UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

JOSEMAR DÁVILA TORRES

PRODUTIVIDADE E EXPORTAÇÃO DE MACRONUTRIENTES POR CAFEEIROS (*Coffea canephora*) NA AMAZÔNIA OCIDENTAL

ROLIM DE MOURA
2019

JOSEMAR DÁVILA TORRES

PRODUTIVIDADE E EXPORTAÇÃO DE MACRONUTRIENTES POR CAFEEIROS (*Coffea canephora*) NA AMAZÔNIA OCIDENTAL

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, sob orientação do Pesq. Dr. Marcelo Curitiba Espindula

ROLIM DE MOURA

2019

JOSEMAR DÁVILA TORRES

PRODUTIVIDADE E EXPORTAÇÃO DE MACRONUTRIENTES POR CAFEEIROS (*Coffea canephora*) NA AMAZÔNIA OCIDENTAL

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, sob orientação do Pesq. Dr. Marcelo Curitiba Espindula.

APROVADO: 24 / 07 / 2019

Marcelo Curitiba Espindula

Pesq. Dr. Marcelo Curitiba Espindula

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária de Rondônia (Orientador)

Larissa Fatarelli Bento de Araújo

Drª. Larissa Fatarelli Bento de Araújo

Bolsista CAPES/PNPD Vinculado PGCA/UNIR (Membro Interno)

Rodrigo Barros Rocha

Pesq. Dr. Rodrigo Barros Rocha

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária de Rondônia (Membro Interno)

Alaerto Marcolan

Pesq. Dr. Alaerto Luiz Marcolan

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária de Rondônia (Membro Externo)

Marcela Campanharo

Profª. Drª Marcela Campanharo

Universidade Federal de Rondônia (Membro Externo)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Fundação Universidade Federal de Rondônia

Gerada automaticamente mediante informações fornecidas pelo(a) autor(a)

T693p Torres, Josemar.

Produtividade e exportação de macronutrientes por cafeeiros (coffea canephora) na Amazônia ocidental / Josemar Torres. -- Rolim de Moura, RO, 2019.

46 f.

Orientador(a): Prof. Dr. Marcelo Curitiba Espindula

Dissertação (Mestrado Acadêmico em Ciências Ambientais) - Fundação Universidade Federal de Rondônia

1.Fertilizantes. 2.Nitrogênio. 3.Potássio. 4.Conilon. 5.Sequeiro. I. Espindula, Marcelo Curitiba. II. Título.

CDU 633.73

Bibliotecário(a) Nágila N. Chaves CRB 6/363

A Deus pela vida;

A minha esposa ANA PAULA,

A minha mãe MARIA,

A minha irmã MARIA JOSÉ,

Aos meus amigos, pelo aprendizado mútuo,

Durante todo o tempo de convivência.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade de aprimoramento moral e intelectual, e por iluminar a minha vida

Ao Dr. Marcelo Curitiba Espindula pela orientação, pela confiança depositada em mim, pelas críticas e elogios ao meu trabalho, pela paciência.

Aos técnicos do Laboratório de Solos e Planta da Embrapa Rondônia, Dona Ademilde, Sr. Hozana, Valdemar, pelo incentivo e, principalmente pela amizade, carinho e confiança.

A minha "coorientadora" Larissa Fatarelli Bento de Araújo, pelo auxílio nas atividades, pelas críticas construtivas e, principalmente, pela amizade.

Aos colegas Marcão, Rodrigo, Victor pela amizade construída ao longo desses 24 meses de trabalho, que agora vou levar essa amizade para vida.

Ao Centro de Pesquisa Agroflorestal de Rondônia – EMBRAPA, pela oportunidade de execução do trabalho.

Aos pesquisadores da EMBRAPA Rondônia pelas orientações, em especial, Dr. Rodrigo Barros, Dr. Rogério Costa e Dr. José Roberto que tanto me incentivaram.

À Universidade Federal de Rondônia – UNIR, pela oportunidade de realização do curso de Pós Graduação em ciências Ambientais – PGCA.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais pelos preciosos ensinamentos.

A minha mãe, Maria Dávila da Silva e minha irmã Maria José Dávila Torres que me apoiaram desde do início da vida acadêmica.

A minha esposa, Ana Paula de Freitas Rodrigues que esteve sempre do meu lado, me apoiando tantos nas horas felizes e, principalmente, nas horas ruins, não me deixando desistir e incentivando a continuar.

Aos colegas de pós-graduação que demonstraram companheirismo e amizade nessa jornada.

A todas as pessoas que participaram direta ou indiretamente desta conquista.

Gratidão.

RESUMO

Informações sobre a nutrição de plantas clonais de *Coffea canephora* de alto rendimento agronômico, especialmente em condições amazônicas, ainda são escassas, o que incentiva estudos visando ajustes para maior eficiência do sistema de cultivo. Portanto, o conhecimento das exigências nutricionais de variedades clonais de *C. canephora* podem auxiliar no manejo nutricional e otimizar o uso de fertilizantes. Neste contexto, o objetivo geral neste estudo foi testar níveis de adubação de produção (N e K) em cafeeiros *C. canephora* 'Conilon – BRS Ouro Preto', em condições de sequeiro na Amazônia Ocidental. O estudo foi dividido em duas etapas, na primeira, o objetivo foi avaliar a influência de níveis de adubação nitrogenada e potássica de produção sobre a produtividade e eficiência do uso de fertilizantes em cafeeiros *C. canephora* 'Conilon – BRS Ouro Preto'. Na segunda parte, o objetivo foi quantificar a exportação de macronutrientes por frutos de cafeeiros *C. canephora* 'Conilon – BRS Ouro Preto', sob diferentes doses dos fertilizantes. Ambas etapas foram desenvolvidas no campo Experimental da Embrapa Rondônia, em Porto Velho, Rondônia. Foram testadas seis doses do fertilizante formulado 20-00-20, nas proporções de 0, 250, 500, 1.000, 2.000, 3.000 kg ha^{-1}. A primeira etapa foi realizada em esquema de parcelas subdivididas no tempo, compostos pela combinação das 6 doses do fertilizante e 3 anos de avaliação (safras 2014, 2015 e 2016). Na segunda etapa, utilizou-se apenas um ano de produção, 2015, para avaliação das 6 doses do fertilizante. Em ambos os casos o delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com 15 repetições em que cada repetição foi constituída por um clone da variedade 'Conilon– BRS Ouro Preto'. Conclui-se que, as doses do formulado não promovem alterações nos teores de macronutrientes dos frutos do cafeeiro *C. canephora*, mas, que o aumento das doses do formulado promove incremento exponencial da produtividade e, consequentemente, na exportação de macronutrientes pelos frutos, embora promova decréscimo exponencial na eficiência do uso do fertilizante. 9 93294936

Palavras-chave: Fertilizantes, Nitrogênio, Potássio, Conilon, Sequeiro

ABSTRACT

Information on the nutrition of high yielding Coffea canephora clonal plants, especially under Amazonian conditions, is still scarce, which encourages studies aiming at adjustments for greater efficiency of the cultivation system. Therefore, knowledge of the nutritional requirements of clonal varieties of C. canephora can assist in nutritional management and optimize fertilizer use. In this context, the general objective of this study was to test production (N and K) fertilization levels in C. canephora 'Conilon - BRS Ouro Preto' coffee trees under rainfed conditions in the Western Amazon. The study was divided into two stages. The first one aimed to evaluate the influence of nitrogen and potassium fertilization levels on productivity and efficiency of fertilizer use in C. canephora 'Conilon - BRS Ouro Preto' coffee trees. In the second part, the objective was to quantify the exportation of macronutrients by fruits of C. canephora 'Conilon - BRS Ouro Preto' coffee trees, under different doses of fertilizers. Both stages were developed in the Experimental field of Embrapa Rondônia, in Porto Velho, Rondônia. Six doses of the formulated fertilizer 20-00-20 were tested in the proportions of 0, 250, 500, 1,000, 2,000, 3,000 kg ha^{-1}. The first stage was carried out in a split-plot scheme, composed of a combination of 6 fertilizer doses and 3 years of evaluation (2014, 2015 and 2016 harvests). In the second stage, only one year of production, 2015, was used to evaluate the 6 doses of fertilizer. In both cases, the experimental design was completely randomized with 15 replications in which each repetition consisted of a clone of the 'Conilon - BRS Ouro Preto' variety. It can be concluded that the formulated doses do not promote changes in the macronutrient content of C. canephora coffee fruits, but that the increase of the formulated doses promotes exponential increase in productivity and, consequently, in the exportation of macronutrients by the fruits, although promote an exponential decrease in fertilizer use efficiency.

Key words: Fertilizers; Nitrogen; Potassium; Conilo; Sequeiro

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL **11**
1.1 Objetivos **12**
1.1.1 Objetivo geral **12**
1.1.2 Objetivos específicos **12**
REFERÊNCIAS **13**
2 PRODUTIVIDADE DE CAFEEIROS *Coffea canephora* **FERTILIZADOS COM DIFERENTES NÍVEIS DO FORMULADO 20-00-20, EM CONDIÇÕES DE SEQUEIRO** **14**
RESUMO **14**
ABSTRACT **15**
2.1 Introdução **16**
2.2 Material e Métodos **17**
2.3 Resultados **20**
2.4 Discussão **23**
2.5 Conclusão **24**
REFERÊNCIAS **25**
3 EXPORTAÇÃO DE MACRONUTRIENTES POR FRUTOS DE CAFEEIROS SUBMETIDOS A DIFERENTES DOSES DO FORMULADO 20-00-20 ..... **28**
RESUMO. **28**
ABSTRACT **29**
3.1 Introdução **30**
3.2 Material e métodos **31**
3.3 Resultados **35**
3.3.1 ***Teores de nutrientes*** **35**
3.3.2 ***Acúmulo de massa seca e exportação de nutriente*** **35**
3.4 Discussão **38**
3.4.1 ***Teores de nutrientes*** **38**
3.4.2 ***Acúmulos de massa seca e exportação de nutrientes*** **40**
3.5 Conclusão **41**
REFERÊNCIAS **42**
CONCLUSÃO GERAL **46**

1 INTRODUÇÃO GERAL

A cafeicultura destaca-se como uma atividade de grande importância para o Brasil. Atualmente, o país é o maior produtor e exportador de café do mundo, com produção de 65.500 milhões saca em 2018, 18,5% acima da safra anterior (OIC, 2019).

O gênero *Coffea* sp. compreende cerca de 120 espécies, entretanto, as duas principais espécies mais comercializada são o *Coffea arabica* e o *Coffea canephora*, que, juntas, correspondem por 99% da produção mundial (DAVIS et al., 2011). Atualmente, o estado de Rondônia é o segundo maior produtor da espécie *C. Canephora* do país, com 2.122 milhões sacas, em uma área de 62.729 ha^{-1}, com produtividade média de 33,7 sacas ha^{-1} (CONAB, 2019). Este resultado se deve o processo de renovação dos parques cafeeiros do estado de Rondônia, que nos últimos anos vem substituindo lavouras propagadas por sementes, por lavouras clonais formadas por mudas propagadas vegetativamente (estacas) (SOUZA et al., 2015).

Para atender a demanda do setor produtivo do estado, a Embrapa Rondônia registrou e protegeu uma variedade multiclonal de cafeeiros *C. canephora*, formada por quinze (clones) genótipos, recomendada para plantio nas condições da Amazônia Ocidental Brasileira (RAMALHO et al., 2014). Os trabalhos de seleção foram iniciados em 1998 e a variedade foi disponibilizada no ano de 2013, após 14 anos de estudo. Em razão das especificidades do mercado da época, a seleção foi direcionada para genótipos da variedade botânica Conilon, que são representadas por plantas de porte baixo, folhas estreitas, pouco tolerantes a ferrugem-alaranjada, mas, tolerante ao estresse hídrico típico das condições Amazônicas. Em razão de ser tipicamente Conilon e em homenagem ao município de Ouro Preto do Oeste, em Rondônia, a variedade recebeu a denominação de Conilon – BRS Ouro Preto.

Apesar dos estudos terem permitido a combinação de 15 genótipos para formar a variedade, informações sobre o manejo ainda são inexistente, especialmente com relação às exigências nutricionais. Isso recomenda a necessidade de avanço no conhecimento desta variedade, pois, um dos principais entraves para o crescimento da cafeicultura no estado de Rondônia são os elevados custos provenientes dos gastos com adubação, cerca de 19%, representado no custo final de produção (ARAÚJO, 2017).

Dessa forma, estudos que envolvam aspectos nutricionais, especialmente os que avaliam a calibração de doses de fertilizantes, são essenciais para definição da programação de adubação, considerando o potencial produtivo das plantas e o uso racional de fertilizantes, buscando a sustentabilidade econômica e ambiental do sistema produtivo.

1. 1 Objetivos

1.1.1 *Objetivo geral*

Testar doses de fertilizantes de produção (N e K) em cafeeiros *C. canephora* ‘Conilon – BRS Ouro Preto’, em condições de sequeiro na Amazônia Ocidental.

1.1.2 Objetivos específicos

Avaliar a influência de doses de fertilizantes nitrogenado e potássico de produção sobre a produtividade e eficiência do uso de fertilizantes em cafeeiros *C. canephora* ‘Conilon – BRS Ouro Preto’.

Quantificar a exportação de macronutrientes por frutos de cafeeiros *C. canephora* ‘Conilon – BRS Ouro Preto’, sob diferentes doses do fertilizante formulado 20-00-20 em condições de sequeiro, na Amazônia Ocidental.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, L. V. EMBRAPA. Rentabilidade da produção de café anima produtores de Rondônia. Agricultura Familiar. 2017. Disponível em:< https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/21560171/artigo--rentabilidade-da-producao-de-cafe-anima-produtores-de-rondonia>. Acesso em: 06 jan 2018.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: café, safra 2019. **CONAB**. v. 5, n. 2019.

DAVIS, A. P.; TOSH, J.; RUCH, N.; FAY, M. F. Growing coffee: *Psilanthus* (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of Coffea. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 167, p. 357-377, 2011.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION - ICO. 2019. Statistics. Disponível em <http://www.ico.org/trade_statistics. asp >. Acesso em: 07 de julho de 2019.

RAMALHO, A. R.; ROCHA, R. B.; VENEZIANO, W.; DOS SANTOS, M. MESSIAS. Cultivar de cafeeiro Conilon BRS Ouro Preto – características agronômicas e agroindustriais. **Comunicado Técnico,** n 396. EMBRAPA. 2014, 10 p.

SOUZA, F. de F.; FERRÃO, L. F. V.; CAIXETA, E. T.; SAKIYAMA, N. S.; PEREIRA, A. A.; OLIVEIRA, A. C. B. de. Aspectos gerais da biologia e da diversidade genética de *Coffea canephora*. (Ed.). **In**: MARCOLAN, A. L.; ESPINDULA, M. C. **Café na Amazônia.** p. 85-98. 2015.

2 PRODUTIVIDADE DE CAFEEIROS *Coffea canephora* FERTILIZADOS COM DIFERENTES DOSES DO FORMULADO 20-00-20 EM CONDIÇÕES DE SEQUEIRO.

RESUMO

Informações sobre o manejo do cafeeiro clonais de *Coffea canephora* de alto rendimento agronômico na Amazônia, ainda são escassas, especialmente no que se refere ao aspecto nutricional, o que incentiva estudos visando ajustes para maior eficiência do sistema de cultivo. Assim, o objetivo neste estudo foi avaliar a influência de doses de adubação nitrogenada e potássica e eficiência do uso de fertilizantes e a produtividade em cafeeiros *C. canephora.* O experimento foi conduzido no campo experimental da EMBRAPA Rondônia em Porto Velho, RO, em esquema de parcelas subdivididas no tempo, composto pela combinação de 6 doses de fertilizantes (0; 250; 500; 1.000; 2.000 e 3.000 kg ha^{-1} do formulado 20-00-20 e 3 anos de avaliação (safras 2014, 2015 e 2016). Foi observado interação entre os fatores doses e anos de avaliação. Para efeito de dose dentro de cada safra foi evidenciado comportamento exponencial, com produções máximas de 51, 114 e 79 sacas ha^{-1} na dose de 3.000 kg do formulado em todas as safras avaliadas, respectivamente. Este comportamento foi refletido nas produtividades média e acumulada das três safras. Quanto ao efeito de safras dentro de cada dose, a safra do ano de 2015 apresentou maior produtividade. Para a eficiência do uso dos fertilizantes, o comportamento foi exponencial decrescente apresentando maior eficiência na menor dose. Concluiu-se que, o aumento das doses do formulado promove incremento exponencial da produtividade e decréscimo na eficiência do uso de fertilizantes por cafeeiros *Coffea canephora.* Concluiu-se também que sob esse manejo ocorre forte bienalidade de produção.

Palavras-Chave: Conilon, Nitrogênio, Potássio, Eficiência do uso de fertilizantes

ABSTRACT

Information on the management of clonal plants of *Coffea canephora* of high agronomic yield, especially with respect to the nutritional aspect, is still restricted, which encourages studies aiming adjustments for greater efficiency of the cultivation system. Therefore, the objective was to evaluate the influence of nitrogen and potassium fertilization levels on production and the efficiency of fertilizer use by *Coffea canephora* coffee trees in upland conditions in the Western Amazon. The experiment was carried out in Porto Velho – RO, in a time-subdivided plots scheme, composed by the combination of 6 doses of fertilizers (0; 250; 500; 1.000; 2.000 and 3.000 kg ha-1 of the 20-00-20 formulation and 3 years of evaluation (harvests 2014, 2015 and 2016). Interaction between dose factors and years of evaluation was observed. For dose effect within each crop, exponential behavior was evidenced with maximum yields of 51, 114 and 79 sacks ha^{-1} in the 3.000 kg doses of the formulated 20-00-20 for the harvests of 2014, 2015 and 2016 respectively. This behavior was reflected in the average and accumulated yields of the three harvests. As for the effect of harvests within each dose, the harvest of the year 2015 showed higher productivity. For the efficiency of fertilizer use, the behavior was exponential decreasing, showing higher efficiency in the lowest dose. It was concluded that the increase in the doses of the formulated promotes an exponential increase in productivity and a decrease in the efficiency of fertilizer use by *Coffea Canephora* coffee trees.

Key words: Conilon; Nitrogen; Potassium; Fertilizer use efficiency.

2.1 Introdução

Nitrogênio e o potássio, junto com o cálcio são os três nutrientes acumulados em maiores quantidades na parte aérea vegetativa de cafeeiros *Coffea canephora* (BRAGANÇA et al., 2008). Além disso, esses nutrientes também são requeridos em grandes quantidades pelos frutos, durante a fase reprodutiva, onde o acúmulo de ambos os nutrientes pode ser superior a 10 mg por fruto ao final do período de enchimento (DUBBERSTEIN et al., 2016). Por isso, o nitrogênio e o potássio são os nutrientes requeridos em maiores quantidades durante a fase de frutificação e, consequentemente, são os que recebem maior atenção durante a elaboração de programas de manejo nutricional de cafeeiros conilon.

Apesar do conhecimento geral sobre as exigências nutricionais indicar que os nutrientes N e K são os mais requeridos pelos cafeeiros em produção, a demanda por esses nutrientes variam em função dos genótipos utilizados (PREZOTTI; BRAGANÇA, 2013; PARTELLI et al., 2014) e das condições ambientais do local de cultivo (LAVIOLA et al., 2008).

Com relação a influência dos genótipos, estudos mostram que variedades ou populações de *C. canephora* distribuídas pelo mundo são geneticamente distintas (MONTAGNON; CUBRY; LEROY, 2012), e que, mesmo dentro de um mesmo país, como o Brasil, existe variabilidade genéticas entre os genótipos cultivados comercialmente nas diferentes regiões produtoras de cafés desta espécie (FERRÃO et al., 2013; SOUZA et al., 2013). Assim, estudos que consideram a calibração de doses de nutrientes para esta cultura devem levar em consideração as características dos genótipos cultivados em cada região.

Sobre as condições ambientais, fatores como disponibilidade hídrica (PEZZOPANE et al., 2010) e temperaturas sub ou supra ótimas (RODRIGUES et al., 2018; RAMALHO et al., 2018) podem alterar o metabolismo dos cafeeiros e resultar em alteração no desempenho agronômico. Para as condições da Amazônia Brasileira, em especial, a ocorrência de temperaturas elevadas associadas a períodos de estiagem acentuado nos meses de junho a setembro (ALVARES et al., 2013), podem influenciar no desenvolvimento das plantas resultando em restrição do período de crescimento aos meses de maior precipitação e menor temperatura (DUBBERSTEIN et al., 2017). Com isso, o período destinado ao fornecimento de nutrientes fica restrito aos meses de crescimento, outubro a maio, especialmente em cultivos de sequeiro.

Para atender as particularidades edafoclimáticas da região Amazônica, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, desenvolveu uma variedade de cafeeiro clonal, denominada ‘Conilon - BRS Ouro Preto’ (RAMALHO et al., 2014), adaptada as condições de

cultivo da Amazônia Sul Ocidental brasileira. No entanto, informações sobre as respostas dessa variedade a aplicação de fertilizantes durante as fases de seu ciclo de crescimento ainda são restritas. Dessa forma, o objetivo neste estudo foi avaliar a influência de doses de adubação nitrogenada e potássica sobre a produtividade e sobre a eficiência do uso de fertilizantes em cafeeiros *C. canephora* 'Conilon – BRS Ouro Preto', em condições de sequeiro na Amazônia Ocidental

2.2 Material e métodos

O experimento foi instalado no Campo Experimental da Embrapa Rondônia, no município de Porto Velho – RO (8º53'20" S e 63º06'40" W), no período de novembro de 2013 a agosto de 2016. O clima da região segundo Köppen, é Am – tropical chuvoso, com chuva no verão (outubro a maio) e estiagem no inverno (junho a setembro). As temperaturas médias variam de 26,3°C no verão e 25,9°C no inverno. A precipitação média anual e de 2.200 mm (ALVARES et al., 2013). Os dados de precipitação pluvial, temperaturas e umidade relativa média, durante o período do experimento, foram obtidos por meio da estação meteorológica da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental (SEDAM, 2017) (Figura 1).

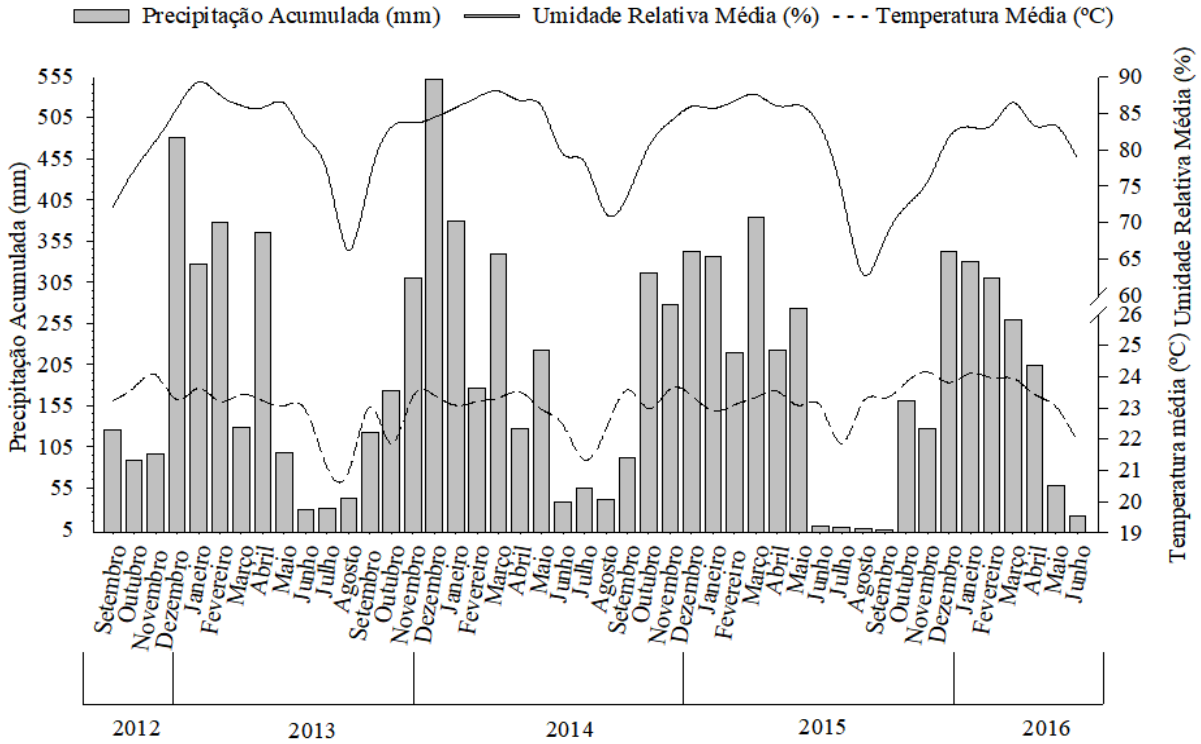

Figura 1 – Precipitação Acumulada (mm), Temperatura Média (ºC) e Umidade Relativa Média (%) referente aos anos de 2012, 2013, 2014, 2015 e 2016. Fonte: SEDAM (2017). Porto Velho – RO, 2017.

A área estava sendo cultivada com plantas de *Coffea canephora* da variedade Conilon – BRS Ouro Preto, composta por 15 genótipos (clones) de ciclo de maturação intermediário (maio), que apresentam características fenotípicas típicas das plantas do grupo botânico Conilon. A variedade foi desenvolvida sob condições de sequeiro (RAMALHO et al., 2014) e é recomendada para o cultivo na Amazônia Ocidental.

Os cafeeiros, que foram implantados em dezembro de 2008, receberam fertilizantes para produção de 70 sacas por hectare durante os anos/safras de 2009, 2010, 2011 e 2012 segundo as recomendações de Marcolan et al. (2009). Em setembro de 2012, as plantas receberam poda drástica das hastes ortotrópicas, para padronização da copa das plantas. Após a poda, os cafeeiros foram conduzidos com 6 hastes por planta (9.996 hastes por hectare, no espaçamento de 3×2m). De setembro de 2012 até maio de 2013, período que antecedeu a instalação do experimento, as plantas receberam 50 kg por hectare de P_2O_5, na forma de superfosfato triplo, 50 kg de nitrogênio na forma de ureia, 100 kg de nitrogênio na forma de sulfato de amônio, 60 kg de K_2O na forma de cloreto de potássio e 30 kg por hectare do fertilizante FTE BR 12®. Os demais tratos culturais foram realizados seguindo as recomendações técnicas para a cultura na região (MARCOLAN e ESPINDULA, 2015).

O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa (EMBRAPA, 2013) e seus atributos químicos e físicos foram determinadas nas camadas de 00-10, 10-20 e 20-40 cm, em julho de 2013 (Tabela 1). Em agosto de 2013, antes do início do emprego dos tratamentos, foram aplicadas quatro toneladas de calcário dolomítico (com 76 % de PRNT) em superfície, sem incorporação. Em setembro de 2014 foram aplicadas mais duas toneladas de calcário dolomítico (com 76 % de PRNT) em superfície, sem incorporação.

Tabela 1 - Atributos químicos e físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo da Estação Experimental da Embrapa Rondônia, nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm. Porto Velho, 2013.

Camadas (cm)	pH	P	K	Ca	Mg	Al+H	Al	CTC	MO	m	V
	H_2O	mg dm^{-3}	----------$cmol_c$ dm^{-3}				----------		g kg^{-1}	------%---	
00-10	5,6	9,73	0,77	2,6	1,98	11,75	1,01	17,19	58,8	16	29
10-20	5,4	3,11	0,38	1,64	1,31	11,89	1,32	15,22	53,2	29	20
20-40	5,4	4,97	0,35	1,38	1,10	11,57	0,96	14,40	45,6	26	20

Densidade		Porosidade			Conteúdo de água (m^3m^{-3})				
Solo (Aparente)	Partícula (Real)	Micro	Macro	Total	6	10	30[2]	100	1500[3]
----------gcm^3----------		----------m^3m^{-3}----------			----------Tensões (kPa)----------				
1,03	2,33	0,42	0,08	0,50	0,42	0,41	0,37	0,34	0,27

pH em água 1:2,5, M.O. por digestão úmida, P e K determinados pelo método Mehlich I, Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol.

O experimento foi conduzido em esquema de parcelas subdivididas no tempo, composto pela combinação de 6 doses de fertilizantes e 3 anos de avaliação. As parcelas principais foram compostas por seis doses do formulado 20-00-20 para adubação de produção nas proporções: 0, 250, 500, 1.000, 2.000, 3.000 kg ha^{-1}. As subparcelas foram compostas pelos anos de avaliação: 2014, 2015 e 2016, equivalente a primeira, segunda e terceira safras após a poda de renovação das hastes ortotrópicas.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com 15 repetições. Cada repetição foi composta por um clone da variedade ‘Conilon – BRS Ouro Preto’. A parcela experimental foi constituída por 10 plantas, dispostas de forma contínua na linha de plantio, e plantadas em espaçamento de 3 m entre linhas por 2 m entre plantas, totalizando 1.666 plantas por ha^{-1}. A parcela útil foi constituída pelas 8 plantas centrais da parcela experimental.

Os tratamentos (doses do fertilizante) foram aplicados de forma parcelada durante as estações chuvosas de cada ano, a partir de outubro de 2013 até março de 2016, totalizando quatro ciclos de adubação. Para cada ano, as doses foram parceladas em quatro aplicações: outubro, dezembro, janeiro e março. A lavoura foi mantida em condições de sequeiro, sem irrigação suplementar, e os tratos culturais foram efetuados seguindo a recomendação para a cultura na Amazônia.

Para o fornecimento de fósforo, foram aplicados anualmente, 2013, 2014, 2015 e 2016, 100kg por hectare de P_2O_5. O fertilizante foi fornecido em duas aplicações, outubro e março, na forma de superfosfato simples. Em outubro de cada ano também foi aplicado 50 kg por hectare do fertilizante complexado FTE BR 12®, para fornecimento de micronutrientes. Em novembro e março de cada ano também foram aplicados 20 kg de sulfato de zinco, 15 kg de ácido bórico e 20 kg de sulfato de magnésio.

Os frutos de todas as plantas da parcela útil foram colhidos e submetidos a secagem e, posteriormente, beneficiados para a obtenção da massa de grãos secos. A partir da massa de grãos da parcela, foi estimada a produtividade de cada ano, a produtividade acumulada de três anos (safras) e a produtividade média de três anos, todas expressas em sacas por hectare, com 12% de umidade.

Também foi avaliado a Eficiência do Uso de Fertilizantes – EUF, para produção de grãos. Para esta variável, considerou-se a produção acumulada, de três safras, e o somatório das quantidades de fertilizantes dos três anos/safras, 2013/14, 2014/15 e 2015/16. Assim, as quantidades de fertilizantes foram: 750, 1500, 3000, 6000 e 9000 kg por hectare do formulado 20-00-20. A EUF foi obtida por meio da diferença entre a produtividade obtida no tratamento e produtividade na dose zero, em relação a quantidade de nutrientes aplicada ao solo (GOOD; SHRAWAT; MUENCH, 2014), conforme a expressão a seguir:

$$\text{EUF (kg de frutos/kg de fertilizante} = \frac{\text{Produtividade dos grãos (kg ha}^{-1}\text{) – produtividade da testemunha (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{Quantidade de fertilizantes aplicado (kg ha}^{-1}\text{)}}$$

Os dados obtidos foram submetidos análise de variância. Para comparação entre a média dos anos dentro de cada dose de fertilizantes, foi aplicado teste de Tukey ($p \leq 0,05$), utilizando-se o programa Genes Versão 2016.6.9 (CRUZ, 2017). Para os efeitos de doses dentro de cada ano, para as produtividades médias e acumuladas e para a eficiência do uso de fertilizante foi realizada análise de regressão utilizando-se o *software* SigmaPlot® versão 10 (SYSTAT SOFTWARE Inc, 2006).

2.3 Resultados

Houve interação entre os fatores doses e anos/safras de avaliação. Para o efeito de doses dentro de anos, foi evidenciado comportamento exponencial crescente. Este comportamento indica que houve efeito mais pronunciado de incremento de produtividade nas menores doses e ganhos menos expressivos de produtividade com as maiores doses, evidenciando tendência de estabilização ou ausência de incremento em doses superiores a 2.000 kg ha^{-1} do formulado 20-00-20 (Figura 2).

O comportamento exponencial observado nas três safras possibilitou acréscimo na produtividade média e acumulada das três safras. A produtividade acumulada variou de 95 sacas com a dose zero até 245 sacas com a dose de 3.000 kg do formulado, enquanto a produtividade média variou de 31 a 82 sacas ha^{-1} respectivamente (Figura 3).

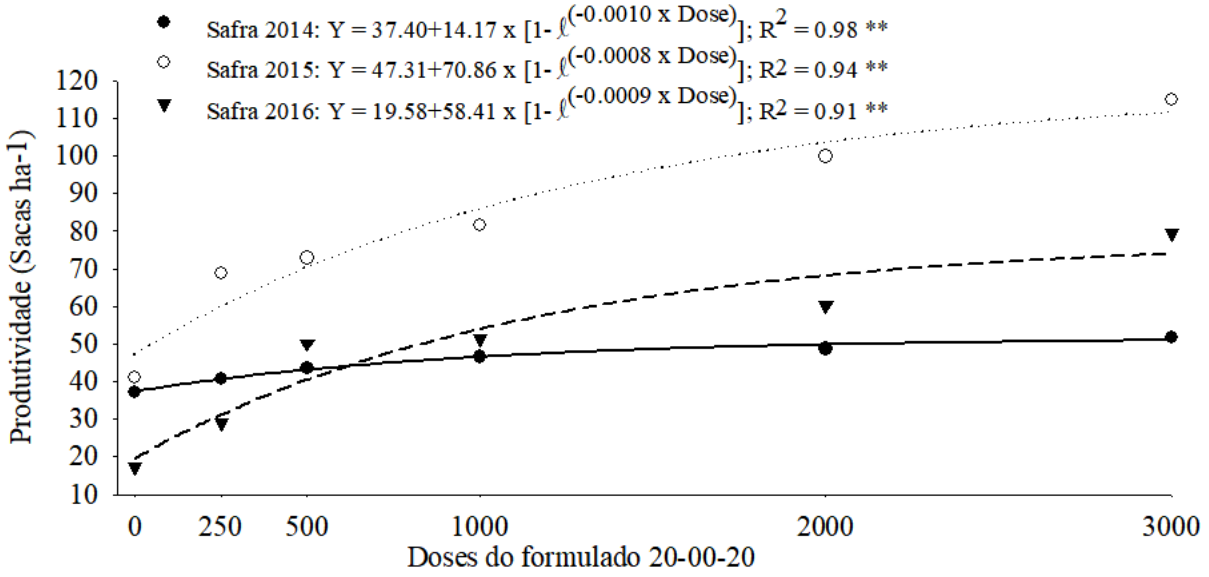

Figura 2 – Produtividade de cafeeiros *Coffea canephora* 'Conilon – BRS Ouro Preto' fertilizados com seis doses do formulado 20-00-20, em três safras (2014, 2015 e 2016) após a poda de renovação das hastes ortotrópicas.

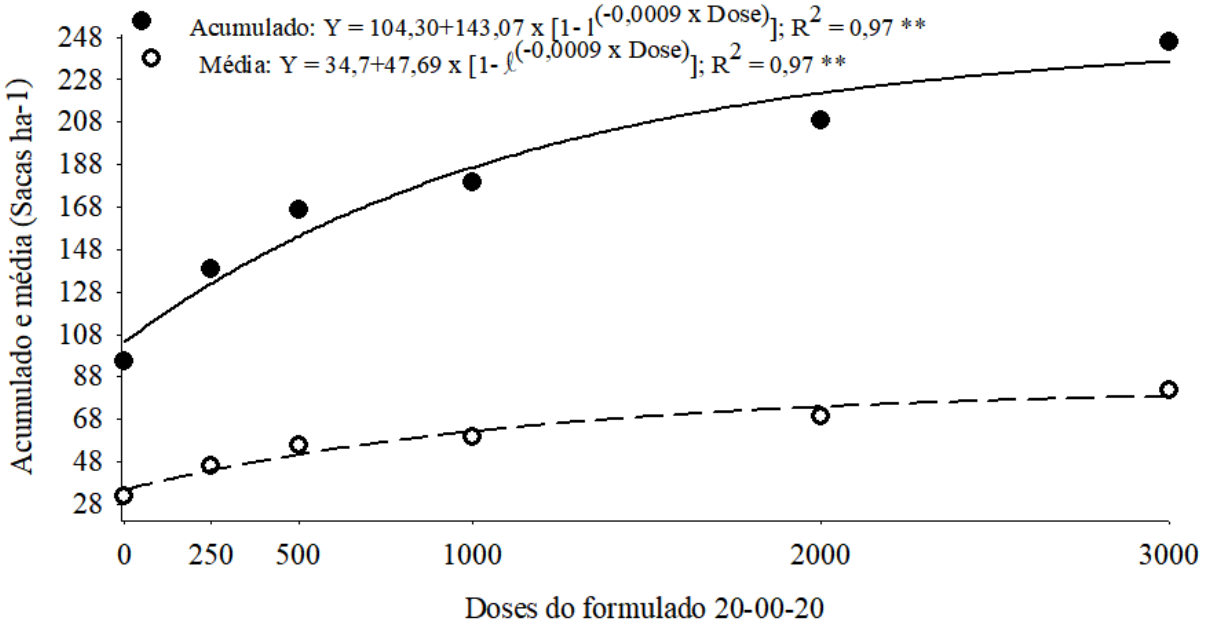

Figura 3 – Produtividade média e acumulada de três safras (2014, 2015 e 2016) de cafeeiros *Coffea canephora* 'Conilon – BRS Ouro Preto', fertilizados com seis doses do formulado 20-00-20.

Avaliando o efeito dos anos/safras dentro de cada dose, a produtividade de 2015 foi maior que a de 2014 e a de 2016 em todas as doses, exceto na dose zero, na qual não houve diferença entre os anos de 2014 e 2015 e, ambas foram superiores a safra de 2016 (Tabela 2). Para as doses de 250, 500, 1.000, 2.000 kg de 20-00-20, não houve diferença entre a primeira e última

produção nas safras de 2014 e 2016, no entanto, para maior dose do formulado, 3.000 kg ha^{-1}, a produção observada na safra em 2016 foi superior a safra 2014 (Tabela 2).

Tabela 2 – Produtividade de cafeeiros *Coffea canephora* 'Conilon – BRS Ouro Preto' fertilizados com seis doses do formulado 20–00-20, em três safras após a poda de renovação das hastes ortotrópicas.

Ano	Dose do formulado 20-00-20 (kg ha^{-1} ano^{-1})					
	00	250	500	1.000	2.000	3.000
2014	37,11 a	40,78 b	43,58 b	46,57 b	48,71 b	51,68 c
2015	40,98 a	68,76 a	72,86 a	81,65 a	99,84 a	114,92 a
2016	17,37 b	28,86 b	50,15 b	51,25 b	60,38 b	79,39 b
Media	31,86	46,13	58,86	59,82	69,64	81,99
CV (%)	16,3					

*Média seguida pela mesma letra na coluna não difere entre si a 5%, no teste de Tukey.

A eficiência do uso de fertilizantes decresceu exponencialmente com o aumento das doses do fertilizante. A EUF decresceu de 3,4 kg de grãos por kg de fertilizante, na dose 750 kg do formulado, para 1,0 kg^{-1}/ kg^{-1} na dose de 9.000 kg do formulado (Figura 4).

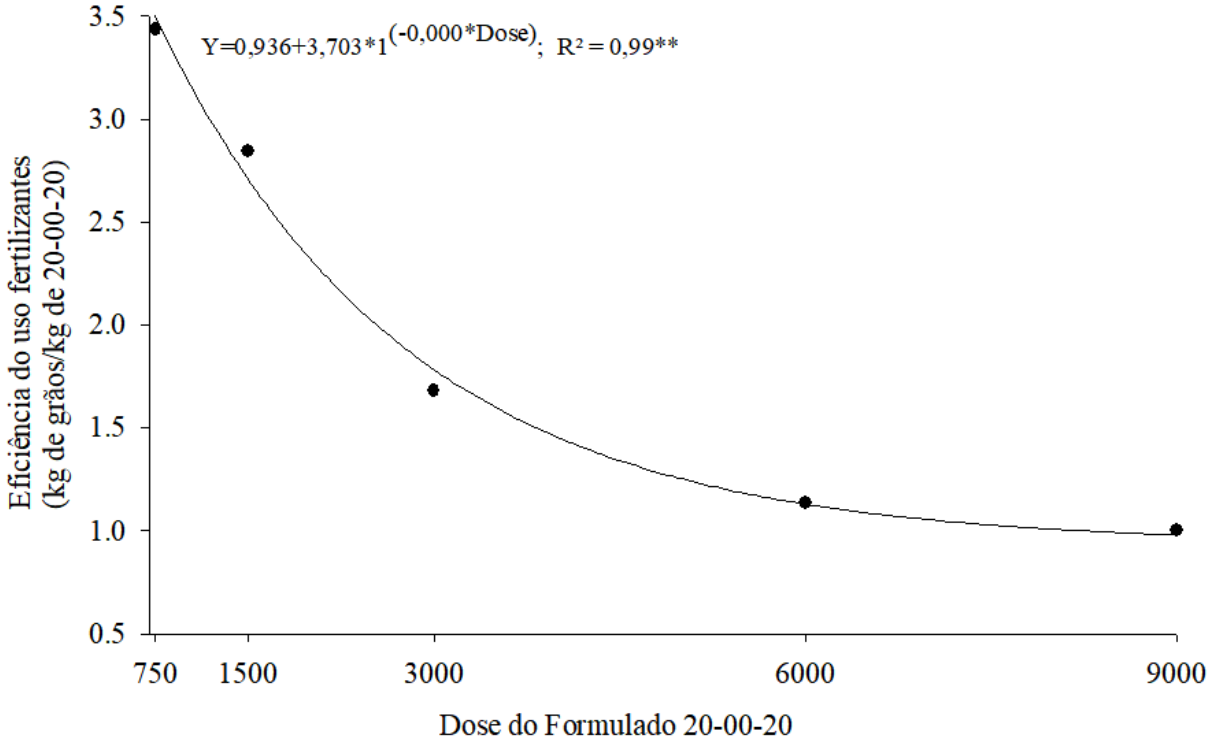

Figura 4 – Eficiência do Uso de Fertilizantes – EUF, em kg de grãos por kg de 20-00-20, por cafeeiros *Coffea canephora* 'Conilon – BRS Ouro Preto' fertilizados com seis doses do formulado 20–00-20.

2.4 Discussão

O comportamento exponencial observado para produtividade nas três safras e nas produtividades média e acumulada (Figura 2 e 3), ocorreu provavelmente limitações biológicas das plantas, e agronômicas do cultivo, influenciam na resposta das plantas as elevadas doses do fertilizante.

As limitações de ordem biológicas estão relacionadas aos potenciais genéticos da variedade Conilon – BRS Ouro Preto, pois esta variedade é composta por 15 genótipos que apresentam diferentes características morfológicas e diferentes potenciais produtivos (RAMALHO et al., 2014). Tais diferenças garantem maior estabilidade de produção da variedade nos diversos ambientes de cultivo da Amazônia, entretanto, limitam o potencial de resposta da variedade a aplicação de fertilizantes devido a limitação individuais de genótipos que podem ser eficientes em condições de menor disponibilidade de nutrientes, mas podem ser pouco responsivos a aplicação de fertilizantes.

As limitações de ordem agronômicas estão relacionadas, principalmente, a densidade de plantio e o cultivo em sequeiro. Nos cultivos comerciais, a densidade de plantio é de cerca de 3300 plantas por hectare, associado ao número de 3 a 4 hastes por planta, o que resulta em maior produtividade por área por cafeeiros Conilon (VERDIN FILHO et al., 2014; SAKAY et al., 2015; SILVEIRA et al., 2018), se comparado aos cultivos antigos que utilizavam 1600 plantas por hectare e cerca de seis hastes por planta. Isto porque, o adensamento das plantas influência na distribuição do sistema radicular, promovendo o alongamento das raízes principais, aumentando a eficiência das plantas em absorver nutrientes e água do solo. Além disso, este aumento de plantas por área em associação com poda programada, proporciona redução do autosobreamento o que permite menor desgaste metabólico dessas plantas (BRAGANÇA et al., 2009 ; VERDIN FILHO et al., 2016).

Com relação a produtividade nos anos/safras dentro de cada dose do fertilizante, as diferenças observadas na produtividade evidenciam efeito de bienalidade que pode ter sido potencializada pelas condições de cultivo, sequeiro.

A menor produtividade na primeira safra, 2014, estão relacionadas a limitações vegetativas das plantas no primeiro ano após a poda drástica (Tabela 2). Isto porque, as hastes ortotrópicas e ramos plagiotrópicos das plantas tiveram apenas 10 meses para se desenvolverem até o florescimento subsequente (setembro de 2012 a julho de 2013), ou seja, o curto período de crescimento associado ao lento crescimento inicial após a poda drástica resultou em redução no número de nós (rosetas) com gemas produtivas. Com isso, quando se iniciou a aplicação dos tratamentos, em outubro de 2013, o potencial produtivo da safra 2014 já havia sido definido

pelo florescimento nos meses de julho e agosto. Assim, presume-se que o incremento da produção observado com o aumento das doses de fertilizantes está relacionado ao enchimento de grãos e não ao aumento do número de grãos produzidos.

Os patamares de produtividade, bem como, o incremento expressivo em função das doses de fertilizantes observados no segundo ano de produção, 2015 (Tabela 2), estão relacionados aos efeitos dos fertilizantes do ciclo 2013/2014 somados aos do ciclo de 2014/2015. Isto porque, como a quantidade de frutos foi limitada na safra anterior, 2014, os nutrientes N e K foram realocados para parte vegetativa da planta, o que resultou em maior crescimento vegetativo e consequentemente, maior potencial produtivo para safra seguinte, no caso 2015. Estes resultados confirmam o fenômeno de bienalidade comum em plantas do gênero *Coffea* (CAMARGO; CAMARGO, 2001; PINTO et al., 2014). De forma inversa, este comportamento de bienalidade também esteve relacionado a redução da produtividade da safra posterior, 2016 (Tabela 2). Ou seja, como houve alta produção de frutos na safra 2015, os frutos foram drenos principais resultando em reduzido crescimento vegetativo o que comprometeu a safra de 2016.

Quanto a eficiência do uso de fertilizantes, o comportamento exponencial decrescente (Figura 4) parece estar relacionado ao efeito residual de nutrientes no solo (Tabela 1), que pode ter garantido produções de frutos nas doses baixas de fertilizantes, inclusive na dose zero. Além disso, o decréscimo de eficiência com o aumento das doses de fertilizante indica que as plantas não metabolizaram todos os nutrientes aplicados, sendo parte perdida por lixiviação para camadas sub superficiais ou por escoamento superficial, enquanto outra porção pode ficar imobilizada na serapilheira (REICHARDT et al., 2009).

2.5 Conclusão

Os cafeeiros *C. canephora* ‘Conilon - BRS Ouro Preto’ respondem exponencialmente ao aumento da dose do formulado 20-00-20 com incrementos expressivos na produção até a dose de 2000 kg ha^{-1} do formulado, porém, com ganhos menos significativos nas doses acima desta.

Os cafeeiros *C. canephora* ‘Conilon - BRS Ouro Preto’ apresentam comportamento sazonal em condições de sequeiro, com máxima produção no segundo ano após a poda drástica para renovação das hastes ortotrópicas.

A eficiência do uso de fertilizantes por cafeeiros *C. canephora* ‘Conilon - BRS Ouro Preto’, em condições de sequeiro, diminui exponencialmente com o aumento das doses do formulado 20-00-20.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; de MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift,** v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

BRAGANÇA, S. M.; MARTINEZ, H. E. P.; LEITE, H.G.; SANTOS, L. P; SEDIYAMA, C. S.; VICTOR, H. A. V.; LANY, J. A. Accumulation of macronutrients for the conilon coffee tree. **Journal of Plant Nutrition**, v. 31, n. 1, p. 103 -120, 2008.

BRAGANÇA, S. M.; SILVA, E. B.; MARTINS, A. G.; SANTOS, L.P.; LANY, J. A.; VOLPI, P.S. Resposta do cafeeiro conilon à adubação de npk em sistema de plantio adensado. **Coffee Science**, v. 4, n. 1, p. 67-75, 2009.

CAMARGO, A, P. D.; CAMARGO, M. B. P. D. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.

CRUZ, C. D. **Programa Genes.** Versão 2016.6.9. Disponível em: < http://arquivo.ufv.br/dbg/genes/genes.htm>. Acesso em: 24 ago 2018.

DUBBERSTEIN, D.; PARTELLI, F. L.; DIAS, J. R. M.; ESPINDULA, M. C. Concentration and accumulation of macronutrients in leaf of coffee berries in the Amazon, Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 5, p. 701, 2016.

DUBBERSTEIN, D.; PARTELLI, F. L.; DIAS, J. R. M.; ESPINDULA, M. C. Influência da adubação no crescimento vegetativo de cafeeiros na Amazônia sul ocidental. **Coffee Science**, v. 12, n. 2, p. 197-206, 2017.

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

FERRÃO, L .F. V.; CAIXETA, E. T.; SOUZA, F. F.; ZAMBOLIM, E. M.; CRUZ, C. D.; ZAMBOLIM, L.; SAKIYAMA, N. S. Comparative study of different molecular markers for classifying and establishing genetic relationships in Coffea canephora. **Plant Systematics and Evolution**, v. 299, n. 1, p. 225 -238, 2013.

GOOD, A.G.; SHRAWAT, A.K.; MUENCH, D.G. Can less yield more? Is reducing nutrient input into the environment compatible with maintaining crop production? **Trends in Plant Science**, v. 9, n. 12, p. 597-605, 2004.

LAVIOLA, B. G.; MARTINEZ, H. E. P.; SALOMÃO, L. C. C.; CRUZ, C. D.; MENDONCA, S.M.; ROSADO, L. D. S. Acúmulo em frutos e variação na concentração foliar de NPK em cafeeiro cultivado em quatro altitudes. **Bioscience Journal**, v. 24, n. 1, p. 19-31. 2008.

MARCOLAN, A. L.; ESPINDULA, M.C.; Café na Amazônia. 1ª edição. 474 p. Embrapa, 2015.

MARCOLAN, A. L.; RAMALHO, A. R.; MENDES, A. M.; TEIXEIRA, C. A. D.; FERNANDES, C. F.; COSTA, J. N. M.; JÚNIOR, J. R. V.; OLIVEIRA, S. J. M.;

FERNANDES, S. R.; VENEZIANO, W. Cultivo dos Cafeeiros Conilon e Robusta para Rondônia. **Embrapa Rondônia,** ed **3**. 2009.

MONTAGNON, C.; CUBRY, P.; LEROY, T. Amélioration génétique du caféier Coffea canephora Pierre : connaissances acquises, stratégies et perspectives. **Cahiers Agricultures**, v. 21, n. 2–3, p. 143- 153, 2012.

PARTELLI, F. L.; ESPINDULA, M. C.; MARRÉ, W. B.; VIEIRA, H. D. Dry matter and macronutrient accumulation in fruits of Conilon coffee with different ripening cycles. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 214-222, 2014.

PEZOOPANE, J. R. M.; CASTRO, F. S.; PEZZOPANE, J. E. M.; BONOMO, R.; SARAIVA, G. S. Zoneamento de risco climático para a cultura do café Conilon no Estado do Espírito Santo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 3, p. 341-348, 2010.

PINTO, C.; GUIMARÃES, R.; VILLELA, G.; SCALCO, M. Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes primários para cafeeiros fertirrigados no primeiro ano pós-plantio. **Coffee Science**, v. 8, n. 4, p. 530-538, 2014.

PREZOTTI, L.C.; BRAGANÇA, S.M. Accumulation of dry mass, N, P and K in different genetic sources of Conilon coffee. **Coffee Science**, v. 8, n. 3, p. 284-294, 2013.

RAMALHO, A. R.; ROCHA, R. B.; VENEZIANO, W.; DOS SANTOS, M. MESSIAS. Cultivar de cafeeiro Conilon BRS Ouro Preto – características agronômicas e agroindustriais. **Comunicado Técnico**, n. 396. EMBRAPA. 2014, p. 10.

RAMALHO, J. C.; PAIS, I. P.; LEITÃO, A. E.; GUERRA, M; REBOREDO, F. H.; MÁGUAS, C. M.; CARVALHO, M. L.; SCOTTI-CAMPOS, P; RIBEIRO-BARROS, A. I.; LIDON, F. J. C.; DAMATTA, F. M. Can Elevated Air [CO2] Conditions Mitigate the Predicted Warming Impact on the Quality of Coffee Bean? **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 587, 2018.

REICHARDT, K.; SILVA, A.L.; FENILLI, T.A.B.; TIMM, L.C.; BRUNO, I.P.; VOLPE, C.A. Relação entre a adubação nitrogenada e as condições hídricas do solo para um cafezal de Piracicaba, SP. **Coffee Science**, v. 4, n. 1, p. 41–55. 2009.

RODRIGUES, W.P.; SILVA, J.R; FERREIRA, L.S.; MACHADO FILHO, J.A; FABIO, A.M.M.A; FIGUEIREDO, T.M; FERRAZ, W.P.B; BEZERRA, L.B.S; DE ABREU, D.P; CESPOM, L; RAMALHO, J.C; CAMPOSTRINI, E. Stomatal and photochemical limitations of photosynthesis in coffee (*Coffea* spp.) plants subjected to elevated temperatures, **Crop and Pasture Science,** v. 69, n. 3, 2018.

SAKAI, E.; BARBOSA, E. A. A.; SILVEIRA, J. M. DE C.; PIRES, R. C. DE M. Coffee productivity and root systems in cultivation schemes with different population arrangements and with and without drip irrigation. **Agricultural Water Management**, 148, 16–23. 2015.

SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO AMBIENTAL. **SEDAM**. Disponível em: <http://www.sedam.ro.gov.br/index.php/sistemas-internos/cursos/meteorologia.html>. Acesso em: 13 nov. 2018.

SILVEIRA, J.; NASSER, M.; MARIANO-NASSER, F.; PAGLIARINI, M.; GIOMO, G. Densidade populacional de cultivares na produtividade e qualidade de grãos de café arábica. **Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)**, v. 48, n. 4, p. 358-363, 2018.

SOUZA, F. F.; CAIXETA, E. T.; FERRÃO, L. F. V.; PENA, G. F.; SAKIYAMA, N. S.; ZAMBOLIM, E. M.; ZAMBOLIM, L.; CRUZ, C. D. Molecular diversity in Coffea canephora germplasm conserved and cultivated in Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 13, n. 4, p. 221-227, 2013.

SYSTAT SOFTWARE Inc - SSI. **SigmaPlot for Windows version 10.** 2006. Disponível em: < https://systatsoftware.com/products/sigmaplot/>. Acesso em: 24 agosto 2018.
VERDIN FILHO, A. C.; FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRAO, M. A. G.; TOMAZ, M. A.; VOLPI, P. S.; MAURI, A. L.; RODRIGUES, W.N.; COLODETTI, T.V. New management technology for arabica coffee: the cyclic pruning program for arabica coffee. **Coffee Science**, 11(4): 475 - 483, 2016.

VIERDIN FILHO, A. C.; TOMAZ, M. A.; FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A.F. A.; RODRIGUES, W. N. Conilon coffee yield using the programmed pruning cycle and different cultivation densities. **Coffee Science**, v. 9, n. 4, p. 489 - 494, 2014.

3. EXPORTAÇÃO DE MACRONUTRIENTES POR FRUTOS DE CAFEEIROS SUBMETIDOS A DIFERENTES DOSES DO FORMULADO 20-00-20

RESUMO

O conhecimento das exigências nutricionais de variedades clonais de *Coffea canephora* podem auxiliar no manejo nutricional e otimizar o uso de fertilizantes. Assim, o objetivo neste estudo foi quantificar a exportação de macronutrientes por frutos de cafeeiros *C. canephora* 'Conilon – BRS Ouro Preto', sob diferentes doses do fertilizante formulado 20-00-20 em condições de sequeiro, na Amazônia Ocidental. O experimento foi conduzido no campo experimental da Embrapa, em Porto Velho, RO, na safra 2014/2015. Os tratamentos foram seis doses do fertilizante 20-00-20, nas proporções: 0, 250, 500, 1.000, 2.000, 3.000 kg ha^{-1} ano^{-1} e o delineamento experimental foi o inteiramente ao acaso com 15 repetições. Houve diferença para o acúmulo de massa seca, teor e exportação de nutrientes quando se comparou palha e grão. A exportação de nutrientes pelo grão segue ordem decrescente: N > K > Mg > P > Ca > S e a exportação pela palha segue a ordem: K > N > Ca > Mg > S > P. As doses do formulado não influenciaram os teores de nutrientes nos frutos, mas promoveram incremento exponencial de massa seca dos grãos e da palha, com acúmulo máximo de 6.413 kg ha^{-1} de massa seca de grão e de 5.455 kg ha^{-1} na palha na dose de 3000 kg ha^{-1}. Como consequência do aumento do acúmulo de massa seca, a exportação de macronutrientes pelos frutos de *C. canephora* aumenta de forma exponencial ou linear com o aumento das doses do fertilizante. Conclui-se que, as doses dos fertilizantes formulado 20-00-20 não promove alteração nas concentrações dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, e S nos frutos do cafeeiro 'Conilon - BRS Ouro Preto'. No entanto, promove maior acumulo de massa seca tanto nos grãos quanto na palha e maior exportação dos nutrientes pelos frutos.

Palavras-Chave: *Coffea canephora*, Nitrogênio, Potássio, Grãos, Palha

ABSTRACT

The knowledge of the nutritional requirements of clonal varieties of *Coffea canephora* can help in nutritional management and optimize the use of fertilizers. Therefore, the objective of this study was to quantify the export of macronutrients by fruits of coffee trees C. Canephora ' Conilon – BRS Ouro Preto ', under different fertilizer doses of formulated 20-00-20 in upland conditions, in the Western Amazon. The experiment was conducted in the experimental field of Embrapa, in Porto Velho – RO. The treatments were six doses of 20-00-20 fertilizer, in proportions: 0, 250, 500, 1.000, 2.000, 3.000 kg ha^{-1} year-1. A completely randomized design with 15 replications was used. There was a difference for the accumulation of dry matter, nutrient content and exportation when the straw and grain were compared. The export of nutrients by the grain follows descending order: N > K > Mg > P > Ca > S and the export by straw follows the order: K > N > Ca > Mg > S > P. The doses of the formulated did not influence the nutrient content in the fruits, but promoted an exponential increment of dry mass in the grain and straw with a maximum accumulation of 6.413 kg ha^{-1} of grain dry mass and 5.455 kg ha^{-1} in the straw at a dose of 3.000 kg ha^{-1}. As a consequence of the increase in dry mass accumulation, the export of macronutrients by the fruits of *Coffea canephora* increases exponentially or linearly with the increase of the fertilizer doses.

Key words: *Coffea canephora*; Nitrogen; Potassium; Grain; Straw.

3.1. Introdução

Lavouras clonais de *Coffea canephora* formadas a partir de variedades adaptadas as condições edafoclimáticas de uma determinada região podem produzir mais de 7000 kg de grãos beneficiados por hectare (120 sacas ha^{-1}) (BORNOMO et al., 2017), se conduzidas segundo as recomendações técnicas para a cultura. Dentre estas recomendações, destaca-se o correto emprego de fertilizantes (PREZOTTI; BRAGANÇA, 2013), que são essenciais para reposição dos nutrientes exportados anualmente pelos frutos.

Cafeeiros com alto potencial produtivo também apresentam elevada exigência nutricional, acumulando grandes quantidades de nutrientes em seus tecidos (SERRANO et al., 2011). Entretanto, a quantidade de nutrientes retido no tecido do cafeeiro varia de acordo com o local e época do ano, além do tecido e órgão de uma mesma planta (BRAGANÇA et al., 2008), podendo variar também com o genótipo (PARTELLI et al., 2014; MARRÉ et al. 2015; COVRE et al., 2016) e as condições ambientais do local de cultivo (LAVIOLA et al., 2008).

Com relação ao genótipo, existe grande variabilidade genética da espécie *Coffea canephora* distribuído pelo mundo (MONTAGNON; CUBRY; LEROY, 2012) bem como, dentro do Brasil (FERRÃO et al., 2013; SOUZA et al., 2013). Essa diferença genética influencia tanto na absorção quanto na translocação de nutrientes do sistema radicular até o fruto (AMARAL et al., 2011), bem como, no seu ciclo de maturação, que resulta em diferentes curvas de acúmulo de nutrientes durante a fase de enchimento dos frutos (PARTELLI et al., 2014; MARRÉ et al., 2015).

As condições climáticas, como temperaturas e precipitação, também são fatores importantes que influenciam na absorção de nutrientes e, estão intimamente ligadas ao crescimento e a frutificação do cafeeiro, podendo retardar ou adiantar a formação dos frutos. As temperaturas elevadas e o fornecimento de água aumentam as taxas de fluxo de transpiração e a captura e translocação dos minerais (LAVIOLA et al., 2009; MARTINS et al., 2011), enquanto, temperaturas amenas reduzem a transpiração e a velocidade de absorção de nutrientes (RAMALHO et al., 2014). Além disso, a redução da disponibilidade hídrica do solo limita o acesso das raízes aos nutrientes, bem como, causa limitação ou a interrupção do fluxo transpiratório pelo fechamento dos estômatos (CARVALHO et al., 2011).

Para as condições da Amazônia Brasileira, em especial, a ocorrência de temperaturas elevadas, associadas aos baixos valores de umidade relativa do ar durante o período de estiagem, nos meses de junho a setembro (ALVARES et al., 2013), resulta em elevadas taxas de evapotranspiração (MARTINS et al., 2011) que, na ausência de irrigação suplementar, pode

ocasionar paralização no crescimento dos cafeeiros (ARAÚJO et al., 2011) ou até mesmo em perdas de massa seca em razão da queda de folhas.

Em razão das especificidades das condições climáticas da Amazônia, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, desenvolveu uma variedade de cafeeiro clonal, denominada 'Conilon - BRS Ouro Preto' adaptada as condições de cultivo da Amazônia Ocidental brasileira (RAMALHO et al., 2014). No entanto, as informações sobre as respostas desta variedade ao fornecimento de nutrientes ainda são restritas, o que dificulta o correto manejo nutricional das lavouras. Diante disso, o objetivo neste estudo foi quantificar a exportação de macronutrientes por frutos de cafeeiros *C. canephora* 'Conilon – BRS Ouro Preto', sob diferentes doses do fertilizante formulado 20-00-20, em condições de sequeiro, na Amazônia Ocidental.

3.2 Material e métodos

O experimento foi instalado no Campo Experimental da Embrapa Rondônia, no município de Porto Velho – RO (8º53'20" S e 63º06'40" W), na safra 2014/2015. O clima da região segundo Köppen, é Am – tropical chuvoso, com chuva no verão (outubro a maio) e estiagem no inverno (junho a setembro). As temperaturas médias variam de 26,3 °C no verão e 25,9 °C no inverno e a precipitação média anual é de 2.200 mm (ALVARES et al., 2013). Os dados de temperatura e umidade relativa máxima, média e mínima e precipitação pluvial relacionados ao período do experimento foram obtidos por meio da estação meteorológica da Secretaria de Estado de Desenvolvimento Ambiental (SEDAM, 2017) (Figura 5).

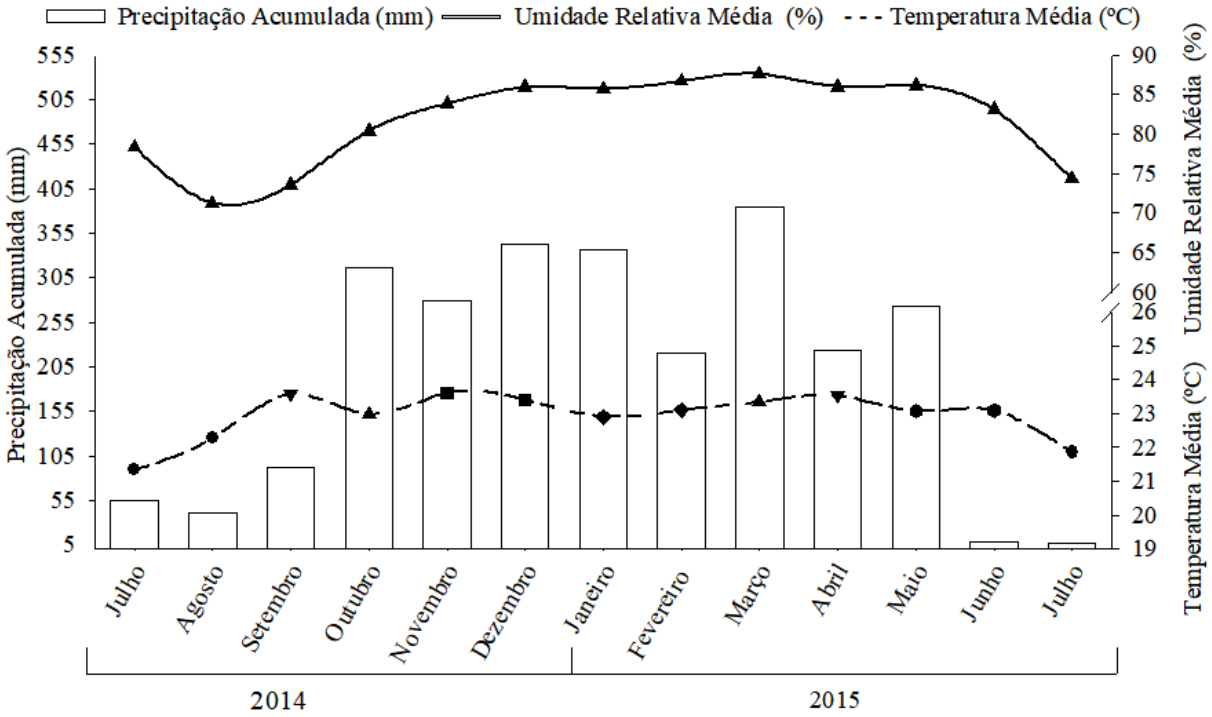

Figura 5 – Precipitação Acumulada, Umidades Relativa Média (%) e Temperaturas médias (ºC) referente a safra 2014/2015. Fonte: SEDAM (2017). Porto Velho, RO, 2017.

A área estava sendo cultivada com plantas de *Coffea canephora* da variedade 'Conilon – BRS Ouro Preto', composta por 15 genótipos (clones) de ciclo de maturação intermediário (maio), que apresentam características fenotípicas típicas das plantas da variedade botânica Conilon. A variedade foi desenvolvida sob condições de sequeiro (RAMALHO et al, 2014) e é recomendada para o cultivo na Amazônia Ocidental.

Os cafeeiros foram implantados em dezembro de 2008 e receberam fertilizantes para produção de 70 sacas por hectare durante os anos/safras de 2009, 2010, 2011 e 2012 segundo as recomendações de Marcolan et al. (2009). Em setembro de 2012, as plantas receberam poda drástica nas hastes ortotrópicas para padronização da copa. Após a poda, os cafeeiros foram conduzidos com seis hastes por planta (9996 hastes por hectare). De setembro de 2012 até setembro de 2013, período que antecedeu a instalação do experimento, as plantas receberam 50 kg por hectare de P_2O_5, na forma de superfosfato triplo, 50 kg de nitrogênio na forma de ureia, 100 kg de nitrogênio na forma de sulfato de amônio, 60 kg de K_2O na forma de cloreto de potássio e 30 kg por hectare do fertilizante complexado FTE BR 12®. Os demais tratos culturais foram realizados seguindo as recomendações técnicas para a cultura na região (MARCOLAN; ESPINDULA, 2015). De outubro de 2013 até março de 2015 as plantas passaram a receber as diferentes doses do fertilizante, conforme os tratamentos e delineamento pré-estabelecidos.

O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa (EMBRAPA, 2013) e seus atributos químicos e físicos foram determinadas nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, em julho de 2014 (Tabela 3). Em setembro de 2014, antes do início da safra 2014/2015 foram aplicadas duas toneladas de calcário dolomítico (com 76 % de PRNT) em superfície, sem incorporação.

Tabela 3 - Atributos químicos e físicos de um Latosolo Vermelho-Amarelo da Estação Experimental da Embrapa, nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm. Porto Velho, 2014.

Camadas (cm)	pH	P	K	Ca	Mg	Al+H	Al	CTC	MO	m	V
	H_2O	mg dm^{-3}	----------cmol$_c$ dm^{-3} ----------						g kg^{-1}	------%---	
00-10	5,6	24,83	0,53	4,87	4,67	11,88	0,28	21,55	43,30	3	44
10-20	5,3	18,38	0,39	3,21	3,18	12,70	0,66	19,47	37,16	9	34
20-40	5,0	9,33	0,26	1,99	1,86	11,96	0,91	16,12	31,15	19	25

Densidade		Porosidade			Conteúdo de água (m^3m^{-3})				
Solo (Aparente	Partícula (Real)	Micro	Macro	Total	6	10	30[2]	100	1500[3]
----------gcm^3---------		----------m^3m^{-3}----------			----------Tensões (kPa)----------				
1,03	2,33	0,42	0,08	0,50	0,42	0,41	0,37	0,34	0,27

pH em água 1:2,5, M.O. por digestão úmida, P e K determinados pelo método Mehlich I, Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol.

Os tratamentos foram seis doses do fertilizante formulado 20-00-20, nas proporções: 0, 250, 500, 1.000, 2.000, 3.000 kg ha^{-1}. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com 15 repetições, sendo cada repetição constituída por um clone da variedade ‘Conilon – BRS Ouro Preto’. A parcela experimental foi composta por 10 plantas em espaçamento de 3 m entre linhas por 2 m entre plantas, totalizando 1.666 plantas por ha^{-1}.

Os tratamentos (doses do fertilizante) foram aplicados de forma parcelada durante as estações chuvosas de cada ano, a partir de outubro de 2013 até março de 2015, totalizando dois ciclos de adubação. Para cada ano, as doses foram parceladas em quatro aplicações: outubro, dezembro, janeiro e março. A lavoura foi mantida em condições de sequeiro, sem irrigação suplementar e os tratos culturais foram efetuados seguindo a recomendação para a cultura na Amazônia. A colheita dos frutos foi realizada no período de 15 de maio a 15 de junho de 2015.

Para o fornecimento de fósforo, foram aplicados anualmente 2013/2014 e 2014/2015 100kg por hectare de P_2O_5 parcelados em duas aplicações, início de outubro e início de março, na forma de superfosfato simples. Em outubro também foi aplicado 50 kg por hectare do fertilizante complexado FTE BR 12® para fornecimento de micronutrientes. Em novembro e

março de cada ano também foram aplicados 20 kg de sulfato de zinco, 15 kg de ácido bórico e 20 kg de sulfato de magnésio.

Para a análise química, foram retirados dois litros de frutos em 8 plantas da parcela útil e submetidos a secagem natural em terreiro coberto. Posteriormente, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel e levadas para secar em estufa com circulação forçada de ar à 65 ºC, até massa constante. Em seguida foi separado a palha do grão, por meio de descascador manual e, moído em moinho do tipo Wiley de aço inoxidável para realização das análises químicas.

Foram determinados os teores de macronutrientes, acúmulo de massa seca e exportação de nutrientes pelos grãos e pela palha. Para quantificar os teores (g kg^{-1}) de Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Magnésio (Mg), Cálcio (Ca) e Enxofre (S), o material vegetal foi submetido a digestão sulfúrica e nitroperclórica. As amostras digeridas, obtida pela digestão sulfúrica foram usadas para determinação do N. Já, as amostras processadas pela digestão nitroperclórica foram usadas para determinar os teores de P, K, Mg, Ca e S, seguindo a metodologia descrita pela EMBRAPA (2009).

O acúmulo de massa seca foi determinado pela produção de grãos ou palha, dado em kg ha^{-1}, corrigido para zero % de umidade pela equação.

Massa seca de grãos ou da palha (kg ha^{-1}) = Massa úmida em kg ha^{-1} - [(massa úmida) * (umidade/100)]

A exportação dos macronutrientes (kg ha^{-1}) no grão e palha foi calculada da seguinte forma:

Exportação de macronutrientes = MS do grão ou da palha * Teor de nutriente (g kg^{-1})

Os dados foram submetidos análise de variância. Para a comparar o acúmulo de massa seca, teores e exportação de nutrientes no grão ou na palha foi aplicado o teste de Tukey utilizando-se o programa Genes Versão 2016.6.9 (CRUZ, 2017). Para efeito de doses, foram ajustadas curvas de regressão, utilizando-se o *software* SigmaPlot® versão 10 (SYSTAT SOFTWARE Inc, 2006). Os modelos matemáticos foram escolhidos levando-se em consideração os maiores valores dos coeficientes de determinação (r^2/R^2), a significância dos coeficientes de regressão (βi) e do teste F da regressão, ambos até 5% de probabilidade, bem como, pelo comportamento do fenômeno biológico.

3.3 Resultados

3.3.1 Teores de nutriente

Para todos os nutrientes avaliados, a interação dose de fertilizantes tecidos do fruto foi não significativa, indicando que os teores de nutrientes nos grãos e na palha responderam de forma semelhante ao incremento das doses de fertilizantes. No entanto, ao comparar esses tecidos do fruto (grão e palha), foi possível observar diferenças no conteúdo de macronutrientes independentemente da dose do fertilizante utilizada. Por isso, foi apresentado o resultado do teste de comparação de médias apenas para o teor médio de nutrientes (Tabela 2).

Na comparação entre os tecidos do fruto, os grãos apresentaram maiores concentrações de nitrogênio, fósforo e magnésio que a palha. Por outro lado, a palha apresentou maior concentração de potássio, cálcio e enxofre (Tabela 4). Também independentemente da dose do fertilizante utilizada, foi possível ordenar de forma decrescente os nutrientes que aparecem em maiores concentrações nos grãos N > K > Mg > P > Ca > S e, na palha, K > N > Ca > Mg > S > P (Tabela 4).

Tabela 4 – Teor de macronutrientes (g kg^{-1}) nos grãos e na palha de *Coffea canephora* ‘Conilon – BRS Ouro Preto’ em função de seis doses do fertilizante 20-00-20. Porto Velho, 2015.

Nutriente	Tecido	Doses							
		0,0	250	500	1.000	2.000	3.000	Médias	CV%
		----------g kg^{-1}----------							
Nitrogênio	Grão	26,73	25,66	27,45	26,66	28,65	27,15	27,05 a	17
	Palha	18,78	18,61	20,77	19,04	19,70	19,58	19,17 b	
Fosforo	Grão	1,59	1,68	1,60	1,35	1,45	1,35	1,50 a	30
	Palha	1,42	1,17	1,20	0,95	1,09	1,03	1,15 b	
Potássio	Grão	21,26	21,34	21,28	21,62	20,72	18,22	20,76 b	14
	Palha	31,56	31,76	32,10	30,10	31,92	30,28	31,28 a	
Cálcio	Grão	1,29	1,36	1,04	1,19	1,32	1,55	1,28 b	24
	Palha	4,82	5,25	5,16	5,10	5,54	4,70	5,10 a	
Magnésio	Grão	2,43	2,43	2,24	2,15	2,19	2,20	2,28 a	16
	Palha	1,78	1,66	1,74	1,52	1,61	1,59	1,65 b	
Enxofre	Grão	0,85	0,79	0,76	0,85	0,89	1,01	0,85 b	19
	Palha	1,48	1,48	1,37	1,40	1,46	1,33	1,42 a	

Médias seguida da mesma letra minúscula, na coluna, dentro do mesmo nutriente, não diferem entre si pelo teste de Tukey a (5%) de probabilidade.

3.3.2 Acúmulo de massa seca e exportação de nutrientes

O aumento das doses do fertilizante promoveu acúmulo exponencial de massa seca, tanto nos grãos quanto na palha, com tendência de incremento mais pronunciado nas menores doses e ganhos menos expressivos nas doses elevadas (Figura 6). No entanto, quando grãos e

palhas foram comparados entre si, observou-se que não houve diferença no acúmulo de massa seca (Tabela 3).

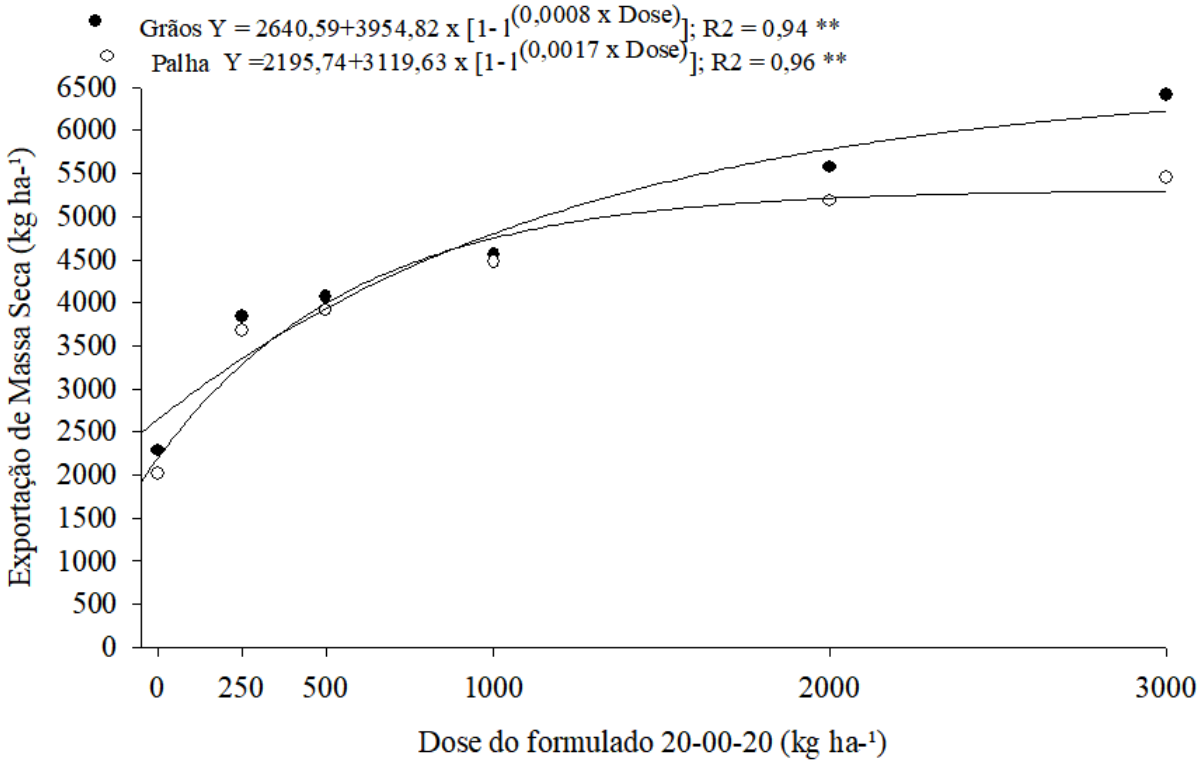

Figura 6- Acúmulo de massa seca (kg ha^{-1}) por grãos e palha de *Coffea canephora* 'Conilon - BRS Ouro Preto' em função de seis doses do formulado 20-00-20. Porto Velho, 2015.

Para exportação de macronutrientes pelo grão e pela palha, todos os nutrientes estudados apresentaram comportamento exponencial, ao ponto de máxima, com um rápido incremento nas menores doses e com tendência a estabilizar nas maiores doses, com exceção do Cálcio (Ca) e do Enxofre (S) que apresentaram comportamento linear positivo (Figura 7).

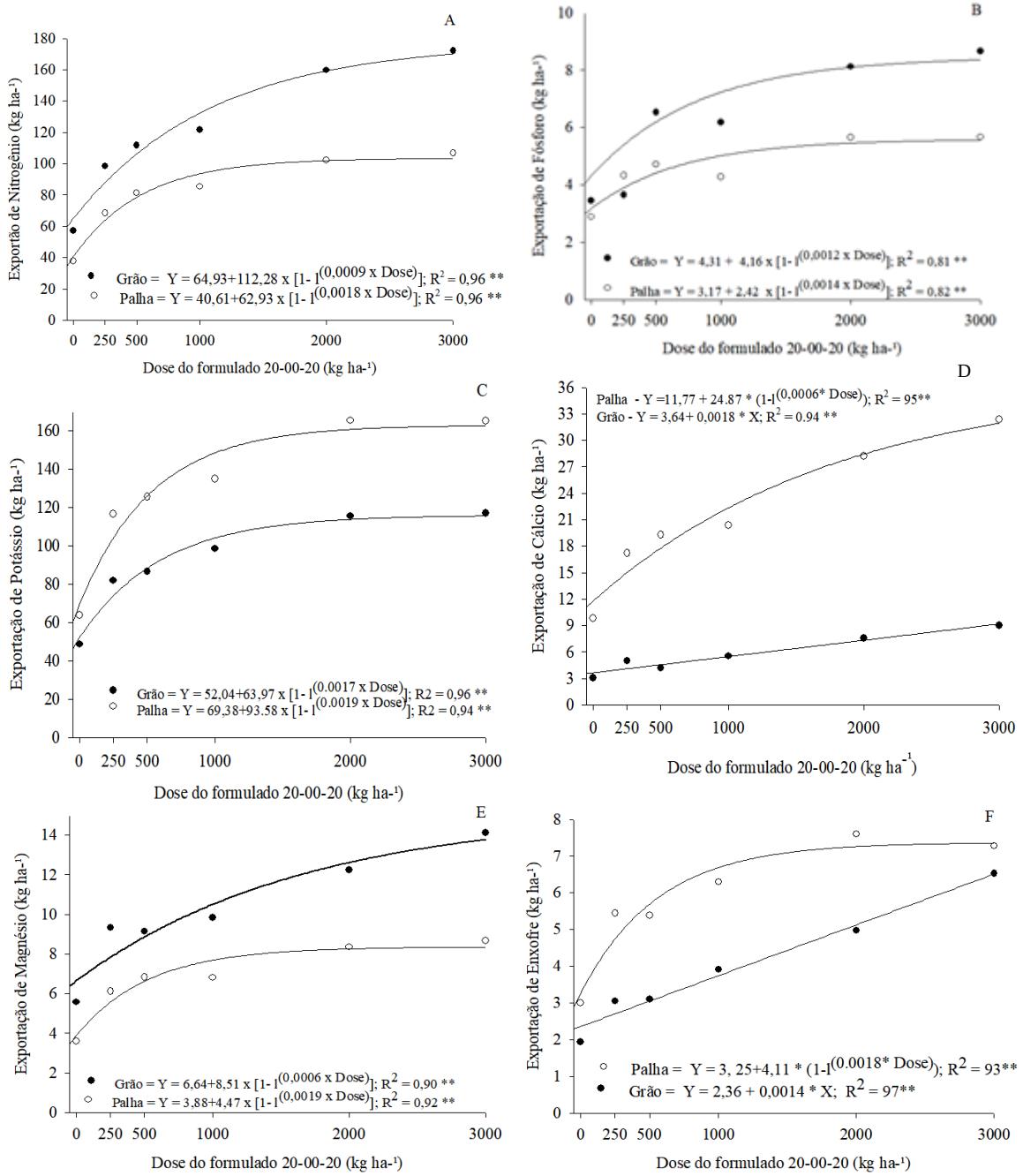

Figura 7 – Exportação de N, P, K, Ca, Mg e S pelos grãos e pela palha de cafeeiros *Coffea canephora* ‘Conilon – BRS Ouro Preto’ em função de seis doses do formulado 20-00-20. Porto Velho, 2015.

Os cafeeiros exportaram maiores quantidades de nitrogênio (N), fosforo (P), magnésio (Mg) pelo grão, e maior quantidade de potássio (K), cálcio (Ca) e enxofre (S) pela palha, independentemente da dose utilizada, com exceção da dose zero. Nesta dose, não houve diferença entre grãos e palha para a exportação de N, P, K, Mg e S. Independentemente da dose utilizada, as exportações de nutrientes seguiram a ordem decrescente N > K > Mg > P > Ca > S para grão e K > N > Ca >Mg > S > P para palha (Tabela 5).

Tabela 5 – Acúmulo de massa seca e exportação de macronuentes (kg ha^{-1}), pelos grãos e pela palha de *Coffea canephora* ‘Conilon – BRS Ouro Preto’, em função de seis doses do formulado 20-00-20. Porto Velho, 2015.

Nutriente	Tecido	Doses							CV%
		0,0	250	500	1.000	2.000	3.000	Médias	
		----------kg ha^{-1}----------							
Massa seca	Grão	2.286a	3.837a	4.066a	4.557ª	5.571a	6.413a	4.455a	34
	Palha	2.019a	3.673a	3.912a	4.477ª	5.182a	5.455a	4.120a	
Nitrogênio	Grão	57,30a	98,48a	111,65a	121,53a	159,67a	172,27a	121,73a	68
	Palha	37,94a	68,40b	81,30b	85,27b	102,13b	106,83b	79,30b	
Fosforo	Grão	3,64a	3,45a	6,53a	6,17ª	8,12a	11,66a	6,74a	50
	Palha	2,88a	4,33b	4,72b	4,28b	5,64a	5,66a	4,56b	
Potássio	Grão	48,62a	81,89b	86,52b	98,52b	115,44b	116,88b	91,31b	45
	Palha	63,73a	116,7a	125,60a	134,78a	165,41a	165,19a	130,04a	
Cálcio	Grão	3,03b	4,98b	4,19b	5,55b	7,37b	8,95b	5,70b	59
	Palha	9,75a	17,23a	19,21a	20,36ª	28,72a	32,37a	21,21a	
Magnésio	Grão	5,57a	9,33a	9,14a	9,83ª	12,23a	14,11a	10,06a	45
	Palha	3,60a	6,11b	6,83b	7,43b	8,35b	8,67b	6,74b	
Enxofre	Grão	1,94a	3,04b	3,10b	3,90b	4,97b	6,52a	3,86b	48
	Palha	2,99a	5,44a	5,38a	6,30ª	7,60a	7,28a	5,78a	

Médias seguida da mesma letra minúscula, na coluna, dento de cada nutriente, não diferem entre si pelo teste de Tukey a (5%) de probabilidade.

3.4 Discussão

3.4.1 Teores de nutrientes

A ausência de efeito das doses do fertilizante sobre os teores de nutrientes nos grãos e na palha (Figura 6) está relacionada ao efeito de diluição destes macronutrientes para produção da massa seca dos frutos (COVRE et al., 2018). Isso ocorre, porque acúmulo de biomassa e acúmulo de nutrientes são fatores dependentes, um está em função do outro (DUBBERSTEIN et al., 2016), onde, a produção da massa seca é superior à velocidade de translocação dos nutrientes (PREZOTTI; BRAGANÇA, 2013).

Para os nutrientes P, Ca, Mg e S a ausência de incremento nos teores, em função das doses do formulado 20-00-20 é justificada pela ausência desses nutrientes na composição do fertilizante. Por outro lado, poderia se esperar decréscimo da concentração desses nutrientes em razão do incremento da massa seca e, consequente efeito de diluição, o que não ocorreu, indicando que o os teores desses nutrientes no solo (Tabela 4) foram suficientes para suprir a demanda dos cafeeiros.

A ordem decrescente da concentração de nutrientes nos grãos N > K > Mg > P > Ca > S e, na palha, K > N > Ca > Mg > S > P (Tabela 4) foi semelhante observada por Covre et al. (2016) e está relacionada com funções metabólicas destes macronutrientes em cada tecido.

O N é essencial para a planta por participar da constituição de membranas, dos processos de absorção iônica, fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celular (TAIZ et al., 2017), apresentando aumentos significativos entre os estágios de rápida expansão, enchimento e maturação dos frutos de café conilon (PARTELLI et al., 2014; COVRE et al., 2018). Além disso, o nitrogênio é um elemento que compõe a estrutura das proteínas globulina 11S, gliceraldeído-3-fosfato desidrogenase, LEA Dehydrin (LIVRAMENTO et al., 2017), presentes em abundância nos grãos de café. Por isso, é esperado que com o aumento das doses de fertilizantes nitrogenados aumente os teores dessas proteínas nos grãos, como relatado para cafeeiros *C. arabica* (REIS et al., 2011) e cafeeiros *C. canephora* (PERROIS et al., 2015).

O K é segundo nutriente mais exigido no processo de formação dos frutos. Isso porque, este nutriente participa de importantes processos metabólicos como balanço osmótico e reações metabólicas, ativando várias enzimas como piruvato quinase, fosfofrutoquinase e ADP-glicose. Estas enzimas, por sua vez, atuam no transporte de energia, na síntese de proteínas e produção de amido (MAATHUIS, 2009; PEREIRA; PERES, 2016), estando presente de forma livre e com alta mobilidade nos tecidos (íon K^+) (TAIZ et al., 2017). Seu papel é fundamental durante a fase reprodutiva do cafeeiro, pois, durante a formação dos frutos há diminuição na concentração de amido nos ramos e folhas (RENA; CARVALHO, 2003), em função do intenso dreno para os frutos. Essa correlação entre a concentração de amido e a produção mostra a importância do K na fisiologia do cafeeiro (BRAGANÇA et al., 2008), especialmente para ativação de enzimas que são essenciais para a síntese de compostos orgânicos, durante amadurecimento de frutos (LAVIOLA et al., 2008).

O P participa da composição de carboidratos, fosfolipídios constituintes das membranas, coenzimas, nucleoproteínas e ácidos nucléicos garantindo estabilidade das membranas. Além disso, atua em processos vitais da planta como a fotossíntese e respiração em função do armazenamento e transferência de energia na forma de ATP (adenosinatrifosfato) e na formação molecular de DNA e do RNA (TAIZ et al., 2017). Dessa forma, é esperado que este macronutriente seja altamente requerido para os processos de diferenciação, divisão e multiplicação celular, como na fase inicial de rápida expansão no estádio de chumbinho do grão do cafeeiro (CUNHA; VOLPE, 2011).

O Ca é um macronutriente que compõe estruturalmente compostos como pectato, carbonato, oxalato, fosfato, calmodulinas e anexinas; atua na regulação enzimática de ATPase,

alfa amilase, fosfolipase, nucleases e poligalacturonase, bem como, atua no funcionamento de membranas, no transporte de auxinas, abscisão e senescência, entre outros processos metabólicos (LI et al.; 2009). Adquirido inicialmente pelas raízes, a maior parte do Ca é transportada no xilema, embora uma pequena parte possa ser transportada através do floema. Quando há vários drenos envolvidos, a redistribuição do Ca na planta torna-se reduzida em função da sua mobilidade (BRAGANÇA et al., 2008), no entanto, as folhas têm proporcionalmente maior superfície de exposição, assim, o Ca dirige-se, preferencialmente, a esses órgãos, em detrimento dos frutos.

O Mg tem um papel fundamental na fotossintese, por modular a atividade da enzima RuBP carboxilase, que catalisa a fixação de carbono. Este elemento também tem função na estabilização estrutural das membranas e como um elemento de ligação para a agregação das subunidades dos ribossomas (TAIZ et al., 2017).

O S é constituinte dos aminoácidos cisteína e metionina, de coenzimas, como a tiamina e a biotina, proteínas como a ferredoxinas e tioredoxinas, e sulfolipídios, sendo essencial para a atividade de membranas e síntese de proteínas (TAIZ et al., 2017).

3.4.2 Acúmulo de massa seca e exportação de nutrientes

O comportamento exponencial observado, tanto para o acúmulo de massa seca dos grãos quanto da palha (Figura 6) sugerem que as diferenças genéticas dos genótipos que compõem a variedade ‘Conilon BRS – Ouro Preto’ (RAMALHO et al., 2014) influenciam na resposta do cafeeiro à aplicação de fertilizantes. Isso porque, genótipos que fazem parte da mesma variedade podem apresentar diferentes comportamentos quanto a absorção e acúmulo de nutrientes em seus tecidos (MARRÉ et al., 2015), o que pode garantir maior estabilidade de produção por área, nos variados ambientes de cultivo da Amazônia. Entretanto, o limitado potencial de resposta individual de alguns genótipos pode comprometer a resposta da variedade ao incremento das quantidades de fertilizantes.

Além de diferenças genotípicas das plantas, outro fator que pode ter influenciado nas respostas do cafeeiro à aplicação de fertilizantes é o espaçamento empregado entre plantas (BRAGANÇA et al., 2009). Nesta pesquisa, o espaçamento empregado de plantio 3 m × 2m, resultou em uma densidade de apenas 1.666 plantas, alcançando produção máxima de 6.413 kg ha^{-1} de massa seca para o grão e 5.455 kg ha^{-1} de massa seca para a palha (Tabela 3).

Para *C. canephora*, os espaçamentos que promovem maiores produtividades são 2 x 1 (5.000 plantas ha^{-1}) e 3 x 1 (3.333 plantas ha^{-1}) (VERDIN FILHO et al., 2014). Isso porque, em lavouras adensadas o aumento da densidade de raízes por área acarreta maior taxa de recuperação de nutrientes, especialmente daqueles que apresentam menor mobilidade no solo. Além disso, o sombreamento proporcionado pelo adensamento, promove aumento do conteúdo de água no solo, o que contribui para que a dinâmica do transporte de macronutrientes no solo seja favorecida, especialmente na fase reprodutiva (COVRE et al., 2018).

Quanto o incremento de exportação de nutrientes em função das doses de fertilizantes, o comportamento exponencial ou linear esteve relacionado ao aumento do acúmulo de massa seca, uma vez que, a concentração de nutrientes não foi influenciada pelas doses de 20-00-20.

Seguindo a sequência descrente da exportação de nutrientes pelos grãos N > K > Mg > P > Ca > S e, pela palha, K > N > Ca > Mg > S > P (Tabela 2), observa-se que a incorporação da palha no solo constituiria importante fonte orgânica de alguns minerais com destaque para N e K. A utilização de palha pode reduzir a necessidade de nutrientes mineral na lavoura (FERNANDES et al., 2013), reduzindo assim os custos de produção da atividade.

4. Conclusão

O incremento de doses do fertilizante formulado 20-00-20 não promove alteração nas concentrações dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg e S nos frutos de cafeeiros ‘Conilon – BRS Ouro Preto’. No entanto, promove maior acúmulo de massa seca, tanto nos grãos quanto na palha e, consequentemente, maior exportação dos nutrientes pelos frutos.

Cafeeiros ‘Conilon - BRS Ouro Preto’ exportam mais N, P e Mg pelos grãos e mais K, Ca e S pela palha, independentemente da dose do fertilizante 20-00-20 utilizada.

Os macronutrientes mais exportados por frutos de cafeeiros ‘Conilon - BRS Ouro Preto’ são: N > K > Mg > P > Ca > S, pelos grãos e K > N > Ca > Mg > S > P pela palha.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P.C.; de MORAES GONÇALVES, J. L. and SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift,** v. 22, n. 6, p. 711–728. 2013.

AMARAL, J. F. T. DO.; MARTINEZ, H. E. P.; LAVIOLA, B. G.; FERNANDES FILHO, E. I.; CRUZ, C. D. Efciência de utilização de nutrientes por cultivares de cafeeiro, **Ciência Rural**, v. 41, n. 4, p. 621-629. 2011.

ARAÚJO, G. L.; REIS, E. F.; MORAES, W. B.; GARCIA, G. O.; NAZARO, A. A. Influência do déficit hídrico no desenvolvimento inicial de duas cultivares de café conilon. **Irriga**, v. 16, n. 2, p. 115-124, 2011.

ARAÚJO, L. V. EMBRAPA. Rentabilidade da produção de café anima produtores de Rondônia. Agricultura Familiar. 2017. Disponível em:< https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/21560171/artigo-rentabilidade-da-producao-de-cafe-anima-produtores-de-rondonia>. Acesso em: 06 jan 2018.

BORNOMO, D. Z.; BORNOMO, R.; PARTELLI, F. L.; SOUSA, J. M. Genótipos de café conilon sob ajuste de diferentes coeficientes de cultura ajustada. **Irrigar,** v. 22, p. 236-248, 2017.

BRAGANÇA, S. M.; MARTINEZ, H. E. P.; LEITE, H. G.; SANTOS, L. P.; SEDIYAMA, C. S.; V, V. H. A.; LANI, J. A. Accumulation of Macronutrients for the Conilon Coffee Tree, **Journal of Plant Nutrition,** v. 31, 103-120, 2008.

BRAGANÇA, S. M.; SILVA, E. B.; MARTINS, A. G.; SANTOS, L. P.; LANI, J. A.; VOLPI, P. S. Resposta do cafeeiro conilon à adubação de npk em sistema de plantio adensado. **Coffee Science**, v. 4, n. 1, p. 67-75, 2009.

CARVALHO, H. de P.; NETO, D. D.; TEODORO, R. E. F.; DE MELO, B. Balanço hídrico climatológico, armazenamento efetivo da água no solo e transpiração na cultura de café. **Bioscience Journal.,** v. 27, n. 2, p. 221-229, 2011.

COVRE, A. M.; PARTELLI, F. L.; BONOMO, R.; TOMAZ, M. A.; RAMALHO, J. C. Impacts of water availability on macronutrients in fruit and leaves of conilon coffee, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.53, n. 9, p. 1025-1037, 2018.

COVRE, A. M.; RODRIGUES, W. P.; VIEIRA, H.D.; BRAUN, H.; RAMALHO, J. C.; PARTELLI, F. L. Nutrient accumulation in bean and fruit from irrgated and non-irrgated Coffea canphora cv. Conilon. **Emirantes Journal of Foofd and Agriculture**, v. 28, 2016.

CRUZ, C. D. **Programa Genes.** Versão 2016.6.9. Disponível em: < http://arquivo.ufv.br/dbg/genes/genes.htm>. Acesso em: 24 ago 2018.

CUNHA, A. R.; VOLPE, C. A. Curvas de crescimento do fruto de cafeeiro cv. Obatã IAC 1669-20 em diferentes alinhamentos de plantio. Semina: **Ciências Agrárias**. v. 32, n. 1, p. 49-62, 2011.

DUBBERSTEIN, D.; PARTELLI, F. L.; DIAS, J. R. M.; ESPINDULA, M. C. Concentration and accumulation of macronutrients in leaf of coffee berries in the Amazon, Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 5, p. 701, 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, **Manual de análise química dos solos, plantas e fertilizantes**. 2, ed. p. 627, 2009.

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

FERNANDES, A. L. T.; SANTINATO, F.; FERREIRA, R. T.; SANTINADO, R. Redução da adubação mineral do cafeeiro Arábica com a utilização de palha de café. **Coffee Science**, v. 8, n. 3, p. 324-336, 2013.

FERRÃO, L, F. V.; CAIXETA, E. T.; SOUZA, F. de F.; ZAMBOLIM, E. M.; CRUZ, C. D.; ZAMBOLIM, L.; SAKIYAMA, N. S. Comparative study of different molecular markers for classifying and establishing genetic relationships in Coffea canephora, **Plant Systematics and Evolution,** v. 299, p. 225-238, 2013.

LAVIOLA, B. G.; MARTINEZ, H .E. P.; SOUZA, R. B. DE. SALOMÃO, L. C. C.; CRUZ, C. D. Macronutrient Accumulation in Coffee Fruits at Brazilian Zona Da Mata Conditions**.** **Journal of Plant Nutrition**. v. 32, n. 6, p. 980-995, 2009.

LAVIOLA, B.G.; MARTINEZ, H. E. P.; SALOMÃO, L. C. C.; CRUZ, C. D.; MENDONÇA, S. M.; ROSADO, L. Acúmulo em frutos e variação na concentração foliar de NPK em cafeeiro cultivado em quatro altitudes. **Bioscience Journal**, v.24, p.19-31, 2008.

LI, W.; XUE, L.; X U, S.; FENG, H.; NA, L. Mediators, genes and signaling in adventitious rooting. **The Botanical Review**, v. 75, n. 2, p. 230-247, 2009.

LIVRAMENTO, K. G. DO.; BORÉM, F. M.; JOSÉ, A. C.; SANTOS, A. V.; LIVRAMENTO, D. E. DO.; ALVES, J. D.; PAIVA, L. V. Proteomic analysis of coffee grains exposed to different drying process. **Food Chemistry**, v. 221, p. 1874-1882, 2017.

MAATHUIS, J. M; Physiological functions of mineral macronutrients. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 12, n. 3, p. 250-258, 2009.

MARCOLAN, A. L.; ESPINDULA, M.C.; **Café na Amazônia**. 1ª edição. 474 p. Embrapa, 2015.

MARCOLAN, A. L.; RAMALHO, A. R.; MENDES, A. M.; TEIXEIRA, C. A. D.; FERNANDES, C. F.; COSTA, J. N. M.; JÚNIOR, J. R. V.; OLIVEIRA, S. J. M.; FERNANDES, S. R.; VENEZIANO, W. Cultivo dos Cafeeiros Conilon e Robusta para Rondônia. **Embrapa Rondônia,** ed **3**. 2009.

MARRÉ, W. B.; PARTELLI, F. L.; ESPINDULA, M. C.; DIAS, J. R. M.; GONTIJO, I.; VIEIRA, H. D. Micronutrient Accumulation in Conilon Coffee Berries with Different Maturation Cycles. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 5, p. 1456-1462, 2015.

MARTINS, C. A. da S; ULIANA, E. M.; REIS, E. F.; SILVA, J. G. F.; BERNADES, C. DE O. Balanço hídrico da cultura do café conilon nas condições edafoclimáticas do município de ecoporanga-es. **Enciclopédia biosfera**, v. 7, n. 12, 2011.

MONTAGNON, C.; CUBRY, P.; LEROY, T. Amélioration génétique du caféier Coffea canephora Pierre : connaissances acquises, stratégies et perspectives. **Cahiers Agricultures**, v. 21, n. 2–3, p. 143- 153, 2012.

PARTELLI, F. L.; ESPINDULA, M. C.; MARRÉ, W. B.; VIEIRA, H. D. Dry matter and macronutrient accumulation in fruits of Conilon coffee with different ripening cycles. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 214-222, 2014.

PEREIRA, F, B.; PERES, F. S. B. Nutrição e enraizamento adventício de plantas lenhosas. Pesquisa Florestal Brasileira, **Brazilian Journal of Forestry Research**, v. 36, n. 87, p. 319-326, 2016.

PERROIS, C.; STRICKLER, S. R.; MATHIEU, G.; LEPELLEY, M.; BEDON, L.; MICHAUX, S.; HUSSON, J.; MUELLER, L.; PRIVAT, E. Differential regulation of caffeine metabolism in Coffea arabica (Arabica) and Coffea canephora (Robusta). **Planta**, v. 241, n. 1, p. 179-191, 2015.

PREZOTTI, L.C.; BRAGANÇA, S.M. Accumulation of dry mass, N, P and K in different genetic sources of Conilon coffee. **Coffee Science**, v. 8, n. 3, p. 284-294, 2013.

RAMALHO, A. R.; ROCHA, R. B.; VENEZIANO, W.; DOS SANTOS, M. MESSIAS. Cultivar de cafeeiro Conilon BRS Ouro Preto – características agronômicas e agroindustriais. **Comunicado Técnico**, n. 396. EMBRAPA. 2014, p. 10.

RAMALHO, J. C.; DA MATTA, F. M.; RODRIGUES, A. P.; SCOTTI-CAMPOS, P.; PAIS, I.; BATISTA-SANTOS, P.; PARTELLI, F. L.; RIBEIRO, A.; LIDON, F. C.; LEITÃO, A. E. Cold impact and acclimation response of Coffea spp. plants. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 26, n. 1, p. 5-18, 2014.

REIS, A. R. DOS.; FAVARIN, J. L.; GALLO, L. A.; MORAES, M. F.; TEZOTTO, T.; LAVRES JUNIOR, J. Influence of nitrogen fertilization on nickel accumulation and chemical composition of coffee plants during fruit development. **Journal of Plant Nutrition**, v. 34, n. 12, p. 1853-1866, 2011.

RENA, A. B.; CARVALHO, C. H. S. Causas abióticas da seca de ramos e morte de raízes em café. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Produção integrada de café**. Viçosa, MG: UFV, 2003. p. 197-222.

SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO AMBIENTAL. **SEDAM**. Disponível em: <http://www.sedam.ro.gov.br/index.php/sistemas-internos/cursos/meteorologia.html>. Acesso em: 13 nov. 2018.

SERRANO, L. A. L.; SILVA, V. M. da.; FORMENTINI, E. A. Uso de compostos orgânicos no plantio do cafeeiro conilon. **Revista Ceres**, v. 58, n. 1, p. 100-107, 2011.

SOUZA, F. F.; CAIXETA, E. T.; FERRÃO, L. F. V.; PENA, G. F.; SAKIYAMA, N. S.; ZAMBOLIM, E. M.; ZAMBOLIM, L.; CRUZ, C. D. Molecular diversity in Coffea canephora germplasm conserved and cultivated in Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 13, n. 4, p. 221-227, 2013.

SYSTAT SOFTWARE Inc - SSI. **SigmaPlot for Windows version 10.** 2006. Disponível em: < https://systatsoftware.com/products/sigmaplot/>. Acesso em: 24 agosto 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6 Ed, p. 690, 2017.

VERDIN FILHO, A, C.; TOMAZ, M, A.; FERRÃO, R, G.; FERRÃO, M, A, G.; FONSECA, A, F, A, DA.; RODRIGUES, W, N. Conilon coffee yield using the programmed pruning cycle and different cultivation densities. **Coffee Science**, v. 9, n. 4, p. 489 - 494, 2014.

CONCLUSÃO GERAL

As doses do formulado 20-00-20 não promovem alterações nos teores de macronutrientes dos frutos do cafeeiro *C. canephora*, mas, o aumento das doses do formulado promove incremento exponencial da produtividade e, consequentemente, na exportação de macronutrientes pelos frutos embora promova decréscimo na eficiência do uso do fertilizante.