a síntese de proteínas, além de ser responsável por aumentar a produtividade das plantas (UWAH et al., 2013). Assim, como a aplicação de N no segundo ciclo não aumentou os teores de amido nas raízes o aumento na produtividade de amido é reflexo do aumento na produtividade de raízes frescas. Os resultados do presente estudo mostram que a fertilização da cultura da mandioca após a poda da parte aérea para estimular a rebrota das plantas e a reconstituição da área foliar, aumentando o IAF e a produtividade de raízes e amido é eficiente. Cardoso Júnior et al. (2005) verificaram que aplicação de doses crescentes de N no primeiro ciclo vegetativo da mandioca aumentou em menos de 0,4% o teor de amido das raízes, o que mostrou que não é vantajoso economicamente aplicar N na mandioca visando aumentar os teores de amido das raízes. Outros estudos indicam que a aplicação de altas doses de N no primeiro ciclo vegetativo da mandioca podem até reduzir a produtividade de raízes e o teor de amido das raízes (EDWARDS; KANG, 1978; KAWEEWONG et al., 2013), mas foi observado no presente estudo que quando o N é fornecido numa fase tardia do ciclo da mandioca isso não ocorreu.

No plantio da seca, o rendimento e a produtividade de farinha foram influenciados apenas pela aplicação de N no segundo ciclo da cultura (Tabela 4). No plantio das águas, o rendimento de farinha teve influência do manejo e a produtividade de farinha da aplicação de N. No plantio das águas, o rendimento de farinha foi maior nas plantas não podadas e sem K, não diferindo estatisticamente das plantas podadas e fertilizadas com K. O rendimento de farinha seguiu a mesma tendência do teor de amido nas raízes e da produtividade de amido no plantio das águas, mostrando que nas plantas podadas a aplicação de K no segundo ciclo promoveu a síntese e

translocação do amido para as raízes melhorando a qualidade das raízes tuberosas (UWAH et al., 2013).

A aplicação de N no segundo ciclo da cultura aumentou de forma linear o rendimento de farinha no plantio da seca e a produtividade de farinha em ambos os plantios, com incremento na produtividade de 57 e 22% no plantio da seca e das águas, respectivamente (Figuras 6g e 6h). O rendimento e a produtividade de farinha seguiram a mesma tendência do teor de MS das raízes e da produtividade de amido (Figuras 6e e 6f). Cardoso Júnior et al. (2005) também obtiveram aumento no teor de MS e no rendimento de farinha de mandioca em resposta à adubação nitrogenada no primeiro ciclo vegetativo, mas os incrementos foram pequenos. No plantio da seca, os aumentos na produtividade de farinha foram maiores porque o N, além de influenciar positivamente os teores de farinha, também aumentaram os teores de MS das raízes, o que não ocorreu no plantio das águas. De acordo com Sarmento (1997) e Cardoso Júnior et al. (2005), o teor de MS das raízes é a característica que determina o maior ou menor rendimento industrial da mandioca, uma vez que esta variável está diretamente relacionada aos produtos derivados da mandioca, como a farinha. Os resultados do presente estudo mostraram que a adubação nitrogenada na cultura da mandioca após fase de repouso fisiológico é eficiente para estimular a rebrota das plantas e a reconstituição da área foliar, aumentando o IAF e as produtividades de raízes, amido e farinha.

1.3.4 Coeficientes de correlação

No plantio da seca, o IAF se correlacionou positivamente com o diâmetro das raízes, o peso médio das raízes, e as produtividades de raízes, amido e farinha, mas no plantio das águas só houve correlação positiva e significativa do IAF com o peso médio das raízes (Tabela 5). Os resultados mostraram que o maior IAF no início do segundo ciclo vegetativo da mandioca (entre 4 e 8 MAP) também é um fator determinante da produtividade de raízes, amido e farinha de mandioca.

No plantio da seca, a produtividade de raízes se correlacionou positivamente com o número de raízes, o diâmetro e o peso médio das raízes, mas no plantio das águas a correlação positiva foi do número, do comprimento e do peso médio das raízes com a produtividade (Tabela 5). A maior resposta produtiva da mandioca à aplicação tardia de N no plantio da estação seca ocorreu porque a aplicação de N nessa fase

aumentou o diâmetro e o peso médio das raízes, os quais se correlacionam positivamente com a produtividade de raízes (Tabela 5 e Figura 6).

Tabela 5 – Coeficientes de correlação de Pearson (*r*) e valores de probabilidade (*P*) para as relações do índice de área foliar (IAF), produtividade de raízes, amido e farinha com os componentes de produção.

Características	Plantio da estação seca		Plantio da estação chuvosa	
	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>
<i>IAF</i> ⁽¹⁾				
Nº de raízes por planta	0,15	NS	0,06	NS
Comprimento de raízes	0,01	NS	0,11	NS
Diâmetro de raízes	0,41	0,001	0,09	NS
Peso médio de raízes	0,60	<0,001	0,34	0,006
Produtividade de raízes	0,65	<0,001	0,20	NS
Produtividade de amido	0,63	<0,001	0,22	NS
Produtividade de farinha	0,64	<0,001	0,21	NS
Produtividade de raiz				
Nº de raízes por planta	0,27	0,029	0,36	0,004
Comprimento de raízes	0,02	NS	0,29	0,022
Diâmetro de raízes	0,55	<0,001	0,06	NS
Peso médio de raízes	0,78	<0,001	0,38	0,002
Produtividade de amido				
Produtividade de raízes	0,91	<0,001	0,86	<0,001
Teor de amido na raiz	0,44	<0,001	0,58	<0,001
Produtividade de farinha				
Produtividade de raízes	0,96	<0,001	0,93	<0,001
Teor de MS na raiz	0,35	0,005	0,29	0,021
Rendimento de farinha	0,41	0,001	0,45	<0,001

⁽¹⁾ Para a análise foram utilizadas as médias dos valores do índice de área foliar obtidos aos 4 e 8 meses após a poda da parte aérea da mandioca.

A produtividade de amido se correlacionou positivamente com a produtividade de raízes e com os teores de MS e de amido das raízes em ambos os plantios, mas como a adubação nitrogenada não alterou os teores de amido das raízes, os aumentos na produtividade de amido foram devidos, principalmente, aos efeitos positivos da adubação nitrogenada sobre a produtividade de raízes frescas (Tabela 5 e Figura 6).

A produtividade de farinha se correlacionou positivamente com a produtividade de raízes e o rendimento de farinha. A produtividade de farinha em ambos os plantios também aumentou com a adubação nitrogenada, devido ao efeito positivo do N aplicado no segundo ciclo sobre a produtividade de raízes e o rendimento de farinha em ambos os plantios, bem como sobre os teores de MS das raízes no plantio da

seca, já que todas essas variáveis se correlacionaram positivamente com a produtividade de farinha e elas foram aumentadas pela adubação nitrogenada (Tabela 5 e Figura 6).

1.4 Conclusões

Independente da época de plantio, os teores foliares de N, P e K no início do segundo ciclo vegetativo foram maiores nas plantas podadas na fase de repouso fisiológico e fertilizadas com K, mas os teores foliares mais elevados de Ca, Fe e Mn ocorreram nas plantas conduzidas sem a poda da parte aérea. Com exceção do Cu, os teores dos demais nutrientes nas folhas da mandioca no início do segundo ciclo foram aumentados pela adubação nitrogenada, principalmente quando o plantio foi realizado na estação seca.

Em solos com média disponibilidade inicial de K, não há necessidade de fornecer K no segundo ciclo vegetativo da mandioca, pois a aplicação de K não aumentou a reconstituição foliar, componentes de produtividade e as produtividades de raízes e amido, independente do manejo da poda da parte aérea.

A aplicação tardia de N em plantas de mandioca melhorou seu estado nutricional e aumentou a área foliar das plantas no segundo ciclo vegetativo, enquanto os efeitos positivos de N no rendimento das raízes de armazenamento não foram intensificados pelo suprimento de K no 2º ciclo da cultura. A produtividade de raízes, amido e farinha aumentaram linearmente em resposta às doses de aplicadas no segundo ciclo, com melhores respostas na mandioca plantada na estação seca.

Referências

- AGUIAR, E. B.; BICUDO, S. J.; CURCELLI, F.; FIGUEIREDO, P. G.; CRUZ, C. S. Épocas de poda e produtividade da mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 11, 2011.
- ALVES, A. A. C. Fisiologia da mandioca. *In*: SOUZA, L. S. FARIAS, A. R. N.; MATTOS, P. L. P.; FUKUDA, W. M. G. (eds). **Aspectos socioeconômicos e agrônômicos da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006. p. 138-169.
- ANDRADE, J. S. **Épocas de poda em mandioca**. 2010. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2010.
- ASARE, D. K.; AYEHE, 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.
- BALAGOPALAN, C. Cassava utilization in food, feed and industry. *In*: HILLOCKS, R.J.; THRESH, J.M.; BELLOTTI, A.C. (eds.). **Cassava: Biology and Utilization**, London: CABI publishing, 2002. p. 301-318
- BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K.; HE, Z. L. Nutrient use efficiency in plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v. 32, p. 921-950, 2001.
- BOATENG, S. A.; BOADI, S. Cassava yield response to sources and rates of potassium in the forest-savanna transition zone of Ghana. **African Journal of Root and Tuber Crops**, v. 8, p. 1-5, 2010.
- BULL, L. T. Nutrição mineral do milho. *In*: BULL, L. T.; CANTARELLA, H. (eds). **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: PATAFÓS, 1993. p. 63-145.
- CARDOSO JÚNIOR, N. S.; VIANA, A. E. S.; MATSUMOTO, S. N.; SEDIYAMA, T.; CARVALHO, F. M. Efeito do nitrogênio em características agrônômicas da mandioca. **Bragantia**, v. 64, n. 4, p. 651-659, 2005.
- COCK, J. H.; FRANKLIN, D.; SANDOVAL, G.; JURI, P. The ideal cassava plant for maximum yield. **Crop Science**, v. 19, p. 271-279, 1979.
- CONCEIÇÃO, A. J. **A mandioca**. São Paulo: Nobel, 1981.
- CORREIA, H.; BEZAGO, J. C. E. O.; BRANDÃO, S. S.; GOMES, F. R. Efeito da poda de ramas de mandioca na produção de ramas e raízes. **Revista Ceres**, v. 20, p.148-157, 1973.
- EDWARDS, D.G.; KANG, B. T. Tolerance of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) to high soil acidity. **Field Crops Research**, v. 1, p. 337-346, 1978.

EZUI, K. S.; FRANKE, A. C.; MANDO, A.; AHIABOR, B. D. K.; TETTEH, F. M.; SOGBEDJI, J.; JANSSEN, B. H.; 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.

FENING, J. O.; GYAPONG, T. A.; ABABIO, F.; GAISIE, E. Effect of site characteristics on the productivity and economic returns from cassava legume intercropping in Ghana. **African Journal of Environmental Science and Technology**, v. 3, n. 10, p. 326-331, 2009.

FERNANDES, A. M.; GAZOLA, B.; NUNES, J. G. 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. 20, p. 2785-2796, 2017.

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.

FUKUDA, W. M.; CALDAS, R. C. Relação entre os conteúdos de amido e farinha em mandioca. **Revista Brasileira de Mandioca**, v. 6, p. 57-63, 1987.

GOMES, J.C.; SILVA, J. Correção da acidez e adubação. *In*: SOUZA, L.S.; FARIAS, A.R.N.; MATTOS, P.L.P.; FUKUDA, W.M.G. (eds.). **Aspectos socioeconômicos e agrônômicos da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2006. p. 215-247.

HOWELER, R. H. Cassava mineral nutrition and fertilization. *In*: HILLOCKS, R. J.; Thresh, J. M.; Bellotti, A. C. (eds.). **Cassava biology, production and utilization**. UK: CABI Publishing, 2002. p. 115-47.

KANTO, U.; JUTAMANEE, K.; OSOTSAPAR, Y.; JATTUPORNPOONG, S. Effect of swine manure extract on leaf nitrogen concentration, chlorophyll content, total potassium in plant parts and starch content in fresh tuber yield of cassava. **Journal of Plant Nutrition**, v. 35, p. 688-703, 2012.

KAWEEWONG, J.; KONGKEAW, T.; TAWORNPREK, 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.

LOPES, A. C.; VIANA, A. E. S.; MATSOMOTO, S. N.; CARDOSO JÚNIOR, N. S.; SÃO JOSÉ, A. R. Complementação da irrigação e épocas de colheita de mandioca cv. coqueiro no Planalto de Conquista, BA. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 3, p. 579-587, 2010.

LORENZI, J. O. **Mandioca**. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 2003. (Boletim técnico, 245).

LORENZI, J. O.; MONTEIRO, P. A.; MIRANDA FILHO, H. S.; van RAIJ, B. Raízes e tubérculos. *In*: van RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1997. p. 221-229. (Boletim Técnico, 100).

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

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, p. 2935-2939, 2007.

NELSON, N. A. A photometric adaptation of Somogy method for determination of glucose. **Journal of Biological Chemistry**, v. 153, p. 375-390, 1944.

NORMANHA, E. S.; PEREIRA, A. S. **Instruções para a cultura da mandioca**. Campinas: Instituto Agronômico, 1962. (Boletim, 124).

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.

OLIVEIRA, S. P.; VIANA, A. E. S.; MATSUMOTO, S. N.; CARDOSO JÚNIOR, N. S.; SEDIYAMA, T.; SÃO JOSÉ, A. R. Efeito da poda e de épocas de colheita sobre características agronômicas da mandioca. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, p. 99-108, 2010.

PHUNTUPAN, K.; BANTERNG, P. Physiological determinants of storage root yield in three cassava genotypes under different nitrogen supply. **Journal of Agricultural Science**, v. 155, p. 978-992, 2017.

RIETRA, R. P. J. J.; HEINEN, M.; DIMKPA, C.; BINDRABAN, P. S. Effects of nutrient antagonism and synergism on fertilizer use efficiency. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v. 48, p.1895-1920, 2015.

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.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (eds.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

SARMENTO, B. S. **Caracterização da fécula de mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz) no período de colheita de cultivares de uso industrial**. 1997. Tese (Doutorado em Ciências Farmacêuticas) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

SILVA, J. V.; MIGLIORANZA, É.; KANTHACK, R. A. D. Aspectos produtivos de cultivares de mandioca na região de Presidente Prudente, SP, Brasil. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia**, v. 1, n. 4, 29-34. 2011.

SOUZA, L. D.; SOUZA, L. S.; GOMES, J. C. Exigências edáficas da cultura da mandioca. *In*: SOUZA, L. S.; FARIAS, A. R. N.; MATTOS, P. L. P.; FUKUDA, W. M. G. (eds). **Aspectos socioeconômicos e agrônômicos da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006. p. 170-208.

TAKAHASHI, M. Épocas de poda na cultura da mandioca na região noroeste do Paraná, Brasil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 41, p. 495-500, 1998.

TERNES, M. Fisiologia da Planta. *In*: CEREDA, M. P. (ed.). **Agricultura: tuberosas amiláceas latino americanas**. v. 2. São Paulo: Fundação Cargill, 2002. p. 66-82.

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.

THUMMANATSAKUN, V.; YAMPRACHA, S. Effects of interaction between nitrogen and potassium on the growth and yield of cassava. **International Journal of Agricultural Technology**, v. 14, n. 7, p. 2137-2150, 2018.

TSAY, J. S.; FUKAI, S.; WILSON, G. L. Growth and yield of cassava as influenced by intercropped soybean and by nitrogen application. **Field Crops Research**, v. 21, p. 83-94, 1989.

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, p. 550-555, 2013.

van RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas Instituto Agrônomo, 2001.

van RAIJ, B.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; ABREU, C. A. Interpretação de resultados de análise de solo. *In*: van RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. p.8-13. (Boletim Técnico, 100).

WENGLING, A. **Recomendação de adubação nitrogenada para trigo em sucessão ao milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

CAPÍTULO 2 – Acúmulo de biomassa e demanda nutricional da mandioca em função do manejo da poda e das adubações tardias de nitrogênio e potássio

Resumo

A mandioca absorve e exporta quantidades consideráveis de nutrientes da área de cultivo, pois é uma cultura que apresenta elevado potencial produtivo de raízes. O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento da planta, a produtividade de raízes, a absorção e exportação de nitrogênio (N) e potássio (K) e a eficiência de uso do N aplicado pela mandioca, em resposta à aplicação de N e K em cobertura no segundo ciclo vegetativo da mandioca manejada com e sem poda da parte aérea. Um experimento foi plantado na estação seca e outro na estação chuvosa. Em ambos os experimentos, o delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram compostas por quatro formas de manejo da poda e da aplicação de K no segundo ciclo vegetativo (CP-SK = com poda na fase de repouso fisiológico e sem K; CP-CK = com poda na fase de repouso fisiológico e com aplicação de 90 kg ha⁻¹ de K₂O; SP-SK = sem poda e sem K; SP-CK = sem poda e com aplicação de 90 kg ha⁻¹ de K₂O). As subparcelas foram compostas por quatro doses de N (0, 50, 100 e 200 kg ha⁻¹ de N) aplicadas no segundo ciclo vegetativo da mandioca. O manejo da poda teve influência na altura de plantas, número de folhas e hastes por planta e diâmetro das hastes em ambas as épocas de plantio. No plantio da seca, a aplicação das doses de N no segundo ciclo da cultura aumentou linearmente o número de folhas por planta e o diâmetro das hastes. No plantio das águas, somente a altura de plantas aumentou de forma linear com as doses de N aplicadas no 2º ciclo vegetativo. O acúmulo de biomassa nas plantas, a absorção e a exportação de N e K aumentaram com a aplicação de N no segundo ciclo vegetativo, mas a aplicação combinada de N e K após a fase de repouso fisiológico não intensificou o crescimento das plantas ou alterou a absorção e exportação de N e K. Somente no plantio das secas, a aplicação de K nas plantas podadas aumentou a eficiência de uso do N aplicado sob baixo fornecimento de N, e nesta época de plantio a eficiência de uso do N absorvido foi maior do que no plantio das águas, independentemente do manejo da poda e do suprimento de K.

Palavras-chave: *Manihot esculenta* Crantz, teor de nutriente, eficiência de absorção, exportação de nutrientes.

Biomass accumulation and nutrition demand of cassava as a function of shoot pruning management and late nitrogen and potassium fertilization

Abstract

Cassava taken up and removal considerable amounts of nutrients from the field, because it is a crop that has a high yield of roots potential. The objective of this work was to evaluate plant growth, storage root yield, nitrogen (N) and potassium (K) uptake and removal, and the N-use efficiency by cassava in response to N and K supply in the second vegetative cycle of cassava managed with and without shoot pruning. One experiment was planted in dry season and another in rainy season. In both experiments, the experimental design used was a randomized block, in a split plot scheme, with four replications. The plots were represented by four shoot pruning-K supply managements (+Pr -K = cassava pruned in the autumn-winter resting phase and no K; +Pr +K = cassava pruned in the autumn-winter resting phase and with K supply; -Pr -K = cassava unpruned and no K; -Pr +K = cassava unpruned and with K supply). The subplots were composed of four N rates (0, 50, 100, and 200 kg ha⁻¹ N) applied in the second vegetative cycle of cassava. Pruning management had an influence on plant height, number of leaves and stems per plant and stem diameter in both planting seasons. In the dry season planting, an application of N doses in the second crop cycle increased linearly the number of leaves per plant and the diameter of the stems. In the rainy season planting, only the height of plants increased linear fashion in response to late N application rates at the beginning of the second vegetative cycle. Plant biomass accumulation, N and K uptake and removal increased with N application in the second vegetative cycle, but combined N and K application after the autumn-winter resting phase did not intensify plant growth or altered the N and K uptake and removal. Only when dry season planting, K application in the pruned plants increased the fertilizer-N-use efficiency under the low level of N supply, and at this time of planting the fertilizer-N-uptake efficiency was greater than that in the rainy season planting, independently in the pruning management and K supply.

Keywords: *Manihot esculenta* Crantz, nutrient concentration, absorption efficiency, nutrient removal.

2.1 Introdução

A cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), pela sua facilidade de adaptação às diversas condições edafoclimáticas, é muito cultivada em praticamente todo o território nacional. Apesar de ser considerada rústica, a cultura da mandioca absorve e exporta quantidades consideráveis de nutrientes da área de cultivo. Dentre os nutrientes exigidos em maiores quantidades pelas plantas de mandioca destacam-se o nitrogênio (N) e o potássio (K) (HOWELER; CADAVID, 1983; LORENZI et al., 1981). De acordo com Howeler (1981), as plantas de mandioca absorvem, em média, 4,9 kg de N e 5,8 kg de K para produzir uma tonelada de raízes e chegam a exportar em torno de 2,3 e 4,1 kg de N e K por tonelada de raízes colhidas, respectivamente. Devido às altas demandas, esses nutrientes precisam estar adequadamente disponíveis no solo para promover o desenvolvimento adequado das plantas e manter a qualidade da produção de raízes e amido. A disponibilidade de N e K e a proporção apropriada deles no solo são fatores primordiais para os processos de crescimento e desenvolvimento das plantas, pois nas raízes tuberosas da mandioca a relação K:N é mais alta do que em outras culturas (IMAS; JOHN 2013; FERNANDES et al., 2017). O metabolismo de N nas plantas demanda quantidades suficientes de K no citoplasma (XU et al., 2002) e o K influencia na etapa final do metabolismo do N (MARSCHNER, 1995).

Além disso, frequentes cultivos de mandioca em solo de baixa fertilidade podem diminuir os teores de nutrientes do solo, significando que o fertilizante é necessário para aumentar o rendimento da cultura e manter a fertilidade do solo (THUMMANATSAKUN; YAMPRACHA, 2018). O N está diretamente envolvido com o crescimento dos vegetais, estando relacionado com o metabolismo energético das células e atuando como componente básico de proteínas, clorofila, enzimas, hormônios e vitaminas (HOWELER, 2014). O K desempenha um papel importante no metabolismo, estimula a atividade fotossintética líquida e aumenta a translocação de fotossintatos para as raízes tuberosas (HOWELER, 2014).

A absorção de nutrientes está altamente relacionada à taxa de crescimento das plantas, diferenças varietais, estado de fertilidade do solo e condições climáticas (HOWELER, 2002). Portanto, é muito importante observar a eficiência do uso de

nutrientes, porque o uso excessivo de fertilizantes na produção agrícola tem um impacto significativo no meio ambiente, que inclui acidificação do solo, contaminação de água e emissão de gases de efeito estufa (HOWELER et al., 2013), especialmente quando o efeito aditivo do fertilizante aplicado é considerado (BIRATU et al., 2018).

Embora o suprimento de N conduza à maiores produtividades, a baixa eficiência de uso dos fertilizantes nitrogenados é uma característica dos sistemas de produção de mandioca, e estima-se que as perdas de N variam de 50 a 60% do N aplicado (BYJU et al., 2006). Byju e Anand (2009) citam que a eficiência de uso do N pode variar de acordo com a duração do ciclo da cultivar (curto ou longo) e com a taxa de aplicação do N. Como a mandioca de indústria é uma cultura de ciclo longo, que apresenta crescimento inicial lento e absorve elevadas quantidades de N e K (HOWELER, 1982; TERNES, 2002; RÓS, 2013), é imprescindível a adoção de manejos que elevem a eficiência de adubação nitrogenada e potássica, pois a extração e exportação de grandes quantidades de nutrientes pela planta podem empobrecer o solo ao longo do tempo.

A poda da parte aérea é uma prática que tem sido largamente utilizada por agricultores na cultura da mandioca, em que eles afirmam melhoria na produção de raízes. Porém estudos realizados, ainda incipientes, apresentam resultados variados e controversos, em que alguns autores afirmam depender da fase fenológica da planta no momento da poda (LORENZI, 2003; SAGRILO et al., 2006; PERESSIN, 2010; AGUIAR, 2011). De acordo com Oliveira et al. (2010), o emprego da poda na cultura da mandioca pode ser utilizado como uma prática agrícola estratégica, aparentemente eficiente e viável, embora seja imprescindível o aprimoramento de pesquisas sobre a interação desse manejo com as características climáticas locais e época de realização da poda. Dessa forma, fica evidente a importância de mais investigações e estudos sobre os benefícios da prática da poda para a cultura da mandioca, principalmente de acordo com a época em que a mesma é realizada e com a época de adubação, buscando maior eficiência de uso dos nutrientes aplicados. O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento da planta, a produtividade de raízes, a absorção e exportação de N e K e a eficiência de uso do N aplicado na mandioca, em resposta à aplicação de N e K em cobertura no segundo ciclo vegetativo da mandioca manejada com e sem poda da parte aérea.

2.2 Material e Métodos

Foram conduzidos dois experimentos, um com plantio na época das secas (junho de 2016) e outro com plantio na época das águas (outubro de 2016). Nos dois experimentos a mandioca foi colhida com 22 meses de ciclo, ou seja, em abril e agosto de 2018, respectivamente.

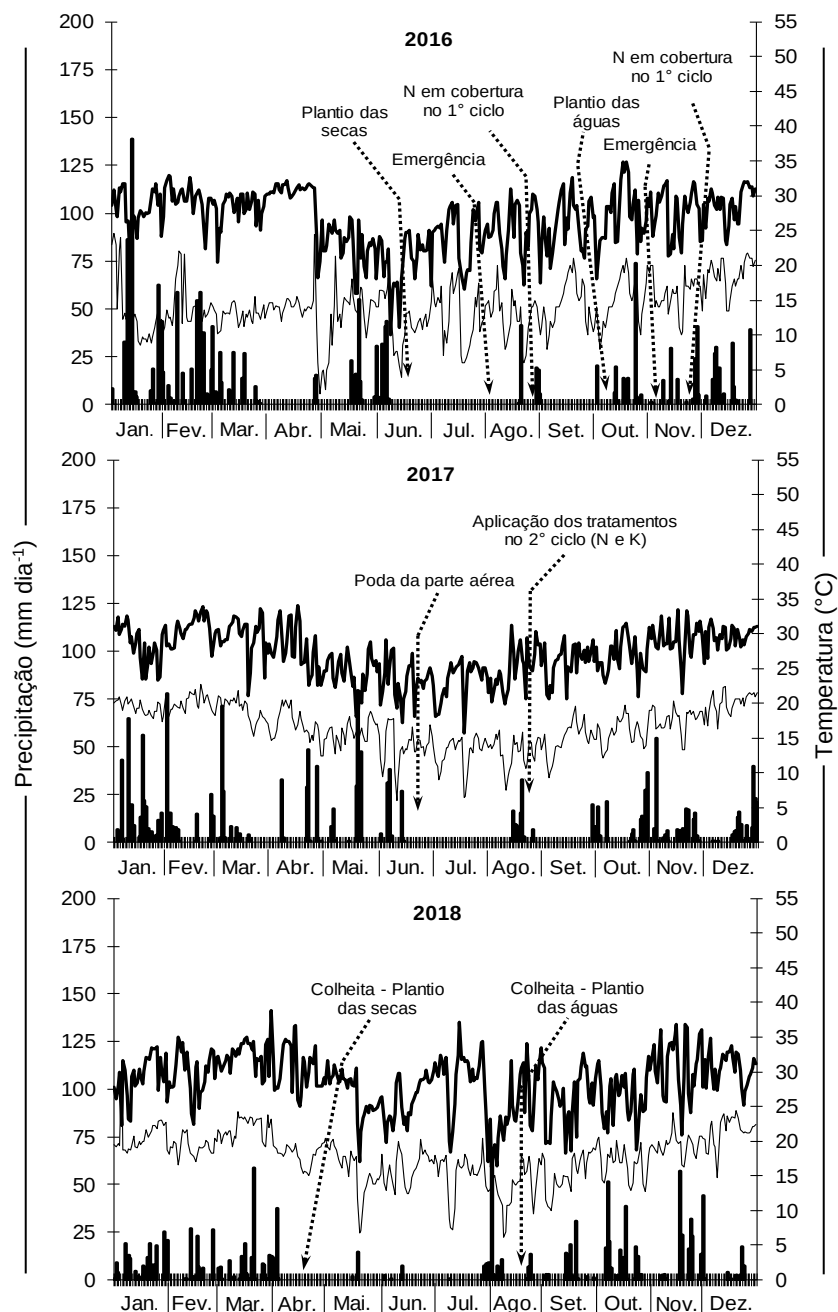
2.2.1 Localização e características da área experimental

Os experimentos foram conduzidos na área experimental do Centro de Raízes e Amidos Tropicais (CERAT), localizada na Fazenda Experimental de São Manuel da FCA-UNESP, no município de São Manuel - SP (22° 77' S; 48° 57' W e altitude média de 740 m). O clima da região, conforme classificação de Köppen, é do tipo Cwa (tropical, com inverno seco e verão quente e chuvoso), com precipitação média anual de 1.398 mm e temperatura média anual de 20,9 °C. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (SANTOS et al., 2006), de textura arenosa. Na área foi cultivado milho durante a safrinha de 2014 e desde então a área permaneceu em pousio. Durante a condução da pesquisa foram coletados os dados de precipitação e temperaturas máxima e mínima (Figura 1).

2.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

Em ambos os experimentos (plantio da seca e das águas), o delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, no esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram representadas por quatro sistemas de manejo da poda e da aplicação de K em cobertura no segundo ciclo (CP-SK - com poda e sem K; CP-CK - com poda e com aplicação de 90 kg ha⁻¹ de K₂O; SP-SK - sem poda e sem K; SP-CK - sem poda e com aplicação de 90 kg ha⁻¹ de K₂O). As subparcelas foram compostas por quatro doses de N aplicadas no segundo ciclo da mandioca (0, 50, 100 e 200 kg ha⁻¹ de N). Cada parcela foi composta de 5 linhas de 24 m de comprimento, e cada subparcela foi representada por 5 linhas de 6 metros de comprimento. A área útil das subparcelas foi representada pelas três fileiras centrais de plantas, descartando-se 0,5 m em ambas as extremidades de cada fileira.

Figura 1 – Precipitação pluvial (■) e temperaturas máximas (—) e mínimas (—) registradas, durante o período de janeiro de 2016 a dezembro de 2018.



2.2.3 Instalação e condução do experimento

Antes da instalação dos experimentos, em ambas as épocas, foram coletadas amostras de solo da área experimental, na profundidade de 0-0,20 m, para a determinação das características químicas (van RAIJ et al., 2001) (Tabela 1). O solo de ambas as áreas (Tabela 1) apresentava média disponibilidade inicial de K (Lorenzi et al., 1997).

Tabela 1 – Características químicas do solo na profundidade de 0-0,20 m das áreas de ambos os plantios de mandioca.

Características químicas	Plantio da seca (junho)	Plantio das águas (outubro)
pH (CaCl ₂)	5,2	5,2
M.O. (g dm ⁻³)	17,0	11,8
P _{resina} (mg dm ⁻³)	11,0	10,0
S (g dm ⁻³)	2,0	7,0
K (mmol _c dm ⁻³)	0,9	1,4
Ca (mmol _c dm ⁻³)	12	15
Mg (mmol _c dm ⁻³)	5	4
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	13	18
CTC (mmol _c dm ⁻³)	31	39
V (%)	58	53
B (mg dm ⁻³)	0,11	0,12
Cu (mg dm ⁻³)	1,3	1,2
Fe (mg dm ⁻³)	14	9
Mn (mg dm ⁻³)	8,6	4,2
Zn (mg dm ⁻³)	1,6	1,2

Para o plantio das manivas o solo foi preparado de forma convencional, realizando-se uma aração e uma gradagem niveladora, conforme recomendações de Souza et al. (2006). O material utilizado foi a cultivar IAC 14, sendo as manivas sementes retiradas do terço médio de plantas sadias com 12 meses de idade e com 20 cm de comprimento. O plantio foi realizado nos dias 17/06/2016 para a época da seca e 12/10/2016 para a época das águas. A profundidade de plantio foi de 10 cm, com espaçamento de 1,0 m entre linhas e 0,80 m entre plantas, estimando uma população média de 12500 plantas ha⁻¹.

A adubação de plantio foi realizada no sulco, aplicando-se 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato triplo e 40 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio (KCl) de acordo com a análise de solo e as recomendações de Lorenzi et al. (1997).

A emergência completa da mandioca no plantio da seca ocorreu em 01/08/2016 (45 dias após o plantio - DAP), devido às baixas temperatura e precipitação do período (Figura 1). Já no plantio das águas a emergência ocorreu em 11/11/2016, aos 30 DAP; porém, a brotação das manivas foi baixa e houve elevada precipitação no final de outubro de 2016 o que causou erosão superficial no solo das parcelas e reduziu a população de plantas pré-estabelecida. A adubação nitrogenada de cobertura no primeiro ciclo vegetativo da cultura foi realizada aos 25 e 20 dias após a emergência das secas e das águas, respectivamente, aplicando-se 40 kg ha⁻¹ de N (ureia) de

acordo com as recomendações de Lorenzi et al. (1997). A adubação de cobertura no plantio da seca foi realizada atrasada por conta do atraso na emergência das plantas. O fertilizante foi aplicado na superfície do solo em filete contínuo distanciado aproximadamente 10 cm das fileiras de plantas.

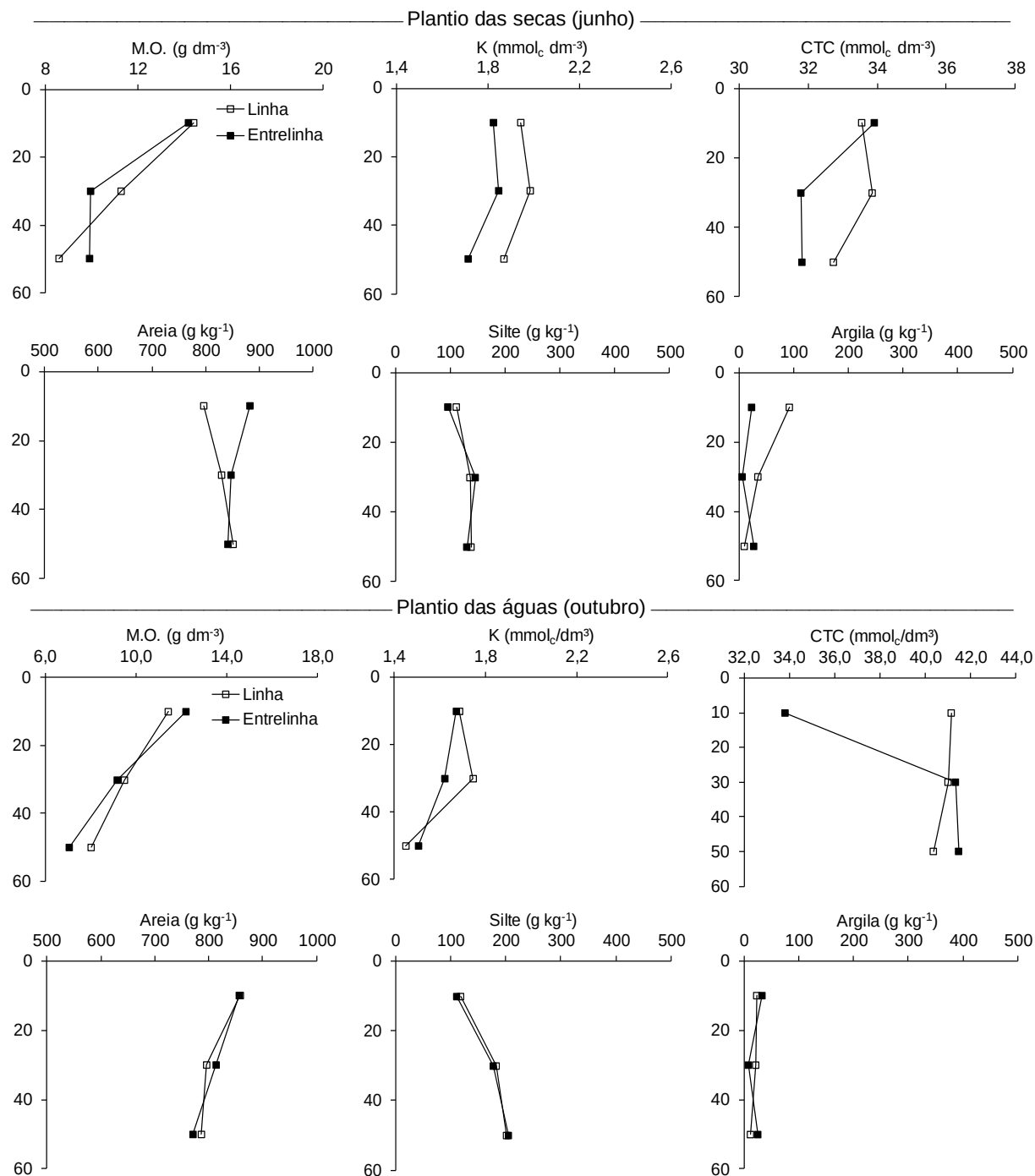
A poda da parte aérea das plantas dos manejos CP-SK e CP-CK foi realizada em 26/06/2017 (12 e 8 meses após o plantio, para os plantios da seca e das águas, respectivamente), durante a fase de repouso fisiológico. Na região de Botucatu-SP e São Manuel a fase de repouso fisiológico em que se recomenda a realização da poda da parte aérea ocorre entre os meses de maio a julho (AGUIAR et al., 2011). A poda da parte aérea foi realizada a uma altura de 10 cm em relação à superfície do solo (LORENZI, 2003), com auxílio de um facão. A parte aérea das plantas dos tratamentos com o manejo da poda, foram retiradas para fora da área das parcelas após a poda, visando simular o sistema de colheita de ramas para uso como material de propagação. As quantidades médias de matéria seca acumuladas na parte aérea das plantas no plantio da seca e das águas foram de 4,3 e 1,2 t ha⁻¹, respectivamente. Os teores médios de N na parte aérea das plantas eram de 4,5 g kg⁻¹ no plantio da seca e 5,2 g kg⁻¹ no plantio das águas, enquanto que o teor de K era de 7,5 e 6,2 g kg⁻¹ para os plantio da seca e das águas, respectivamente. Assim, as quantidades exportadas das parcelas com poda na fase de repouso fisiológico da cultura no plantio da seca foram de 21,4 kg ha⁻¹ de N e 32,4 kg ha⁻¹ de K, enquanto que no plantio das águas a exportação foi de 6,5 kg ha⁻¹ de N e 7,6 kg ha⁻¹ de K.

Antes da aplicação dos tratamentos foi realizada coleta de solo em 12 pontos das linhas e entrelinhas de plantas de cada bloco separadamente, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, as quais foram utilizadas para compor uma amostra composta por bloco (repetição). As amostras após secas foram analisadas quanto aos teores de matéria orgânica (M.O.), potássio, capacidade de troca de cátions (CTC) e teores de areia, silte e argila (Figura 2). A aplicação dos tratamentos referente à adubação nitrogenada e potássica do segundo ciclo foi realizada em 21 de agosto de 2017 (55 dias após a poda da parte aérea), quando reiniciaram as precipitações (Figura 1). Como fonte de N e K foram utilizados os fertilizantes ureia e cloreto de potássio, respectivamente.

Durante a condução dos experimentos, os tratos culturais, envolvendo controle de plantas daninhas, pragas e doenças, entre outros, foram realizados de acordo com a necessidade e as recomendações técnicas para a cultura da mandioca na região. A

colheita da mandioca foi realizada em 18/04/2018 e 13/08/2018 (aproximadamente 22 meses de ciclo).

Figura 2 – Teores de matéria orgânica (M.O.) e potássio (K), capacidade de troca de cátions (CTC) e teores de areia, silte e argila na linha e entrelinha da mandioca em diferentes profundidades.



2.2.4 Avaliações

2.2.4.1 Altura de plantas, número de folhas e hastes por planta, diâmetro de hastes, acúmulo de matéria seca na parte aérea, cepas e raízes tuberosas na colheita

A altura das plantas, o número de folhas e hastes por planta e o diâmetro das hastes foram determinados em quatro plantas da área útil de cada subparcela no final do ciclo, antes da colheita. A altura das plantas foi considerada como a distância entre o solo e o ponto mais alto da planta. O diâmetro das hastes foi medido à altura de 10 cm acima da superfície do solo.

No momento da colheita, foram coletadas manualmente doze plantas em três linhas da área útil de cada parcela. Após colhidas, as plantas foram separadas em parte aérea (folhas + hastes), cepas e raízes tuberosas. As amostras foram pesadas (peso fresco) e foram retiradas subamostras desse material, as quais foram pesadas e submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C até atingir peso constante. Após a secagem, as subamostras foram pesadas para a obtenção da porcentagem de MS. Com os dados de matéria fresca, porcentagem de matéria seca e população final de plantas foi calculado o acúmulo de MS por área, em cada parte da planta e na planta inteira.

2.2.4.2 Índice de colheita (IC)

O índice de colheita para cada tratamento foi calculado utilizando-se a equação proposta por Sagrilo et al. (2002):

$$IC = \frac{MSRA}{MSPL} \quad (1)$$

Onde: MSRA é a quantidade de MS acumulada nas raízes tuberosas (kg ha⁻¹) e MSPL é a quantidade de MS acumulada na planta inteira (kg ha⁻¹).

2.2.4.3 Teor, extração e exportação de N e K

As subamostras usadas na determinação da MS (item 2.2.4.1), após a secagem foram moídas em moinho tipo Wiley, com peneira de 1 mm. A concentração de N nos tecidos das plantas foi determinada pelo método semi-micro-Kjeldahl após a digestão

das amostras por via úmida em ácido sulfúrico (H_2SO_4) (MALAVOLTA et al., 1997). A concentração de K foi determinado por espectrofotometria de absorção atômica, após digestão das amostras com a solução nitro-perclórica, preparada na relação 6:1 de ácido nítrico (HNO_3) e ácido perclórico (HClO_4) (MALAVOLTA et al., 1997).

As quantidades de N e K acumuladas nas folhas, hastes, cepas e raízes tuberosas foram estimadas multiplicando-se o teor de N e K pela quantidade de MS acumulada. A quantidade de N e K extraída pela cultura foi determinada pela soma das quantidades de N e K obtidas em cada parte da planta, enquanto a quantidade de N e K exportada foi representada pela quantidade de N e K acumulada nas raízes tuberosas.

2.2.4.4 Eficiência de uso do N aplicado para a produção de raízes

A eficiência de uso do N aplicado para a produção de raízes (EUNAPR), foi determinada para cada sistema de manejo e dose de N aplicado no segundo ciclo da mandioca, conforme proposto por Fageria (1998):

$$\text{EUNAPR (kg kg}^{-1}\text{)} = \frac{[\text{Produtividade de raízes em cada dose de N aplicado no segundo ciclo da mandioca} - \text{Produtividade de raízes no tratamento controle (sem N)}]}{\text{Quantidade de N fornecido em cada dose de N aplicado no segundo ciclo da mandioca}}.$$

2.2.4.5 Eficiência de recuperação do N aplicado para a produção de raízes

Corresponde à razão entre a quantidade de N acumulada na planta por unidade de N aplicada. A eficiência de recuperação do N aplicado para a produção de raízes (ERNAPR) foi obtida para cada sistema de manejo e dose de N aplicado no segundo ciclo da mandioca, conforme proposto por Fageria (1998):

$$\text{ERNAPR (\%)} = \frac{[(\text{Acúmulo de N na planta inteira em cada dose de N aplicado no segundo ciclo da mandioca} - \text{Acúmulo de N na planta inteira do tratamento controle (sem N)})]}{\text{Quantidade de N fornecido em cada dose de N aplicado no segundo ciclo da mandioca}} \times 100.$$

2.2.4.6 Eficiência de uso do N absorvido pelas plantas

A eficiência de uso do N absorvido (EUNABS) foi calculada para cada sistema de manejo e dose de N aplicado no segundo ciclo da mandioca, conforme proposto por Fageria (1998):

$EUNABS (kg\ kg^{-1}) = [Acúmulo\ de\ MS\ na\ planta\ inteira\ em\ cada\ dose\ de\ N\ aplicado\ no\ segundo\ ciclo\ da\ mandioca] / [Acúmulo\ de\ N\ na\ planta\ inteira\ em\ cada\ dose\ de\ N\ aplicado\ no\ segundo\ ciclo\ da\ mandioca]$.

2.2.5 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância separadamente por experimento. As médias dos tratamentos referentes aos manejos da poda da parte aérea e os níveis de K foram comparadas pelo teste LSD a 5% de probabilidade. Os efeitos das doses de N foram avaliados por análise de regressão, adotando-se como critério para escolha do modelo a magnitude dos coeficientes de regressão significativos a 5% de probabilidade pelo teste t. Os efeitos das doses de N no segundo ciclo da mandioca foram avaliados pelo teste LSD a 5% de probabilidade apenas para as variáveis EUNAPR e ERNAPR.

2.3 Resultados e discussão

2.3.1 Componentes biométricos e acúmulos de MS na parte aérea, cepas e raízes tuberosas e índice de colheita

Na colheita do experimento plantado no período seco, a altura de plantas foi influenciada pelos fatores manejo da poda, doses de N e pela interação entre eles (Tabela 2). No plantio das águas, a altura de plantas foi influenciada pelos fatores isolados. A altura das plantas variou de 1,88 a 2,29 m no plantio da seca e 1,65 a 1,84 no plantio das águas, as quais estão de acordo com os valores observados em trabalhos realizados em diferentes ambientes, mostrando que a cultivar IAC 14 possui elevada capacidade de crescimento vegetativo (SAGRILO et al., 2007; AGUIAR, 2011; RÓS et al., 2011).

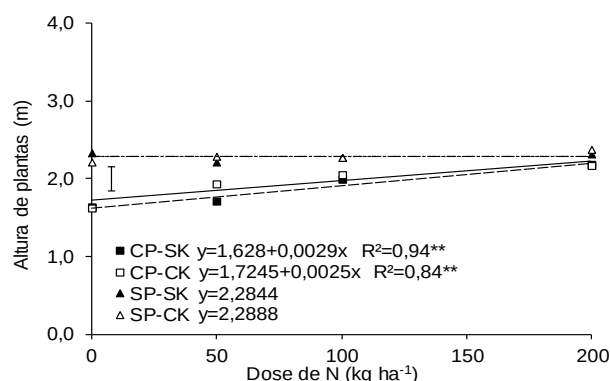
No plantio da seca, a aplicação das doses de N no segundo ciclo da cultura aumentou linearmente a altura de plantas conduzidas com a poda da parte aérea, independente da aplicação de K no 2º ciclo vegetativo (Figura 3). Porém, as plantas não podadas ficaram mais altas do que as plantas podadas nas doses de 0 e 50 kg ha⁻¹ de N. Dessa forma, o fornecimento de N no segundo ciclo vegetativo da cultura da mandioca estimulou o crescimento e o desenvolvimento das plantas podadas, mas isso não ocorreu com as plantas sem poda da parte aérea.

Tabela 2 – Altura de plantas na colheita, número de folhas e de hastes por planta, diâmetro de hastes, acúmulos de matéria seca (MS) na parte aérea (PA), cepas, raízes, na planta inteira, índice de colheita (IC) e produtividade de raízes da cultura da mandioca em resposta ao manejo da poda e da aplicação de K e de doses de N em duas épocas de plantio, e análise de variância.

Variáveis	Manejos ⁽¹⁾				ANOVA (P>F)		
	CP-SK	CP-CK	SP-SK	SP-CK	Manejo (M)	Dose N (N)	M x N
Plantio da seca (junho)							
Altura de plantas (m)	1,88b	1,95b	2,28a	2,29a	0,0038	0,0001	0,0377
Nº de folhas por planta	199,7a	211,5a	143,3b	154,1b	<0,0001	<0,0001	NS
Nº de hastes por planta	2,9a	3,0a	1,4b	1,3b	<0,0001	NS	NS
Diâm. de hastes (cm)	1,6b	1,7b	2,5a	2,4a	<0,0001	0,0003	NS
MS da PA (t ha ⁻¹) ⁽²⁾	9,69a	9,61a	7,77b	7,42b	0,0009	<0,0001	NS
MS da cepa (t ha ⁻¹)	1,77a	1,75a	1,73a	1,83a	NS	0,0202	NS
MS da raiz (t ha ⁻¹)	20,04a	20,32a	22,09a	22,78a	NS	<0,0001	NS
MS da planta (t ha ⁻¹)	31,49a	31,68a	31,59a	32,03a	NS	<0,0001	NS
IC	0,63b	0,64b	0,69a	0,71a	0,0014	NS	NS
Produtiv. raízes (t ha ⁻¹)	46,5a	46,6a	51,0a	52,2a	NS	<0,0001	NS
Plantio das águas (outubro)							
Altura de plantas (m)	1,65b	1,69b	1,77ab	1,84a	0,0500	0,0500	NS
Nº de hastes por planta	3,5b	4,0a	1,9c	2,1c	<0,0001	NS	NS
Diâm. de hastes (cm)	1,6b	1,6b	2,4a	2,3a	<0,0001	NS	NS
MS da PA (t ha ⁻¹) ⁽²⁾	2,95a	3,18a	3,06a	3,18a	NS	<0,0001	NS
MS da cepa (t ha ⁻¹)	0,64b	0,74a	0,72ab	0,76a	0,0377	0,0092	NS
MS da raiz (t ha ⁻¹)	9,93a	10,00a	10,76a	10,33a	NS	0,0040	NS
MS da planta (t ha ⁻¹)	13,52a	13,91a	14,54a	14,27a	NS	0,0003	NS
IC	0,73a	0,72a	0,74a	0,72a	NS	NS	NS
Produtiv. raízes (t ha ⁻¹)	23,1a	22,7a	24,4a	24,2a	NS	0,0016	NS

Valores seguidos pelas mesmas letras nas linhas não diferem entre si pelo teste de LSD ($P \leq 0,05$). NS: não significativo. ⁽¹⁾ CP-SK = com poda e sem K; CP-CK = com poda e com 90 kg ha⁻¹ de K₂O; SP-SK = sem poda e sem K; SP-CK = sem poda e com 90 kg ha⁻¹ de K₂O. ⁽²⁾ Nos manejos CP-SK e CP-CK os valores representam a soma das quantidades de MS removidas das parcelas com a poda na fase de repouso fisiológico e as quantidades de MS presentes na parte aérea no momento da colheita.

Figura 3 – Altura de plantas de mandioca na colheita, em resposta à aplicação de doses de N em cobertura no plantio da seca. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$. CP-SK = com poda e sem K; CP-CK = com poda e com 90 kg ha⁻¹ de K₂O; SP-SK = sem poda e sem K; SP-CK = sem poda e com 90 kg ha⁻¹ de K₂O. Barra vertical indica o valor de DMS pelo teste LSD ($P \leq 0,05$).

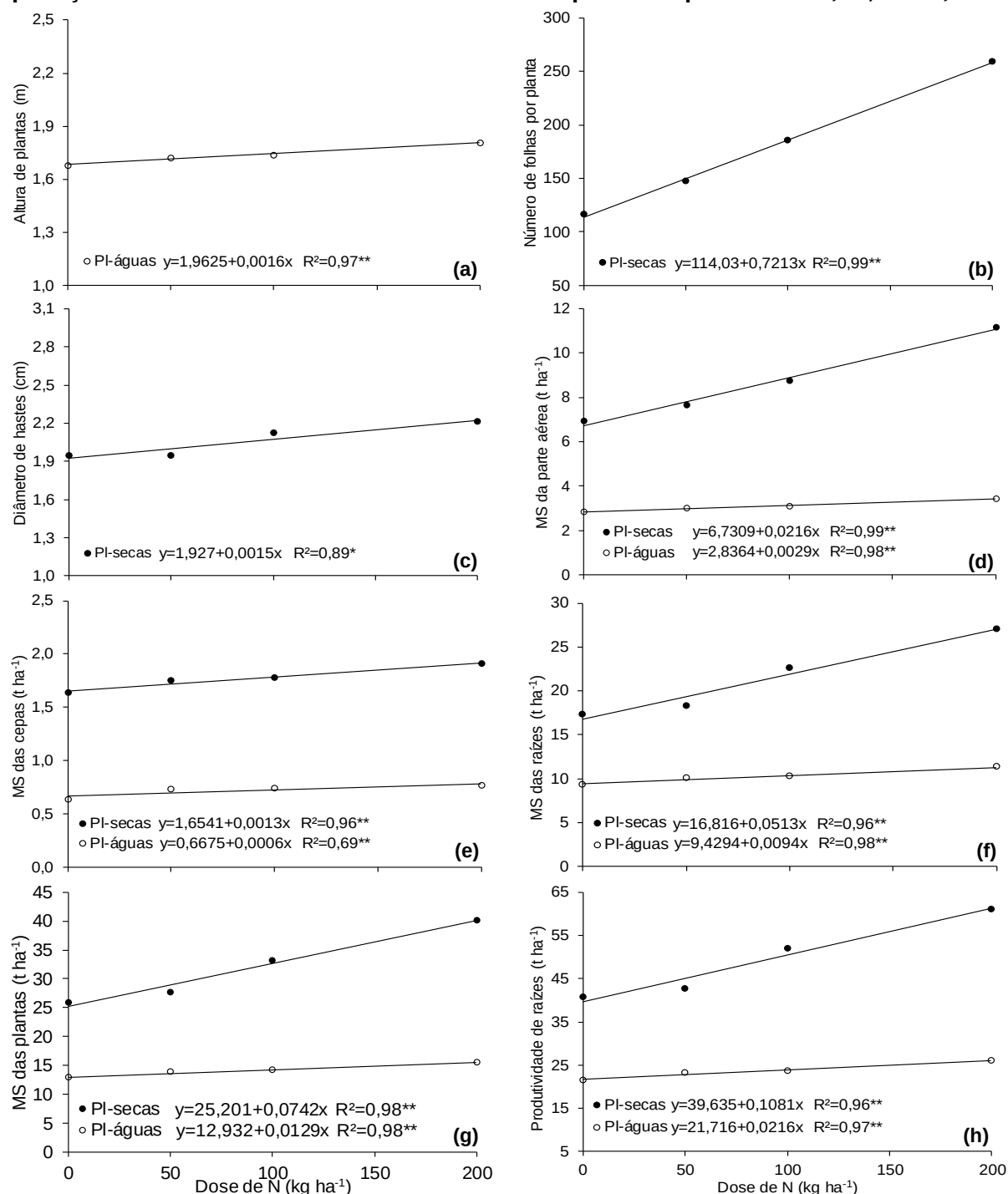


No plantio das águas, as plantas manejadas sem a poda da parte aérea e com fornecimento de K ficaram mais altas do que as plantas manejadas com a poda da parte aérea na presença ou ausência de K (Tabela 2). A adubação nitrogenada aumentou de forma linear a altura das plantas de mandioca plantadas na estação chuvosa (Figura 4a), em decorrência da resposta da planta de mandioca com maior produção de parte aérea à medida que encontra maiores quantidades de N disponível (HOWELER, 1982; CARDOSO JÚNIOR et al, 2005).

O número de folhas por planta no momento da colheita do plantio da seca foi influenciado pelos fatores isolados (Tabela 2). As plantas podadas, independente do fornecimento de K, apresentaram maior número de folhas em relação às plantas sem poda e houve aumento linear no número de folhas por plantas com as doses de N aplicadas em cobertura no segundo ciclo vegetativo da mandioca plantada na estação seca (Figura 4b). A resposta positiva dos componentes de crescimento da planta aos nutrientes aplicados é atribuível ao papel deles na multiplicação e fotossíntese celular, que aumentam em número e comprimento das folhas e caules (UWAH et al., 2013). No experimento com o plantio na época das águas não havia folhas no momento da colheita, aos 22 meses após o plantio, ou seja, em agosto de 2018, devido à senescência foliar característica da planta de mandioca na fase de repouso fisiológico, que ocorre na época mais fria e seca do ano (CONCEIÇÃO, 1981; LORENZI, 2003; EL-SHARKAWY, 2006; AGUIAR et al., 2011).

O diâmetro das hastes foi influenciado pelos fatores isolados no plantio das secas e pelas formas de manejo da poda no plantio das águas (Tabela 2). O diâmetro médio das hastes foi maior nas plantas sem poda, independente do fornecimento de K e houve aumento linear no diâmetro das hastes das plantas com as doses de N aplicadas em cobertura no segundo ciclo vegetativo da mandioca plantada na estação seca (Figura 4c). Esse efeito é devido ao fato que nas plantas não podadas continua o engrossamento da haste principal, enquanto nas plantas podadas ocorre a emissão de novas hastes simpodiais para recompor a parte aérea das plantas, e por isso, as hastes formadas após a poda possuem menor diâmetro. Fagundes et al. (2009) explicam que a cada nova ramificação simpodial três novas hastes surgem e precisam de fotoassimilados, nutrientes e água para crescer se desenvolver.

Figura 4 – Altura de plantas (a), número de folhas por planta (b), diâmetro de hastes na colheita (c), acúmulo de matéria seca (MS) na parte aérea (d), cepas (e), raízes (f) e na planta inteira (g) e produtividade de raízes (h) da cultura da mandioca em resposta à aplicação de doses de N em cobertura em duas épocas de plantio. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$.



A quantidade de MS acumulada na parte aérea da mandioca teve influência dos fatores isolados no plantio da seca e somente das doses de N no plantio das águas (Tabela 2). No plantio da seca, ocorreu maior acúmulo de MS na parte aérea das

plantas manejadas com a poda da parte aérea, independente do fornecimento de K. Isso ocorreu porque a parte aérea retirada no momento da poda foi contabilizada no momento da colheita e, por conseguinte, as plantas podadas apresentam após a rebrota maior número de folhas e hastes por planta quando comparado às plantas não podadas.

No plantio da seca, o acúmulo médio de MS na parte aérea foi de $9,7 \text{ t ha}^{-1}$ nas plantas podadas e $7,6 \text{ t ha}^{-1}$ nas plantas não podadas (Tabela 2). Ou seja, no plantio da seca o acúmulo de MS na parte aérea foi em média 28% maior nas plantas podadas do que nas plantas sem a poda da parte aérea, independente da aplicação de K. Esse menor acúmulo de MS parte aérea das plantas sem poda ocorre em função dos fotoassimilados que são translocados das folhas mais velhas e hastes para as raízes de reserva (ALVES, 2006). Lorenzi (1978) e Figueiredo (2014) citam que o acúmulo máximo de MS das folhas pode variar de acordo com a cultivar e condições de plantio, sendo que os resultados deste estudo mostram que o manejo da poda da parte aérea é um dos fatores que interfere no acúmulo de MS na parte aérea da mandioca.

Com a aplicação das doses de N no segundo ciclo da cultura, a produção de MS da parte aérea aumentou linearmente em ambas as épocas de plantio, com incremento no acúmulo de MS da parte aérea de 62 e 21% no plantio da seca e das águas, respectivamente (Figura 4d). Esses resultados mostram que a adubação nitrogenada no segundo ciclo vegetativo da mandioca foi eficiente para aumentar o acúmulo de MS na parte aérea das plantas de mandioca.

No plantio da seca, a quantidade de MS acumulada nas cepas e nas raízes foram influenciadas apenas pelo fator doses de N (Tabela 2). No plantio das águas, a MS das cepas foi influenciada pelos fatores isolados e a MS das raízes apenas pelo fator doses de N. Existem relatos na literatura de que a prática da poda pode causar redução no acúmulo de MS das raízes (CORREIA et al., 1973; OLIVEIRA et al., 2010). Porém, no presente estudo observa-se que a poda não afetou o acúmulo de MS nas raízes, em que as plantas podadas não diferiram significativamente das plantas sem poda.

Aguiar et al. (2011), em estudo sobre as épocas de poda no desenvolvimento da mandioca relata que as podas realizadas no período de repouso fisiológico da cultura não alteraram de modo significativo a massa média de MS de raízes, o que está de acordo com o presente trabalho. No plantio das águas, a quantidade de MS

acumulada nas cepas no manejo sem poda e com aplicação de K foi 19% maior do que a MS obtida no manejo com poda e sem K. Nas duas épocas de plantio, o acúmulo de MS nas cepas e nas raízes aumentou de forma linear com as doses de N aplicadas (Figuras 4e e 4f). Esses resultados mostram que existe relação positiva entre a MS total (Figura 4g) e a MS das raízes de reserva (Figura 4f). Nesse sentido, Boerboom (1978) e Veltkamp (1985) citam que a distribuição de MS para as diferentes partes da planta é constante durante seu ciclo de cultivo, existindo uma alta correlação linear positiva da MS total com a MS das raízes.

O acúmulo de MS na planta inteira foi influenciado apenas pelo fator doses de N nas duas épocas de plantio (Tabela 2). Nas duas épocas de plantio, a aplicação de N aumentou de forma linear o acúmulo de MS na planta inteira, com incremento de 55 e 21% de MS nas plantas do plantio da seca e das águas, respectivamente (Figura 4g), mostrando que a mandioca responde à adubação de N na produção de MS da planta, o que está de acordo com pesquisas realizadas em diferentes condições de solo e clima (ORIOLO et al., 1967; NGUYEN et al., 2002; CRUZ et al., 2003; LÔBO et al., 2005; HOWELER, 2011; LEONEL et al., 2015).

O índice de colheita (IC) foi afetado pelo manejo da poda apenas no plantio da seca (Tabela 2). No plantio da seca, as plantas manejadas sem a poda da parte aérea, independentemente do fornecimento de K, apresentaram maior IC. Como o IC na cultura da mandioca é a relação da produção de MS das raízes em função da MS total da planta no momento da colheita (SILVA et al., 2011), é de se esperar que nas plantas podadas seja maior do que nas plantas não podadas. Mas como foi contabilizada a MS da parte aérea que foi retirada no momento da poda, as plantas não podadas apresentaram maior IC. No plantio da seca, o IC médio nas plantas podadas, independente do fornecimento de K, foi de 0,64 e nas plantas sem poda foi em média de 0,73. No plantio das águas, o IC médio nas plantas de mandioca, independente do manejo da poda foi de 0,73. Para todos os manejos o IC está dentro do limite estabelecido como adequado para a cultura da mandioca, que é de 0,5 (HOWELER, 2002; PEIXOTO et al., 2005).

A produtividade de raízes foi influenciada apenas pela aplicação de N nas duas épocas de plantio (Tabela 2). A adubação nitrogenada aumentou de forma linear a produtividade de raízes em aproximadamente 50 e 21% no plantio da seca e das águas, respectivamente (Figura 4h). No plantio da seca, a resposta da mandioca à aplicação de N no segundo ciclo vegetativo foi maior, porque nessa época de plantio,

como a mandioca passa por um período de déficit hídrico severo na fase inicial de desenvolvimento (Figura 1), há atraso no período de tuberização das raízes e com isso, apesar das raízes fibrosas conseguirem se diferenciar em raízes tuberosas, as mesmas não apresentam um elevado acúmulo de MS, diferentemente do que ocorre quando a mandioca é plantada no período chuvoso. Nesse sentido, Alves (2006) afirma que a mandioca plantada no período chuvoso ocorre a diferenciação das raízes fibrosas em tuberosas entre o segundo e o terceiro mês após o plantio.

2.3.2 Concentrações de N e K nas partes da planta, extração e exportação de N e K

No plantio da época seca, o teor de N nas folhas da mandioca no momento da colheita foi afetado pelo manejo da poda, em que foram obtidos maiores teores nas plantas sem poda e sem fornecimento de K e menores teores nas plantas podadas e que receberam K (Tabela 3). O teor de N nas hastes foi afetado somente pelo manejo da poda nas duas épocas de plantio. No plantio da seca e das águas, o teor de N nas hastes da mandioca foi maior nas plantas podadas que receberam K. Porém, o menor teor de N nas hastes ocorreu nas plantas sem poda e com aplicação de K no plantio da seca e nas plantas sem poda e sem fornecimento de K no plantio das águas. Esse resultado mostra que a aplicação de K influenciou no teor de K nas hastes da mandioca, mas a poda não teve o mesmo efeito. O teor de N nas cepas foi afetado pelos fatores isolados no plantio da seca e não teve influência de nenhum dos fatores estudados no plantio das águas. No plantio da seca, o maior teor de N nas cepas ocorreu nas plantas sem poda, independente do fornecimento de K e foi menor nas plantas podadas. A aplicação de N aumentou linearmente os teores de N nas cepas no plantio da seca, mas não influenciou esta variável no plantio das águas (Figura 5a).

O teor de N nas raízes foi afetado pelos fatores isolados no plantio das águas e apenas pelas doses de N no plantio da seca (Tabela 3). No plantio das águas, os teores de N nas raízes das plantas podadas não foram alterados pela aplicação de K e não diferiram significativamente das plantas sem poda e adubadas com K. O menor teor de N nas raízes foi obtido nas plantas sem poda e sem K. A aplicação de N aumentou de forma linear os teores de N nas raízes de mandioca no plantio da seca e até a dose de 148 kg ha⁻¹ de N no plantio das águas (Figura 5b).

O teor de K nas folhas da mandioca foi afetado pelos fatores isolados no plantio da seca (Tabela 3). Tanto nas plantas podadas como sem poda da parte aérea, o

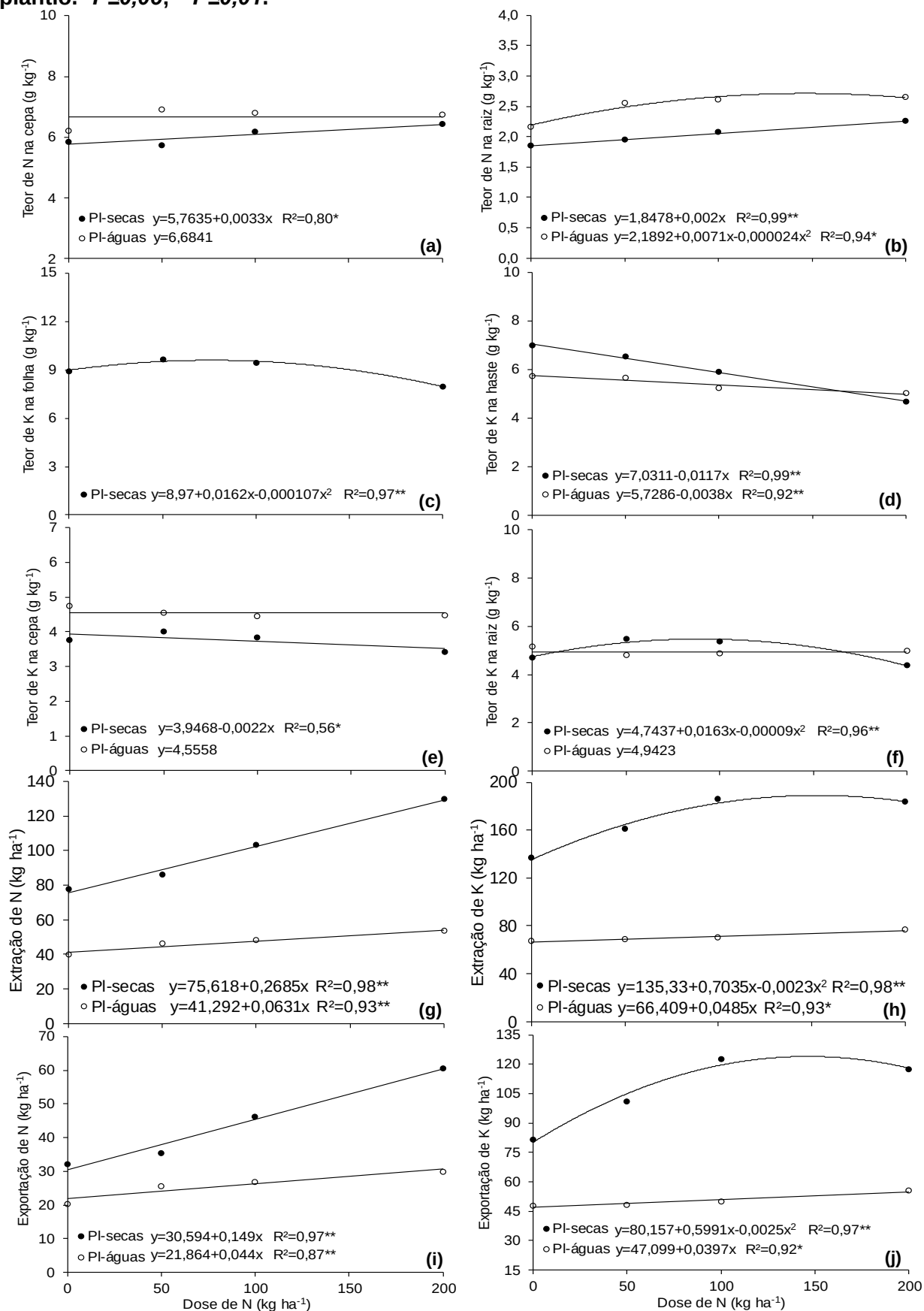
fornecimento de K proporcionou teores foliares mais elevados do que nas plantas que não receberam a aplicação do nutriente, mas nas plantas podadas que não receberam K os teores desse nutriente nas folhas foram similares ao das plantas sem poda e fertilizadas com K. A aplicação de N no início do segundo ciclo vegetativo aumentou os teores de K nas folhas de mandioca na colheita até a dose de 76 kg ha⁻¹ de N no plantio da seca (Figura 5c).

Tabela 3 – Concentrações de N e K nas folhas, hastes, cepas e raízes na colheita, extração (Ext.) e exportação (Export.) de N e K pela cultura da mandioca em resposta ao manejo da poda e da aplicação de K e de doses de N em duas épocas de plantio, e análise de variância.

Variáveis	Manejos ⁽¹⁾				ANOVA ($P>F$)		
	CP-SK	CP-CK	SP-SK	SP-CK	Manejo (M)	Dose N (N)	M x N
Plantio da seca (junho)							
N na folha (g kg ⁻¹)	32,0ab	30,8b	35,0a	32,0ab	0,0500	NS	NS
K na folha (g kg ⁻¹)	8,7bc	9,8a	8,3c	9,3ab	0,0333	0,0033	NS
N na haste (g kg ⁻¹)	4,0ab	4,1a	4,0ab	3,6b	0,0500	NS	NS
K na haste (g kg ⁻¹)	5,2b	6,7a	5,2b	6,9a	0,0090	<0,0001	NS
N na cepa (g kg ⁻¹)	5,6b	5,7b	6,4a	6,5a	0,0212	0,0500	NS
K na cepa (g kg ⁻¹)	3,5a	4,1a	3,5a	4,0a	NS	0,0500	NS
N na raiz (g kg ⁻¹)	2,1a	1,9a	2,1a	2,1a	NS	0,0043	NS
K na raiz (g kg ⁻¹)	4,2b	5,4a	4,6b	5,7a	0,0053	0,0013	NS
Ext. de N (kg ha ⁻¹) ⁽²⁾	105a	101a	97a	94a	NS	<0,0001	NS
Ext. de K (kg ha ⁻¹) ⁽²⁾	148b	185a	146b	188a	0,0243	<0,0001	NS
Export. de N (kg ha ⁻¹)	43a	38a	47a	48a	NS	<0,0001	NS
Export. de K (kg ha ⁻¹)	83b	110ab	99b	131a	0,0199	<0,0001	NS
Plantio das águas (outubro)							
N na haste (g kg ⁻¹)	5,5ab	5,7a	4,8b	5,4ab	0,0500	NS	NS
K na haste (g kg ⁻¹)	5,5b	6,3a	4,2c	5,7ab	0,0001	0,0392	NS
N na cepa (g kg ⁻¹)	6,5a	6,6a	6,8a	6,9a	NS	NS	NS
K na cepa (g kg ⁻¹)	4,1a	4,7a	4,4a	5,0a	NS	NS	NS
N na raiz (g kg ⁻¹)	2,7a	2,4ab	2,3b	2,6a	0,0500	0,0008	NS
K na raiz (g kg ⁻¹)	4,6a	5,2a	4,7a	5,3a	NS	NS	NS
Ext. de N (kg ha ⁻¹) ⁽²⁾	47ab	47ab	44b	50a	0,0492	<0,0001	NS
Ext. de K (kg ha ⁻¹) ⁽²⁾	65b	75a	66b	76a	0,0395	0,0050	NS
Export. de N (kg ha ⁻¹)	27a	24a	24a	27a	NS	0,0003	NS
Export. de K (kg ha ⁻¹)	46b	52ab	50ab	55a	0,0500	0,0500	NS

Valores seguidos pelas mesmas letras nas linhas não diferem entre si pelo teste de LSD ($P\leq 0,05$). NS: não significativo. ⁽¹⁾ CP-SK = com poda e sem K; CP-CK = com poda e com 90 kg ha⁻¹ de K₂O; SP-SK = sem poda e sem K; SP-CK = sem poda e com 90 kg ha⁻¹ de K₂O. ⁽²⁾ Nos manejos CP-SK e CP-CK a extração de N ou K considerou a soma das quantidades de cada nutriente removidas das parcelas com a poda na fase de repouso fisiológico e as quantidades presentes na planta inteira no momento da colheita.

Figura 5 – Concentrações de N nas cepas (a) e raízes (b), de K nas folhas (c), hastes (d), cepas (e) e raízes (f), extração de N (g) e K (i) e exportação de N (h) e K (j) pela cultura da mandioca em resposta à aplicação de doses de N em cobertura em duas épocas de plantio. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$.



O teor de K nas cepas foi afetado pelas doses de N no plantio da seca e não teve influência dos fatores estudados no plantio das águas (Tabela 3). No plantio da seca, o teor de K nas cepas da mandioca diminuiu linearmente com a aplicação de N e não foi afetada pelas doses de N no plantio das águas (Figura 5e). É conhecido que N e K têm interações sinérgicas (RIETRA et al., 2015). Baligar et al. (2001) observaram o efeito sinérgico entre N e K no tecido vegetal, constatando que baixas aplicações de N resultaram em baixo teor de K no tecido vegetal, enquanto altas doses de N aumentaram o teor de K. Porém, no presente estudo para os teores de K nas hastes e cepas da cultura mandioca observou-se efeito contrário ao relatado.

No plantio da seca, o teor de K nas raízes da mandioca foi afetado pelos fatores isolados e no plantio das águas ele não foi influenciado pelos fatores estudados (Tabela 3). No plantio da seca, a aplicação de K no segundo ciclo aumentou o teor de K nas raízes das plantas, independentemente da realização ou não da poda da parte aérea. A aplicação de N aumentou o teor de K nas raízes das plantas até a dose de 90 kg ha⁻¹ de N somente no plantio da seca (Figura 5f).

A extração de N pela planta de mandioca foi afetada pelo fator doses de N no plantio da seca e pelos fatores isolados no plantio das águas (Tabela 3). No plantio das águas, as plantas sem poda e que receberam K apresentaram maior extração de N em relação aos outros manejos, porém não diferiu significativamente das plantas podadas, independente do fornecimento de K.

A extração de K pela planta de mandioca foi afetada pelos fatores isolados nas duas épocas de plantio (Tabela 3). Em ambas as épocas de plantio, a maior extração de K ocorreu pelas plantas manejadas com e sem a poda da parte aérea e que receberam K em cobertura no 2º ciclo da cultura.

Dessa forma, observou-se um aumento de 26 e 15% na extração de K pelas plantas com e sem poda e que receberam K em relação às podadas e não podadas e sem K, no plantio da seca e das águas, respectivamente. De maneira geral, nas duas épocas de plantio a maior extração de N e K não teve influência do manejo da poda, o que é de se esperar tendo em vista que a maior extração de nutrientes está diretamente relacionada com os maiores teores dos mesmos e de quantidades de MS acumuladas nas plantas (Tabelas 2 e 3), tendo em vista que a MS acumulada na planta foi somada com o material retirado no momento da poda.

A aplicação de N no segundo ciclo da mandioca aumentou linearmente a extração de N pela mandioca em ambos os plantios (Figura 5g), enquanto a extração de K

aumentou de forma linear no plantio das águas e até a dose estimada de 153 kg ha^{-1} de N no plantio da seca (Figura 5h). Esses resultados demonstram que a aplicação de N no segundo ciclo da cultura da mandioca aumentou a absorção de N e K pela planta de mandioca.

Howeler e Cadavid (1983) citam que plantas de mandioca que receberam altos níveis de fertilização absorveram mais nutrientes do que as plantas não fertilizadas, o que segundo esses autores, é resultado da melhoria do sistema radicular e da maior produção de MS das plantas. De modo geral, na máxima dose de N avaliada neste estudo, a absorção de N pela planta de mandioca com a adubação nitrogenada no segundo ciclo foi de 130 e 53 kg ha^{-1} no plantio da seca e das águas, respectivamente. A máxima absorção de K foi de 183 e 77 kg ha^{-1} no plantio da seca e das águas, respectivamente. Fernandes et al. (2017), em estudo com adubação potássica na mandioca no segundo ciclo vegetativo, obtiveram absorção máxima de 76 e 152 kg ha^{-1} de N e K, respectivamente. Estudos que avaliaram a absorção de N no primeiro ciclo da mandioca obtiveram valores de extração da ordem de 113 e 152 kg ha^{-1} de N e 79 e 162 kg ha^{-1} de K (LORENZI et al., 1981; HOWELER; CADAVID, 1983).

A exportação de N da mandioca foi afetada somente pela aplicação de N no segundo ciclo da cultura em ambos os plantios (Tabela 3). Já a exportação de K foi afetada pelos fatores isolados nas duas épocas de plantio. No plantio da seca a maior exportação de K ocorreu nas plantas sem poda e que receberam K, com aumento aproximado de 57% em relação às plantas podadas e sem aplicação K. Porém, a exportação de K pelas raízes das plantas podadas que receberam K não diferiu significativamente das plantas sem poda e com fornecimento de K. No plantio das águas houve diferença significativa na exportação de K apenas entre o manejo sem poda e com fornecimento de K e o manejo com poda e sem K, sendo que os maiores valores de exportação ocorreram no manejo sem poda e com K.

A aplicação de N no segundo ciclo da cultura aumentou linearmente a exportação de N pelas raízes da mandioca no plantio da seca e das águas (Figura 5i). Houve aumento de forma linear da quantidade de K exportado pelas raízes da mandioca no plantio das águas e até a dose estimada de 146 kg ha^{-1} de N no plantio da seca (Figura 5j). Esses resultados se devem ao maior acúmulo de MS e ao aumento da concentração de N e K nas raízes da mandioca com as doses de N aplicados no segundo ciclo, mostrando uma relação positiva (Figuras 4f, 5b e 5f).

2.3.3 Eficiência de uso e recuperação do N aplicado e eficiência de uso do N absorvido

A eficiência de uso do N aplicado (EUNAPR) e a eficiência de recuperação do N aplicado (ERNAPR) foram afetadas pela interação entre o manejo e as doses de N nas duas épocas de plantio (Tabela 4). No plantio da seca, o aumento nas doses de N no segundo ciclo da mandioca aumentou a EUNAPR nos manejos sem fornecimento de K, independentemente da realização ou não da poda (CP-SK e SP-SK), mas as doses crescentes de N diminuíram a EUNAPR no manejo das plantas podadas e fertilizadas com K (CP-CK) (Figura 6a). No manejo sem poda e com aplicação de K (SP-CK) a EUNAPR foi maior na dose de 100 kg ha⁻¹ de N; intermediária na dose de 200 kg ha⁻¹ de N e menor na dose de 50 kg ha⁻¹ de N. Sob baixo fornecimento de N (50 kg ha⁻¹), a EUNAPR foi maior nas plantas podadas que receberam aplicação de K, enquanto que na dose intermediária de N a maior EUNAPR ocorreu nas plantas supridas com K, mas sem poda. No entanto, na maior dose de N a plantas manejadas sem aplicação de K apresentaram maior a EUNAPR do que as plantas que receberam a suplementação de K, independentemente da realização ou não da poda.

Tabela 4 – Eficiência de uso do N aplicado para a produção de raízes (EUNAPR), eficiência de recuperação do N aplicado (ERNAPR) e eficiência de uso do N absorvido (EUNABS) da cultura da mandioca em resposta ao manejo da poda e da aplicação de K e de doses de N em duas épocas de plantio, e análise de variância.

Variáveis	Manejos ⁽¹⁾				ANOVA (<i>P>F</i>)		
	CP-SK	CP-CK	SP-SK	SP-CK	Manejo (M)	Dose N (N)	M x N
Plantio da seca (junho)							
EUNAPR (kg raiz kg ⁻¹ N)	66,3b	99,0a	71,3b	102,3a	0,0003	<0,0001	<0,0001
ERNAPR (%)	28,9a	21,1b	19,5b	19,8b	0,0022	<0,0001	<0,0001
EUNABS (kg MS kg ⁻¹ N) ⁽²⁾	301,8b	316,2b	331,4ab	346,9a	0,0411	0,0050	NS
Plantio das águas (outubro)							
EUNAPR (kg raiz kg ⁻¹ N)	33,5a	29,0b	19,7c	21,43c	<0,0001	<0,0001	<0,0001
ERNAPR (%)	11,8a	10,3a	5,4b	10,3a	<0,0001	<0,0001	0,0076
EUNABS (kg MS kg ⁻¹ N) ⁽²⁾	291,8b	301,0b	333,8a	289,6b	0,0436	0,0064	NS

Valores seguidos pelas mesmas letras nas linhas não diferem entre si pelo teste de LSD (*P*≤0,05). NS: não significativo. ⁽¹⁾ CP-SK = com poda e sem K; CP-CK = com poda e com 90 kg ha⁻¹ de K₂O; SP-SK = sem poda e sem K; SP-CK = sem poda e com 90 kg ha⁻¹ de K₂O. ⁽²⁾ Nos manejos CP-SK e CP-CK a MS total considerou a soma das quantidades de MS removidas das parcelas com a poda na fase de repouso fisiológico e as quantidades de MS presentes na planta inteira no momento da colheita.

No plantio das águas, o aumento nas doses de N não alterou a EUNAPR das plantas manejadas sem poda e sem fornecimento de K, mas quando houve

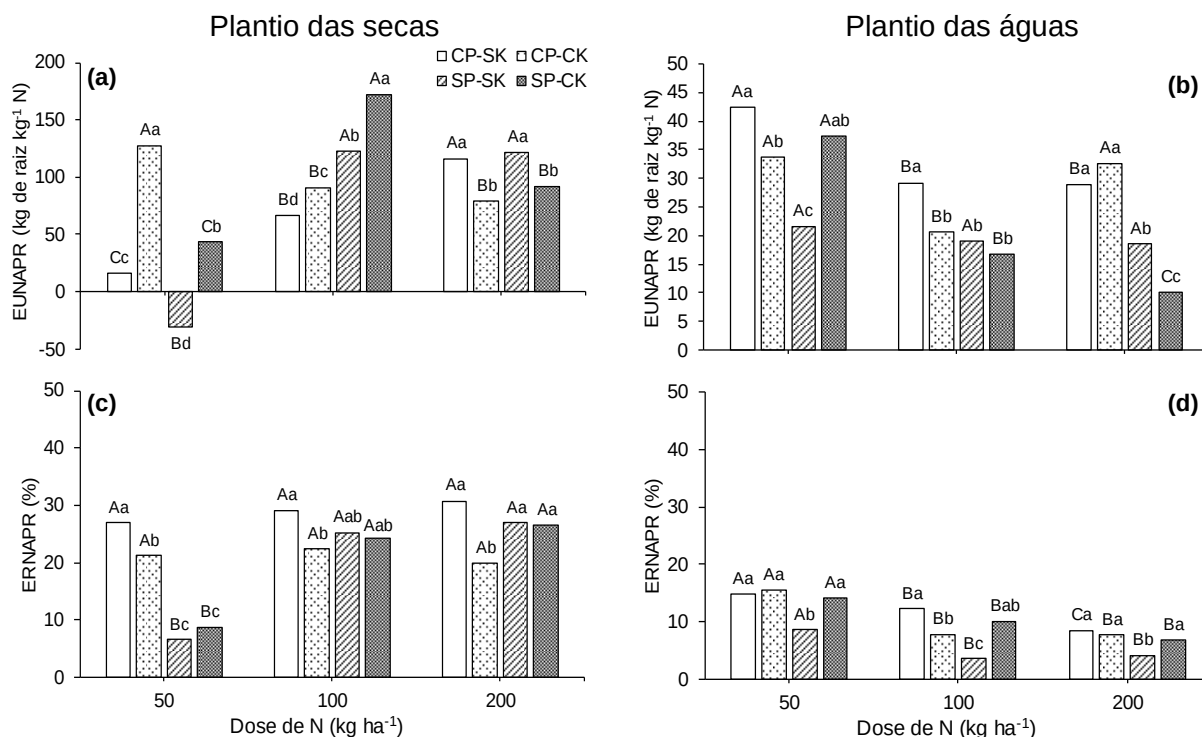
fornecimento de K as plantas manejadas sem poda reduziram a EUNAPR até a maior dose de N estudada (Figura 6b). Nas plantas podadas e sem aplicação de K o aumento nas doses de N também reduziu a EUNAPR, mas somente até os 100 kg ha⁻¹ de N, enquanto que nas plantas podadas e fertilizadas com K a EUNAPR não diferiu entre as doses de 50 e 200 kg ha⁻¹, mas foi maior do que na dose de 100 kg ha⁻¹. Na menor dose de N a EUNAPR foi maior nos manejos com poda e sem K e sem poda e com K, mas na dose intermediária de N as plantas manejadas com poda e sem fornecimento de K apresentaram maior EUNAPR. Sob alto fornecimento de N no segundo ciclo vegetativo da mandioca verificou-se que as plantas manejadas com poda da parte aérea apresentaram maior EUNAPR do que as plantas manejadas sem poda, independentemente do fornecimento de K (Figura 6b).

A melhoria na eficiência do uso de fertilizantes depende da relação entre o período de aplicação do fertilizante e a absorção pelas culturas de acordo com os estágios fenológicos da planta (RENARD, 1997). Na cultura da mandioca a produção de raízes difere de acordo com o estágio de crescimento no qual o N é absorvido pela planta (BYJU; ANAND, 2009). Os resultados deste estudo mostram que no plantio da seca, quando se aplica baixas doses de N no início do segundo ciclo vegetativo da mandioca submetida à poda na fase de repouso fisiológico o fornecimento de K aumenta a EUNAPR, o que não ocorreu no plantio da época chuvosa (Figuras 6a e 6b). Além disso, vale destacar que no plantio da seca a EUNAPR foi maior do que no plantio das águas, o que demonstra que quando a mandioca é implantada na estação seca a resposta à aplicação de N no início do segundo ciclo é maior.

A eficiência de recuperação do N aplicado (ERNAPR) refere-se à porcentagem de N absorvido pela planta em relação à dose aplicada. No plantio da seca, o aumento nas doses de N no segundo ciclo vegetativo da mandioca não alterou significativamente a ERNAPR nas plantas manejadas com poda da parte aérea, mas nas plantas manejadas sem poda a aplicação de N aumentou a ERNAPR (Figura 6c). Isso ocorreu porque sob baixo suprimento de N (50 kg ha⁻¹) as plantas podadas apresentaram maior ERNAPR do que as plantas não podadas, indicando que nesta condição as plantas podadas têm uma maior capacidade de recuperar o N aplicado através do fertilizante, o que não se tornou tão evidente, quando aplicou-se doses mais altas de N em cobertura no segundo ciclo vegetativo. No plantio das águas, a maior ERNAPR também ocorreu na menor dose de N estudada (50 kg ha⁻¹ de N), a qual diminuiu com o aumento das doses de N aplicadas em todos os manejos da poda

estudados (Figura 6d). Em todas as doses de N a menor ERNAPR ocorreu nas plantas sem poda e sem fornecimento de K, enquanto que nas demais formas de manejo da poda a ERNAPR foi muito similar. Esses resultados mostram que as plantas manejadas sem poda e sem fornecimento de K no segundo ciclo apresentam uma menor capacidade de aproveitar o N aplicado via fertilizante nitrogenado no segundo ciclo da cultura.

Figura 6 – Eficiência de uso do N aplicado para a produção de raízes (EUNAPR) (a, b) e eficiência de recuperação do N aplicado (ERNAPR) (c, d) da cultura da mandioca plantada nas secas (a, c) e nas águas (b, d) em resposta à aplicação de doses de N em cobertura. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$. CP-SK = com poda e sem K; CP-CK = com poda e com 90 kg ha⁻¹ de K₂O; SP-SK = sem poda e sem K; SP-CK = sem poda e com 90 kg ha⁻¹ de K₂O. Médias seguidas de letras distintas minúscula para o fator manejo e maiúscula para o fator dose, diferem entre si pelo teste LSD ($P \leq 0,05$).



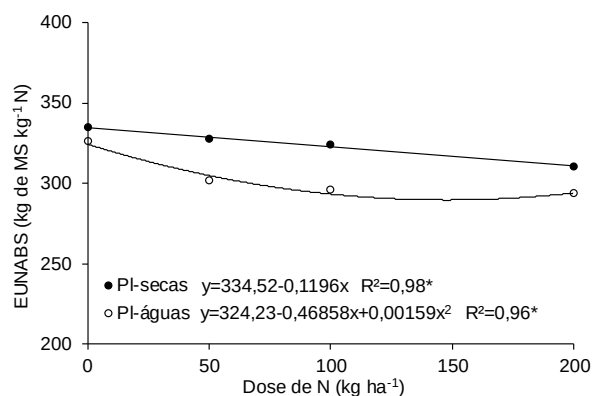
Apesar da ERNAPR ter sido baixa em ambos os cultivos, no plantio das águas ela foi menor e apresentou valores inferiores a 18% em todos os tratamentos, enquanto que no plantio das secas a ERNAPR chegou a valores da ordem de 29% (Figuras 6c e 6d). Esses resultados estão de acordo com os dados da literatura que indicam que a eficiência de recuperação de nutrientes pelas culturas é, em geral, baixa (BALIGAR; BENNETT, 1986; FAGERIA, 1998). Pesquisadores citam que sob condições tropicais e subtropicais, a eficiência do fertilizante aplicado é muito baixa, apresentando, de

forma geral, eficiência menor que 50% para o N e em torno de 40% para o K (BALIGAR; BENNETT, 1986; BALIGAR et al., 2001). Fageria (2000) e Fageria et al. (1997) encontraram eficiência de recuperação de 15 e 66% para N e K, respectivamente, na cultura de arroz de terras altas no bioma Cerrado. Vale destacar que, apesar dos resultados indicarem que, principalmente no plantio da seca, as mandiocas podadas na fase de repouso fisiológico apresentam maior ERNAPR, não houve interação das formas de manejo-poda com a adubação nitrogenada, indicando que as diferenças observadas na ERNAPR entre as formas de manejo não foram suficientes para alterar a produtividade de raízes.

A eficiência de uso do N absorvido (EUNABS) corresponde à relação da quantidade de MS produzida pela planta com a quantidade de N absorvido pela planta. A EUNABS foi influenciada pelos fatores isolados nas duas épocas de plantio (Tabela 4). No plantio da seca, a maior EUNABS ocorreu nas plantas sem poda e com fornecimento de K, enquanto que as menores EUNABS ocorreram nas plantas podadas, independentemente de ter sido fornecido K. No plantio das águas, as plantas não podadas e sem fornecimento de K apresentaram maior EUNABS do que os outros manejos. A ausência de interação entre as formas de manejo da poda com as doses de N mostra que não houve um efeito sinérgico da aplicação combinada de N e K no segundo ciclo sobre a produção de biomassa das plantas de mandioca.

No plantio da seca, a aplicação das doses de N no segundo ciclo da mandioca reduziu linearmente a EUNABS, enquanto no plantio das águas, a redução na EUNABS ocorreu até a dose estimada de 147 kg ha⁻¹ de N (Figura 7).

Figura 7 – Eficiência de uso do N absorvido (EUNABS) da cultura da mandioca em resposta à aplicação de doses de N em cobertura em duas épocas de plantio. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$.



Esses resultados confirmam que a EUNABS tende a diminuir quando a cultura responde às doses crescentes de um nutriente (FAGERIA, 1998; SANGINGA et al., 2000), desde que os ganhos de biomassa não sejam na mesma magnitude da absorção e acúmulo do nutriente na planta (MARSCHNER, 1995; ZAMBROSI et al., 2012). Vale destacar que no plantio da seca a EUNABS foi maior do que na estação chuvosa, demonstrando que no plantio da seca as plantas de mandioca têm maior eficiência na produção de biomassa por unidade de N absorvido, e por isso, a resposta positiva da aplicação de N no segundo ciclo vegetativo sobre a produtividade de raízes é maior.

2.4 Conclusões

O acúmulo de biomassa nas plantas, a absorção e a exportação de N e K aumentaram com a aplicação de N no segundo ciclo vegetativo, mas a aplicação combinada de N e K após a fase de repouso fisiológico não potencializou o crescimento das plantas ou alterou a absorção e exportação de N e K.

Somente no plantio das secas a aplicação de K nas plantas podadas aumentou a EUNAPR sob baixo fornecimento de N, e nesta época de plantio a EUNABS foi maior do que no plantio das águas, independentemente do manejo da poda e do suprimento de K.

Referências

- AGUIAR, E. B. **Estudo da poda da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)**. 2011. Tese (Doutorado em Agronomia - Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.
- AGUIAR, E. B.; BICUDO, S. J.; CURCELLI, F.; FIGUEIREDO, P. G.; CRUZ, C. S. Épocas de poda e produtividade da mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 11, p.1463-1470, 2011.
- ALVES, A. A. C. Fisiologia da mandioca. *In*: SOUZA, L. S. FARIAS, A. R. N.; MATTOS, P. L. P.; FUKUDA, W. M. G. (eds). **Aspectos socioeconômicos e agrônômicos da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006. p.138-169.
- BALIGAR, V. C.; BENNETT, O. L. NPK-fertilizer efficiency - a situation analysis for the tropics. **Fertilizer Research**, v.10, p.147-164, 1986.
- BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K.; HE, Z. L. Nutrient use efficiency in plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 32, p. 921-950. 2001.
- 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, p. 1-23, e00759, 2018.
- BOERBOOM, B. W. J. A model of dry matter distribution in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 26, p. 267-277, 1978.
- BYJU, G.; ANAND, M. H. Differential response of short- and long-duration cassava cultivars to applied mineral nitrogen. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 172, p. 572-576, 2009.
- BYJU, G.; RAVINDRAN, C. S.; NEDUNCHEZHIAN, M. **Site-specific nutrient management as a precision farming tool for cassava cultivation in Tamil Nadu, India**. *In*: Abstract of papers: 14th Triennial symposium of the International Society for Tropical Tuberous root Crops. Thiruvananthapuram, Kerala, India, 2006. p. 185-186.
- CARDOSO JÚNIOR, N. S.; VIANA, A. E. S.; MATSUMOTO, S. N. SEDIYAMA, T.; CARVALHO, F. M. Efeito do nitrogênio em características agrônômicas da mandioca. **Bragantia**, v. 64, p. 651-659, 2005.
- CONCEIÇÃO, A. J. **A mandioca**. São Paulo: Nobel, 1981.
- CORREIA, H.; BEZAGO, J. C. E. O.; BRANDÃO, S. S.; GOMES, F. R. Efeito da poda de ramas de mandioca na produção de ramas e raízes. **Revista Ceres**, v. 20, p.148-157, 1973.

CRUZ, J. L.; MOSQUIM, P. R.; MATTA, F. M.; PELACANI, C. R.; ARAÚJO, W. L. Influência da fertilização nitrogenada sobre a produção e a distribuição de matéria seca em plantas de mandioca. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO*, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais [...]** Botucatu/Jaboticabal: SBSCS, 2003. CD-ROM.

EL-SHARKAWY, M. A. International research on cassava photosynthesis, productivity, eco-physiology, and responses to environmental stresses in the tropics. **Photosynthetica**, v.44, p.481-512, 2006.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. **Growth and mineral nutrition of field crops**. 2. ed. New York, NY: MARCEL DEKKER, 1997.

FAGERIA, N. K. Eficiência do uso de potássio pelos genótipos de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n. 10, p. 2115-2120, 2000.

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, p. 6-16, 1998.

FAGUNDES, L. K.; STRECK, N. A.; LOPES, S. J.; ROSA, H. T. R.; WALTER, L. C.; ZANON, A. J. Desenvolvimento vegetativo em diferentes hastes da planta de mandioca em função da época de plantio. **Ciência Rural**, v. 39, p. 657-663, 2009.

FERNANDES, A. M.; GAZOLA, B.; NUNES, J. G. 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. 20, p. 2785-2796, 2017.

FIGUEIREDO, P. G. **Componentes agronômicos e índices fisiológicos da mandioca correlacionados ao preparo do solo**. 2014. Tese (Doutorado em Agronomia – Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

HOWELER, R. H.; CADAVID, L. F. Acumulação e distribuição de matéria seca e nutrientes durante um ciclo de crescimento de mandioca em 12 meses. **Pesquisa de Culturas de Campo**, v. 7, p. 123-39, 1983.

HOWELER, R. H. Cassava mineral nutrition and fertilization. *In: HILLOCKS, R. J.; THRESH, J. M.; BELLOTTI, A. C. (eds.). Cassava biology, production and utilization*. UK: CABI Publishing, 2002. p. 115-47.

HOWELER, R. H. Dry matter accumulation and nutrient absorption and distribution during the growth cycle of cassava. *In: CIAT. Centro Internacional de Agricultura Tropical. The Cassava Handbook. A Reference Manual based on the Asian Regional Cassava Training Course, held in Thailand*. Bangkok: CIAT. 2011. p. 351-410.

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. **Mineral Nutrition and Fertilization of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz)**. Cali, Colombia: International Center for Tropical Agriculture. 1981.

HOWELER, R. H. Nutricion mineral e fertilizacion de la yuca. *In*: CIAT. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. **Yuca**: investigacion, produccion y utilizacion. Cali: CIAT, 1982. p. 317-357.

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.

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

LEONEL, M.; FELTRAN, J. C.; AGUIAR, E. B.; FERNANDES, A. M.; PERESSIN, V. A.; BICUDO, A. J. Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). *In*: LEONEL, M.; FERNANDES, A. M.; FRANCO, C. M. L. (coord.). **Culturas amiláceas**: batata-doce, inhame, mandioca e mandioquinha-salsa. Botucatu: CERAT/UNESP, 2015. p. 183-326.

LÔBO, L. P.; FIGUEIREDO, P. J. P. G.; SOARES, I.; FIGUEIREDO, R. W. Respostas da mandioca a adubação NPK em Neossolos Quartzarênicos. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais [...]** Recife: SBSCS, 2005. CD-ROM.

LORENZI, J. O. **Absorção de macronutrientes e acumulação de matéria seca para duas cultivares de mandioca**. 1978. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1978.

LORENZI, J. O. **Mandioca**. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 2003. (Boletim técnico, 245).

LORENZI, J. O.; GALLO, J. R.; MALAVOLTA, E. Acumulação de matéria seca e macronutrientes por dois cultivares de mandioca. **Bragantia**, v. 40, p. 145-156, 1981.

LORENZI, J. O.; MONTEIRO, P. A.; MIRANDA FILHO, H. S.; van RAIJ, B. Raízes e tubérculos. *In*: van RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. p. 221-229. (Boletim Técnico, 100).

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995.

NGUYEN, H.; SCHOENAU, J. J.; NGUYEN, D.; VAN REES, K.; BOEHM, M. Effects of long-term nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization on cassava yield and plant nutrient composition in north Vietnam. **Journal of Plant Nutrition**, v. 25, p. 425-442, 2002.

OLIVEIRA, S. P.; VIANA, A. E. S.; MATSUMOTO, S. N.; CARDOSO JÚNIOR, N. S.; SEDIYAMA, T.; SÃO JOSÉ, A. R. Efeito da poda e de épocas de colheita sobre características agronômicas da mandioca. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, p. 99-108, 2010.

ORIOLO, G. A.; MOGILNER, I.; BARTRA, W. L.; SEMIENCHUK, P. A. Acumulacion de materia seca, N, P, K y Ca en Manihot esculenta. **Bonplandia**, v. 2, n. 13, p. 175-182, 1967.

PEIXOTO, J. R.; BERNARDES, S. R.; SANTOS, C. M.; BONNAS, D. S.; FIALHO, J. F.; OLIVEIRA, J. A. Desempenho agronômico de variedades de mandioca mansa em Uberlândia. **Revista Brasileira de Mandioca**, v. 18, n. 1, p. 19-24, 2005.

PERESSIN, V. A. **Manejo integrado de plantas daninhas na cultura da mandioca**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2010.

van RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas Instituto Agrônomo, 2001.

RENARD, C. **Crop residues in sustainable mixed crop / livestock farming system**. Oxon, UK: CAB International, ICRISAT, ILRI, 1997.

RIETRA, R. P. J. J.; HEINEN, M.; DIMKPA, C.; BINDRABAN, P. S. Effects of nutriente antagonism and synergism on fertilizer use efficiency. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 48, p.1895-1920, 2015.

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.; ARAÚJO, H. S.; NARITA, N. Crescimento, fenologia e produtividade de cultivares de mandioca1. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 4, p. 552-558, 2011.

SAGRILO, E.; OTSUBO, A. A.; SILVA, A. S.; ROHDEN, V. S.; GOMEZ, S. A. **Comportamento de Cultivares de Mandioca no Vale do Ivinhema**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2007. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 43)

SAGRILO, E. VIDIGAL-FILHO, P.S.; PEQUENO, M.G.; SCAPIM, C.A.; GONÇALVES-VIDIGAL, M.C.; MAIA, R.R.; KVITSCHAL, M.V. Efeito da época de colheita no crescimento vegetativo, na produtividade e na qualidade de raízes de três cultivares de mandioca. **Bragantia**, v. 61, n. 2, p. 115-125, 2002.

SAGRILO, E.; VIDIGAL FILHO, P. S.; PEQUENO, M. G.; VIDIGAL, M. C. G.; SCAPIM, C. A.; KVITSCHAL, M. V.; MAIA, R. R.; 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.

SANGINGA, N.; LYASSE, O.; SINGH, B. B. Phosphorus use efficiency and nitrogen balance of cowpea breeding lines in a low P soil of the derived savanna zone in West africa. **Plant and soil**, v. 220, p. 119-128, 2000.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (eds.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

SILVA, J. V.; MIGLIORANZA, É.; KANTHACK, R. A. D. Aspectos produtivos de cultivares de mandioca na região de Presidente Prudente, SP, Brasil. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia**, v. 1, n. 4, 29-34. 2011.

SOUZA, L. D.; SOUZA, L. S.; GOMES, J. C. Exigências edáficas da cultura da mandioca. *In*: SOUZA, L. S.; FARIAS, A. R. N.; MATTOS, P. L. P.; FUKUDA, W. M. G. (eds). **Aspectos socioeconômicos e agrônômicos da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006. p. 170-208.

TERNES, M. Fisiologia da Planta. *In*: CEREDA, M. P. (ed.). **Agricultura: tuberosas amiláceas latino americanas**. v. 2. São Paulo: Fundação Cargill, 2002. p. 66-82.

THUMMANATSAKUN, V.; YAMPRACHA, S. Effects of interaction between nitrogen and potassium on the growth and yield of cassava. **International Journal of Agricultural Technology**, v. 14, n. 7, p. 2137-2150, 2018.

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, p. 550-555, 2013.

VELTKAMP, H. J. Partitioning of dry matter in cassava. **Agricultural University Wageningen Papers**. Wageningen, v. 85, p. 62-72, 1985.

XU, G.; WOLF, S.; KAFAFI, U. Ammonium on potassium interaction in sweet pepper. **Journal of Plant Nutrition**, v. 25, p. 719-734, 2002.

ZAMBROSI, F. C. B.; MATTOS JR., D; FURLANI, P. R.; QUAGGIO, J. A.; BOARETTO, R. M. Eficiência de absorção e utilização de fósforo em porta-enxertos cítricos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 485-496, 2012.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O manejo da poda da parte aérea na fase de repouso fisiológico, seguida da adubação potássica de cobertura não interferiu na produtividade de raízes, amido e farinha, mas no plantio das águas as plantas podadas na fase de repouso fisiológico precisaram receber K em cobertura no segundo ciclo para manterem os mesmos teores de amido nas raízes e rendimento de farinha que as plantas conduzidas sem a poda da parte aérea.

A aplicação de N na cultura da mandioca no segundo ciclo vegetativo e após a poda da parte aérea mostrou-se eficiente para estimular a rebrota das plantas e a reconstituição da área foliar, aumentando o IAF e a produtividade de raízes. Além disso, a adubação nitrogenada de cobertura no segundo ciclo vegetativo aumentou o índice de área foliar das plantas no segundo ciclo e as produtividades de raízes, amido, farinha de mandioca, extração e exportação de N e K pelas plantas de mandioca de uso industrial, com melhores respostas na mandioca plantada na estação seca.

A adubação nitrogenada no início do segundo ciclo vegetativo da mandioca proporcionou aumento na produção de raízes com alta eficiência no uso do N aplicado.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, E. B.; BICUDO, S. J.; CURCELLI, F.; FIGUEIREDO, P. G.; CRUZ, C. S. Épocas de poda e produtividade da mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 11, 2011.
- CARDOSO JÚNIOR, N. S.; VIANA, A. E. S.; MATSUMOTO, S. N. SEDIYAMA, T.; CARVALHO, F. M. Efeito do nitrogênio em características agrônômicas da mandioca. **Bragantia**, Campinas, v. 64, p. 651-659, 2005.
- CARDOSO, C. E. L.; SOUZA, J. S. Importância, potencialidades, e perspectivas do cultivo da mandioca na América Latina. In: CEREDA, M. P. (ed.). **Agricultura: tuberosas amiláceas latino americanas**. v. 2. São Paulo: Fundação Cargill, 2002. p. 29-47.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Mandioca**: Análise Mensal - Abril/2019. 2019. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-mandioca> > Acesso em: 04/09/2019.
- CONCEIÇÃO, A. J. **A mandioca**. São Paulo: Nobel, 1981.
- CRUZ, J. L.; MOSQUIM, P. R.; MATTA, F. M.; PELACANI, C. R.; ARAÚJO, W. L. Influência da fertilização nitrogenada sobre a produção e a distribuição de matéria seca em plantas de mandioca. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais [...]** Botucatu/Jaboticabal: SBCS, 2003. CD-ROM.
- EL-SHARKAWY, M. A. International research on cassava photosynthesis, productivity, eco-physiology, and responses to environmental stresses in the tropics. **Photosynthetica**, v.44, p.481-512, 2006.
- FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FAOSTAT**: Production-Crops. 2018. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: Ago. 2018.
- FERNANDES, A. M.; GAZOLA, B.; NUNES, J. G. 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. 20, p. 2785-2796, 2017a.
- FERNANDES, A. M.; SILVA, J. A.; ABRAMI, L. S.; GAZOLA, B.; NUNES, J. G. S. Nutrição foliar e produtividade da mandioca em resposta ao manejo da adubação potássica em solo arenoso. In: REUNIÃO PARANAENSE DE CIÊNCIA DO SOLO, 5. / SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS ARENOSOS, 2., 2017b, Maringá. **Anais [...]** Maringá-PR: SBCS/UEM/COCAMAR, 2017b. v. único. Online.

HOWELER, R. H. **Mineral Nutrition and Fertilization of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz)**. Cali, Colombia: International Center for Tropical Agriculture. 1981.

LEONEL, M.; FELTRAN, J. C.; AGUIAR, E. B.; FERNANDES, A. M.; PERESSIN, V. A.; BICUDO, A. J. Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). *In*: LEONEL, M.; FERNANDES, A. M.; FRANCO, C. M. L. (coord.). **Culturas amiláceas**: batata-doce, inhame, mandioca e mandioquinha-salsa. Botucatu: CERAT/UNESP, 2015. p. 183-326.

LÔBO, L. P.; FIGUEIREDO, P. J. P. G.; SOARES, I.; FIGUEIREDO, R. W. Respostas da mandioca a adubação NPK em Neossolos Quartzarênicos. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais [...]** Recife: SBCS, 2005. CD-ROM.

LORENZI, J. O. **Mandioca**. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 2003. (Boletim técnico, 245).

LORENZI, J. O.; GALLO, J. R.; MALAVOLTA, E. Acumulação de matéria seca e macronutrientes por dois cultivares de mandioca. **Bragantia**, v. 40, p. 145-156, 1981.

LORENZI, J. O.; MONTEIRO, P. A.; MIRANDA FILHO, H. S.; van RAIJ, B. Raízes e tubérculos. *In*: van RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. p. 221-229. (Boletim Técnico, 100).

MORAES, O.; MONDARDO, E.; VIZZOTTO, V.J.; MACHADO, M.O. **Adubação química e calagem da mandioca**. Florianópolis: EMPASC, 1981. (Boletim técnico, 8).

NGUYEN, H.; SCHOENAU, J. J.; NGUYEN, D.; VAN REES, K.; BOEHM, M. Effects of long-term nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization on cassava yield and plant nutrient composition in north Vietnam. **Journal of Plant Nutrition**, v. 25, p. 425-442, 2002.

NOGUEIRA, F.D.; GOMES, J.C. Mandioca. *In*: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5a aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG, 1999. p.312-313.

NORMANHA, E. S.; PEREIRA, A. S. **Instruções para a cultura da mandioca**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1962. (Boletim, 124).

ROGERS, D. J.; APPAN. *Manihot* and *Manihotoides* (Euphorbiaceae). **Flora Neotropica**, n. 13, p. 1-272, 1973.

SILVA, J. A.; FERNANDES, A. M.; ABRAMI, L. S.; GAZOLA, B.; NUNES, J. G. S. Absorção e exportação de potássio pela mandioca em resposta a doses e formas de

parcelamento do potássio em solo arenoso. *In*: Reunião Paranaense de Ciência do Solo, 5. / Simpósio Brasileiro de Solos Arenosos, 2., 2017, Maringá. **Anais [...]** Maringá-PR: SBCS/UEM/Cocamar, 2017. v. único. Online.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Calagem e adubação para culturas anuais e semiperenes. *In*: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (eds.). **Cerrado**: correção do solo e adubação. Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.303-304.

TAKAHASHI, M. Cultivo comercial na região centro-sul do Brasil. *In*: CEREDA, M.P. (coord.). **Agricultura**: tuberosas amiláceas Latino Americanas. v.2. São Paulo: Fundação Cargill, 2002. p.258-273.

TAKAHASHI, M. Épocas de poda na cultura da mandioca na região noroeste do Paraná, Brasil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 41, p. 495-500. 1998.