



WANTUIR FILIPE TEIXEIRA CHAGAS

**TECNOLOGIAS DE FERTILIZANTES NITROGENADOS NA
CAFEICULTURA**

**LAVRAS - MG
2018**

WANTUIR FILIPE TEIXEIRA CHAGAS

TECNOLOGIAS DE FERTILIZANTES NITROGENADOS NA CAFEICULTURA

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do solo, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Douglas Ramos Guelfi Silva
Orientador

**LAVRAS - MG
2018**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA,
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Chagas, Filipe Teixeira Chagas.

Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta,
controlada e Blends aplicados no cafeeiro/ Wantuir Filipe Teixeira
Chagas. - 2017.

139 p.: il.

Orientador: Douglas Ramos Guelfi Silva.

Tese (doutorado)-Universidade Federal de Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Nitrogênio. 2. Adubação nitrogenada. 3. Fertilizantes
revestidos. 4. Cultura do café. 5. *Coffea arabica*. I. Silva, Douglas
Ramos Guelfi. II. Título.

WANTUIR FILIPE TEIXEIRA CHAGAS

TECNOLOGIAS DE FERTILIZANTES NITROGENADOS NA CAFEICULTURA

NITROGEN FERTILIZERS TECHNOLOGIES IN THE COFFEE CROP

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 02 de outubro de 2017.

Prof. Dra. Adélia Aziz Alexandre Pozza	UFLA
Prof. Dr. César Elias Botelho	EPAMIG
Prof. Dr. Cícero Célio de Figueiredo	UnB
Prof. Dr. Rubens José Guimarães	UFLA

Prof. Dr. Douglas Ramos Guelfi Silva
Orientador

**LAVRAS - MG
2018**

*Aos meus avós Wantuir, Maria, Sílvio e América que,
de alguma forma, têm estado presentes
durante toda essa jornada.*

Dedico!

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar comigo e me iluminar em mais uma etapa.

Aos meus pais, Márcia e Tadeu, pela força, incentivo e imenso amor.

Aos meus padrinhos Beto e Vera, por todo carinho e apoio durante todos os momentos

A minha esposa Lívia, por toda força, amor e compreensão nos momentos difíceis.

Aos meus filhos Miguel e Maria Luiza, por serem incentivo e motivação para seguir em frente e continuar buscando novas conquistas.

Ao Prof. Dr. Douglas R. Guelfi, pela orientação, amizade e ensinamentos tanto na vida pessoal como profissional que me acompanharão por toda vida.

À Dra. Adélia, ao Dr. Cícero, ao Dr. César e ao Dr. Rúbens pelas contribuições e disponibilidade para participar da banca.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência do Solo pela oportunidade de realização deste curso de Doutorado.

A CAPES, CNPq e FAPEMIG pelo apoio financeiro na condução dos trabalhos e concessão de bolsa.

Aos amigos, André, Anderson, Leandro, Marco Túlio, Juliano e Taylor pelo grande auxílio e apoio na execução deste trabalho.

Aos funcionários do departamento de Ciência do Solo, em especial ao Adalberto, Roberto, Milton, Dirce, “Canela” Pesão, e “Seu” Antônio pela amizade e ajuda na condução dos experimentos.

Aos amigos, André, Bruno, Diego, Eduardo, Ivens, Rafael, Jordana, Rúbio pela amizade e apoio durante todo o tempo que trabalhamos juntos.

"O dinheiro faz homens ricos, o conhecimento faz homens sábios e a humildade faz grandes homens."

Mahatma Gandhi

RESUMO GERAL

A aplicação de fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta, controlada e *blends* pode reduzir as perdas de N-NH₃ em comparação à ureia convencional. Essa redução nas perdas de N pode aumentar o aproveitamento e a recuperação do N pela planta. No capítulo 1, objetivou-se avaliar as características de crescimento, nutricionais, fisiológicas e a eficiência agronômica da adubação nitrogenada com fertilizantes estabilizados, de liberação lenta, controlada e *blends* no crescimento de mudas do cafeeiro. O experimento foi realizado em casa de vegetação em vasos com volume de 14 L. Os seguintes fertilizantes nitrogenados foram aplicados na dose de 10 g vaso⁻¹ de N, parceladas em três aplicações com intervalo de 50 dias entre cada aplicação: Ureia convencional; Nitrato de Amônio; Ureia + formaldeído; Polyblen Extend[®]; Polyblen Montanha[®]; Ureia + Poliuretano; Ureia + resina plástica; Sulfato de Amônio + CaCO₃ e o controle, sem aplicação de N. Os maiores valores de altura de plantas, massa seca total de plantas, área foliar e acúmulo de N na folha e na planta inteira foram encontrados com a aplicação do Polyben Extend[®]. A aplicação do Polyben Extend[®] também promoveu maior eficiência agronômica e aumentou a taxa fotossintética e o índice relativo de clorofila nas mudas do cafeeiro ao final do período de condução do experimento. No segundo capítulo, o objetivo foi quantificar as perdas de N por volatilização de amônia e suas alterações nos parâmetros nutricionais, na produtividade e na eficiência agronômica, após a aplicação de fertilizantes nitrogenados convencionais e *blends* em cobertura no cafeeiro em produção, no ano agrícola de 2014/2015 e 2015/2016. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados com seis tratamentos: T₁ = Ureia granulada aplicada na dose de 450 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (100% da dose recomendada) em três parcelamentos iguais com intervalo de 50 dias; T₂ = Nitrato de amônio aplicado na dose de 450 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (100% da dose recomendada) em três parcelamentos iguais com intervalo de 50 dias; T₃ = Polyblen Extend[®] (100% da dose recomendada) aplicado em dois parcelamentos (70% da dose total de N no 1º e 30% no 2º parcelamento); T₄ = Polyblen Extend[®] (70% da dose recomendada): aplicado na dose de 315 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ em dois parcelamentos (70% da dose total de N no 1º e 30% no 2º parcelamento); T₅ = Polyblen Montanha[®] (100% da dose recomendada) sem parcelamento; T₆ = Polyblen Montanha[®] (70% da dose recomendada) sem parcelamento, com três repetições. No total dos dois anos, a ureia promoveu as maiores perdas por volatilização de N-NH₃ (165,6 kg ha⁻¹ de N) quando comparado com os demais fertilizantes nitrogenados aplicados no cafeeiro. O nitrato de amônio promoveu menor perda de N por volatilização (3,8 kg ha⁻¹ de N). O Polyblen Extend[®] e o Polyblen Montanha[®] reduziram as perdas por volatilização em comparação a ureia. Dentre os *blends*, o Polyblen Montanha[®]-70% proporcionou menor perda de N-NH₃ (43,6 kg ha⁻¹ de N). Na média dos dois anos, a aplicação de nitrato de amônio e dos *blends* (63,3 sacas ha⁻¹) aumentaram a produtividade do cafeeiro em comparação à aplicação de ureia (52,8 sacas ha⁻¹). O Polyblen Extend[®] e o Polyblen Montanha[®] promoveram a mesma produtividade aplicando 100 e 70% da dose recomendada. O Nitrato de amônio e o Polyblen Montanha[®] - 100% apresentaram maior Índice de Eficiência agronômica relativa. A ureia promoveu menor eficiência agronômica entre os fertilizantes nitrogenados. No terceiro capítulo, o objetivo foi avaliar a influencia da aplicação de fertilizantes convencionais e “blends” na granulometria e composição química do café. Na média dos dois anos, o nitrato de amônio, Polyblen Montanha[®] 100% e Polyblen Montanha[®] 70% promoveram maior percentual de grãos chato graúdo. Ao final dos dois anos, o nitrato de amônio, Polyblen Extend[®] 100%, Polyblen Montanha[®] 70% e Polyblen Montanha[®] 100% promoveram maior acúmulo de cafeína nos grãos de café. E o nitrato de amônio e o Polyblen Montanha[®] 100% promoveram o maior acúmulo de açúcares totais.

Palavras-chave: Nitrogênio. Adubação nitrogenada. *Coffea arabica*. Ureia.

GENERAL ABSTRACT

The application of stabilized, slow release and controlled-release nitrogen fertilizers and their blends may reduce losses of N-NH₃ in comparison to conventional urea. This reduction in the losses of N may enhance the use and recovery of N by plants. In the first part of the study, the aim was to assess the growth, nutritional, and physiological characteristics and the agronomic efficiency of the nitrogen fertilization with stabilized, slow and controlled-release fertilizers and 'blends' in the growth of coffee seedlings (Chapter 1). The experiment was performed in greenhouse in pots with volume of 14 L. The following nitrogen fertilizers were applied in the dose of 10 g pot⁻¹ of N, which were split in three applications with interval of 50 days between each application: conventional urea; ammonium nitrate, urea + formaldehyde; Polyblen Extend[®]; PolyblenMontanha[®]; urea + polyurethane; urea + plastic resin; ammonium sulfate + CaCO₃ and the control, without N application. The highest values of plant height, total dry mass of plants and leaf area in coffee seedlings were found with the application of Polyblen Extend[®]. This blend provided higher N accumulation in the leaf and in the whole plant. The application of Polyblen Extend[®] also provided higher agronomic efficiency and enhanced the photosynthetic rate and the chlorophyll relative index in the coffee seedlings at the end of the experimental period. In the second part of the experiment, the aim was to quantify the losses of N by ammonia volatilization and their changes in the nutritional parameters, in the yield and agronomic efficiency, after the application of conventional nitrogen fertilizers and 'blends' in top dressing of coffee crop in production (Chapter 2). The experiment was performed in the field, in the growing season of 2014/2015 and 2015/2016, in a Clayey Red Oxisol. It was used the randomized block design with six treatments: T1 = granulated urea applied at a dose of 450 kg of N ha⁻¹ year⁻¹ (100% of recommended dose) in three equals splitting with intervals of 50 days; T2 = ammonium nitrate applied in the dose of 450 kg of N ha⁻¹ year⁻¹ (100% of the recommended dose) in three equal splitting with interval of 50 days; T3 = Polyblen Extend[®] (100% of the recommended dose) applied in two splitting (70% of the total N dose in the 1st and 30% in the 2nd splitting); T4 = Polyblen Extend[®] (70% of total N dose in the 1st and 30% in the 2nd splitting); T5 = PolyblenMontanha (100% of the recommended dose) without splitting; T6 = PolyblenMontanha[®] (70% of the recommended dose) without splitting, with three repetitions. In the average of two years of evaluation, urea provided the highest losses by N-NH₃ volatilization when compared with the other nitrogen fertilizers applied in the coffee crop. Ammonium nitrate provided lower losses of N by volatilization. Polyblen Extend[®] and PolyblenMontanha[®] reduced losses by volatilization in comparison to urea. The application of ammonium nitrate and blends (Polyblen Extend[®] and PolyblenMontanha[®]) enhanced the coffee crop yield in comparison to the application of urea. With the application of urea, there was a need of more liters of natural coffee (*café da roça*) to make a bag of 60 kg of benefited coffee. Polyblen Extend[®] and PolyblenMontanha[®] provided the same yield by applying 100 and 70% of the recommended dose. Ammonium nitrate and PolyblenMontanha – 100% presented higher relative agronomic efficiency index. Urea provided lower agronomic efficiency among the nitrogen fertilizers. In the average of the two years (2015-2016), ammonium nitrate, Polyblen Montanha[®] 100% and Polyblen Montanha[®] 70% promoted a higher percentage of flat borer grains. At the end of the two years, ammonium nitrate, Polyblen Extend[®] 100%, Polyblen Montanha[®] 70% and Polyblen Montanha[®] 100% promoted greater accumulation of caffeine in coffee beans. And ammonium nitrate and Polyblen Montanha[®] 100% promoted the greatest accumulation of total sugars.

Keywords: Nitrogen. Nitrogen fertilization. *Coffea Arabica*. Urea.

LISTA DE FIGURAS

PRIMEIRA PARTE

Figura 1 - Estrutura química da cafeína.26

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1

Figura 1 - Altura de plantas (1a) e diâmetro do caule (1b) do cafeeiro após aplicação de fertilizantes nitrogenados. As letras iguais não diferem entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade. As barras verticais representam o erro padrão das médias (n = 3).48

Figura 2 - Massa seca de folhas, massa seca de ramos, massa seca de raiz e massa seca total de plantas do cafeeiro após aplicação de fertilizantes nitrogenados. As letras iguais não diferem entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade. As barras verticais representam o erro padrão das médias (n = 3).50

Figura 3 - Área foliar das mudas de cafeeiro após aplicação de fertilizantes nitrogenados. As letras iguais não diferem entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade. As barras verticais representam o erro padrão das médias (n = 3).52

Figura 4 - Taxa fotossintética e índice relativo de clorofila (IRC) de mudas de café após aplicação de fertilizantes nitrogenados no cafeeiro. As letras iguais não diferem entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade. As barras verticais representam o erro padrão das médias (n = 3).54

Figura 5 - Índice de eficiência agrônômica relativa (IEAR) e Eficiência Agrônômica (EA) de fertilizantes nitrogenados após aplicação no cafeeiro. As letras iguais não diferem entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade. As barras verticais representam o erro padrão das médias (n = 3).57

ARTIGO 2

Figura 1 - Eletromicrografia do revestimento da ureia com S⁰ - Polyblen Extend[®] - 67 a 68 µm (a), Polyblen Montanha[®] 87 a 99 µm (b) e suas respectivas imagens por espectroscopia por dispersão de energia (EDS) para C, N, O, P e S (c,d).71

Figura 2 - Curva de liberação do N (%) pelo Polyblen Extend [®] e Polyblen Montanha [®] em água destilada a 40 C.	77
Figura 3 - Curva de liberação do N (%) pelo Polyblen Extend [®] e Polyblen Montanha [®] no teste de campo.....	79
Figura 4 - Perdas acumuladas (a) e diárias (b) de N, por volatilização pelos fertilizantes nitrogenados (ureia convencional, nitrato de amônio, Polyblen Extend [®] e Polyblen Montanha [®]), após 1 ^o aplicação do ano 2014/2015 no cafeeiro, juntamente com os dados climáticos (c).....	81
Figura 5 - Perdas acumuladas (a) e diárias (b) de N, por volatilização pelos fertilizantes (ureia convencional, nitrato de amônio, Polyblen Extend [®] e Polyblen Montanha [®]), após 2 ^o aplicação do ano 2014/2015 no cafeeiro, juntamente com os dados climáticos (c).....	84
Figura 6 - Perdas acumuladas (a) e diárias (b) de N, por volatilização pelos fertilizantes (ureia convencional, nitrato de amônio, Polyblen Extend [®] e Polyblen Montanha [®]), após 3 ^o aplicação do ano 2014/2015 no cafeeiro, juntamente com os dados climáticos (c).....	86
Figura 7 - Perdas acumuladas (a) e diárias (b) de N, por volatilização pelos fertilizantes (ureia convencional, nitrato de amônio, Polyblen Extend [®] e Polyblen Montanha [®]), após 1 ^o aplicação do ano 2015/2016 no cafeeiro, juntamente com os dados climáticos (c).....	88
Figura 8 - Perdas acumuladas (a) e diárias (b) de N, por volatilização pelos fertilizantes (ureia convencional, nitrato de amônio, Polyblen Extend [®] e Polyblen Montanha [®]), após 2 ^o aplicação do ano 2015/2016 no cafeeiro, juntamente com os dados climáticos (c).....	91
Figura 9 - Perdas acumuladas (a) e diárias (b) de N, por volatilização pelos fertilizantes (ureia convencional, nitrato de amônio, Polyblen Extend [®] e Polyblen Montanha [®]), após 3 ^o aplicação do ano 2015/2016 no cafeeiro, juntamente com os dados climáticos (c).....	93

LISTA DE TABELAS

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1

- Tabela 1 - Características químicas e textura do horizonte B do Latossolo Vermelho. 44
- Tabela 2 - Acúmulo de N na raiz, ramos, folhas e acúmulo total de N no cafeeiro após aplicação dos tratamentos com fertilizantes nitrogenados..... 53

ARTIGO 2

- Tabela 1 - Análise química e física do LV da área experimental na camada de 0 a 20 cm. 69
- Tabela 2 - Tratamentos com os fertilizantes nitrogenados, dose de N aplicada, porcentagem da dose e número de aplicações na cultura do café, em cada ano..... 70
- Tabela 3 - Datas das três adubações em cada ano de condução do experimento. 72
- Tabela 4 - Equações de regressão e R^2 da liberação de N pelos fertilizantes ao longo do tempo em laboratório e em campo..... 78
- Tabela 5 - Perdas de N por volatilização no primeiro ano (2014/2015), segundo ano (2015/2016) e perda acumulada nos dois anos após aplicação dos tratamentos..... 94
- Tabela 6 - Teor de N (dag kg^{-1}) foliar no início da adubação em cada ano (Início 2014/2015 e Início - 2015/2016), antes da colheita (Colheita- 2014/2015 e Colheita - 2015/2016) e índice relativo de clorofila (IRC) nos anos 2014/2015 e 2015/2016, após aplicação dos tratamentos com fertilizantes nitrogenados..... 98
- Tabela 7 - Produtividade (sacas ha^{-1}) no primeiro (2014/2015) e segundo ano (2015/2016), e média dos dois anos obtida após aplicação dos tratamentos com fertilizantes nitrogenados..... 100
- Tabela 8 - Rendimento (litros café da roça/saca de café beneficiado) no primeiro (2014/2015) e segundo ano (2015/2016), e média dos dois anos obtida após aplicação dos fertilizantes nitrogenados em cobertura no cafeeiro. 103

Tabela 9 - Valores de Renda após aplicação dos em cada ano (2015 e 2016) e na média dos dois anos após aplicação dos fertilizantes nitrogenados em cobertura no cafeeiro.	105
Tabela 10 - Índice de eficiência agronômica relativa (IEAR) e eficiência agronômica (EA) após aplicação dos tratamentos com fertilizantes nitrogenados aplicados em cobertura no cafeeiro após os dois anos de cultivo.....	106

ARTIGO 3

Tabela 1 - Análise química e física do LV da área experimental na camada de 0 a 20 cm.	120
Tabela 2 - Datas das três adubações em cada ano de condução do experimento.	121
Tabela 3 - Valores de classificação por peneira (%) de grãos de café após aplicação dos tratamentos com fertilizantes nitrogenados nos anos 2015 e 2016.....	124
Tabela 4 - Teor de N, Porcentagem de Cafeína (%) e de Proteína (%) nos grãos de café após aplicação de fertilizantes nitrogenados nos anos 2015, 2016 e a média dos dois anos.....	126
Tabela 5 - Acúmulo de N (kg ha^{-1}), Cafeína (kg ha^{-1}) e de Proteína (kg ha^{-1}) nos grãos de café após aplicação de fertilizantes nitrogenados nos anos 2015, 2016 e o total dos dois anos.....	128
Tabela 6 - Teor de açúcares totais (%) e Compostos fenólicos (%) nos grãos de café após aplicação de fertilizantes nitrogenados nos anos 2015, 2016 e a média dos dois anos.....	130
Tabela 7 - Acúmulo de açúcares totais (kg ha^{-1}) e Compostos fenólicos (kg ha^{-1}) nos grãos de café após aplicação de fertilizantes nitrogenados nos anos 2015, 2016 e a média dos dois anos.	132
Tabela 8 - Valores de Acidez Titulável Total (mL de NaOH/100g), pH, Condutividade Elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$) e Lixiviação de Potássio (ppm) no ano de 2015.	133
Tabela 9 - Valores de Acidez Titulável Total (mL de NaOH/100g), pH, Condutividade Elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$) e Lixiviação de Potássio (ppm) no ano de 2016.	133

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	14
1	INTRODUÇÃO	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Fontes convencionais de nitrogênio na adubação do cafeeiro.....	17
2.2	Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia	18
2.3	Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta e controlada	20
2.3.1	Fertilizantes nitrogenados estabilizados	21
2.3.2	Fertilizantes nitrogenados de liberação lenta	22
2.3.3	Fertilizantes nitrogenados de liberação controlada	23
2.4	<i>Blends</i> de fertilizantes nitrogenados	24
2.5	Parâmetros de qualidade de grãos de café.....	25
2.5.1	Classificação por peneira.....	25
2.5.2	Cafeína	26
2.5.3	Proteína	27
2.5.4	Açúcares	27
2.5.5	Compostos fenólicos (ácidos clorogênicos).....	28
2.5.6	Acidez titulável total e pH	28
2.5.7	Condutividade elétrica e lixiviação de potássio	29
	REFERÊNCIAS	30
	SEGUNDA PARTE - ARTIGOS	39
	ARTIGO 1 - CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO, NUTRICIONAIS E FISIOLÓGICAS DE MUDAS DE CAFEIEIRO ADUBADO COM FERTILIZANTES NITROGENADOS	39
1	INTRODUÇÃO	42
2	MATERIAL E MÉTODOS	44
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4	CONCLUSÕES	59
	REFERÊNCIAS	60
	ARTIGO 2 - BLENDS DE FERTILIZANTES NITROGENADOS PARA A ADUBAÇÃO DO CAFEIEIRO EM PRODUÇÃO	64
1	INTRODUÇÃO	67
2	MATERIAL E MÉTODOS	69
2.1	Características da área de estudo	69
2.2	Delineamento experimental e caracterização dos fertilizantes	70
2.3	Condução do experimento	71
2.4	Avaliações	73
2.4.1	Curva de liberação do N pelos “Blends”	73
2.4.2	Volatilização de amônia	74
2.4.3	Teor de N foliar e índice relativo de clorofila	75
2.4.4	Produtividade, Rendimento e Renda	75
2.4.5	Índices de eficiência da adubação nitrogenada	76
2.4.6	Análises estatísticas	76
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
3.1	Curva de liberação do N pelos “Blends”	77
3.2	Perdas por Volatilização de amônia no Primeiro Ano (2014/2015).....	80
3.3	Perdas por Volatilização de amônia no Segundo Ano (2015/2016)	87
3.4	Perda total de N por Volatilização de amônia (Ano 2014/2015 e 2015/2016)	94

3.5	Nitrogênio foliar e Índice Relativo de Clorofila	97
3.6	Produtividade, Rendimento e Renda	100
3.7	Índices de eficiência da adubação nitrogenada após os dois anos de cultivo.....	105
4	CONCLUSÕES	108
	REFERÊNCIAS	109
	ARTIGO 3 - PARÂMETROS DE QUALIDADE DE GRÃOS DE CAFÉ APÓS APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS E “BLENDS”	115
1	INTRODUÇÃO	118
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	120
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES	124
3.1	Parâmetros físicos dos grãos de café	124
3.2	Parâmetros químicos dos grãos de café	126
4	CONCLUSÕES	135
	REFERÊNCIAS	136

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

As estimativas indicam que a população mundial pode chegar ao patamar de 9 bilhões em 2050 (MAXMEN, 2013). Com esse aumento, manter a oferta de alimentos para a sociedade torna-se um desafio (FOLEY et al., 2011). Para atender essa crescente demanda alimentar, é fundamental a busca pelo aumento na produtividade de grãos, entre eles o café.

O principal desafio relacionado ao aumento da produtividade é conseguir desenvolver sistemas que aumentem a produção por área cultivada e reduzam os impactos ambientais (CHIEN; PROCHNOW; CANTARELLA, 2009). Os fertilizantes nitrogenados estão entre os insumos mais consumidos na agricultura mundial e apresentam baixa eficiência de aproveitamento pela planta (KE et al., 2017).

Dentre os fertilizantes nitrogenados mais utilizados, destaca-se a ureia. No ano de 2015, a ureia representou 58% do consumo mundial de fertilizantes nitrogenados (INTERNATIONAL FERTILIZER ASSOCIATION - IFA, 2017). A ureia possui alta concentração de N (45%) e com isso menor custo por unidade do nutriente (DOMINGHETTI et al., 2016).

No entanto, a aplicação de ureia ao solo tem promovido altas perdas por volatilização. No cafeeiro, essas perdas podem chegar a valores de até 30% do N aplicado (DOMINGHETTI et al., 2016). Essa perda tem contribuído para a redução do aproveitamento e recuperação do N aplicado (KE et al., 2017). Além disso, pode contribuir diretamente com a emissão de gases poluentes para atmosfera, principalmente, óxido nitroso e dióxido de carbono (MARTINS et al., 2017).

Para melhorar a eficiência de fertilizantes nitrogenados e reduzir a emissão de gases para a atmosfera, grande atenção voltou-se para os fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada (MARTINS et al., 2017). Esses fertilizantes tentam minimizar a diferença entre a solubilidade do N no sistema e a curva de absorção do nutriente pela planta e com isso, diminuir as perdas no sistema solo-atmosfera (KE et al., 2017).

O uso de fertilizantes de eficiência aumentada (Fertilizantes estabilizados, de liberação lenta e controla) é considerado uma prática efetiva para melhorar a eficiência de uso dos nutrientes pelas plantas e também reduzir as perdas para atmosfera (GENG et al., 2015). Além disso, o uso destes fertilizantes pode promover menor custo com mão de obra quando comparado a fertilizantes convencionais (AZEEM et al., 2014). Segundo Ke et al. (2017), a

aplicação de fertilizantes de eficiência aumentada, principalmente os de liberação controlada, pode não necessitar de parcelamentos de doses, como se recomenda para fertilizantes nitrogenados convencionais.

A tecnologia de fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada não é recente, entretanto, o alto custo tem inviabilizado o uso desses fertilizantes em grande escala pelos agricultores (TRENKEL, 2010). Neste sentido, a aplicação combinada de fertilizantes convencionais (ureia) e de fertilizante de eficiência aumentada (ureia estabilizada, de liberação lenta e controlada) pode ser uma alternativa para reduzir o custo total do fertilizante (TRENKEL, 2010).

A utilização dessa mistura de fertilizantes convencionais e de eficiência aumentada, conhecida como *blend*, além de reduzir custos, tem como objetivo buscar uma liberação do nutriente pelo fertilizante sincronizada com a demanda pela cultura durante todo o ciclo (GUO et al., 2017). Esse sincronismo também pode possibilitar uma redução no custo com mão de obra na adubação do cafeeiro, uma vez que o *blend*, se realizado em proporções adequadas, disponibilizará N em curto e médio prazo para o cafeeiro e com isso, pode-se evitar a necessidade de três parcelamentos, como recomenda Guimarães et al. (1999).

Segundo Noellsch et al. (2009), a utilização de *blends* de Ureia + NBPT com ureia de liberação controlada na relação 1:1 promoveu um aumento de 41% na recuperação de N em plantas de milho. Na cultura do café, ainda são escassos os estudos que avaliam a eficiência da adubação nitrogenada e a recuperação de N com estes fertilizantes.

A melhoria na disponibilidade de N para o cafeeiro também pode interferir em fatores nutricionais, fisiológicos e parâmetros físicos e químicos de qualidade de bebida do café (CARVALHO et al., 2016; MARTINEZ et al., 2014). De acordo com Martinez et al. (2014), o N é o nutriente mais exigido para o crescimento vegetativo e o segundo exportado pelos grãos de café.

Clemente et al. (2015) relatam que os nutrientes, entre eles o N, devem estar disponíveis em quantidades adequadas nas fases de desenvolvimento do cafeeiro, para com isso, alcançar altas produtividades e também cafés de qualidade. A toxicidade ou a deficiência de N podem causar distúrbios metabólicos que fazem consideráveis danos à produção e à qualidade da bebida (CLEMENTE et al., 2015; PEREIRA; MALTA, 2004).

Diante do exposto, buscou-se avaliar a eficiência agrônômica de fertilizantes nitrogenados convencionais, de liberação lenta, controlada e de *blends* no crescimento inicial do cafeeiro e também quantificar perdas de N por volatilização de amônia e suas alterações nos parâmetros nutricionais, produtivos e na eficiência agrônômica da adubação nitrogenada,

após a aplicação de fertilizantes nitrogenados convencionais e *blends* em cobertura no cafeeiro em produção.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Fontes convencionais de nitrogênio na adubação do cafeeiro

O nitrogênio (N) é um nutriente que faz parte da estrutura de enzimas, proteínas e da clorofila (MARSCHNER, 2012). O suprimento de N afeta a taxa fotossintética e também o crescimento de folhas e raízes do cafeeiro, sendo o crescimento foliar primeiramente afetado (TAIZ; ZIEGER, 2013).

O N é o nutriente aplicado em maior quantidade no cafeeiro. Entretanto, das diversas deficiências nutricionais observadas, a de N é a mais encontrada (MACHADO, 2015). Segundo Vitti et al. (1999), a eficiência da adubação nitrogenada depende de vários fatores, entre eles, das condições do solo (umidade e textura do solo), época de aplicação e da fonte utilizada.

Os fertilizantes nitrogenados convencionais mais consumidos no Brasil são: ureia (45% de N), sulfato de amônio (20% de N) e nitrato de amônio (32% de N), respectivamente, em ordem decrescente (MALAVOLTA; MORAES, 2009).

A ureia destaca-se por apresentar alta concentração de N (45%) e menor custo por unidade do nutriente (menor custo com transporte) quando comparado a outras fontes de nitrogênio (DOMINGHETTI et al., 2016). Aliado a isso, é de fácil aquisição, manuseio e aplicação. No entanto, sua aplicação no solo gera elevadas perdas de N para a atmosfera. Essas perdas são atribuídas à formação do gás amônia (NH_3), que é volátil, em umas das etapas intermediárias da hidrólise da ureia no solo (KUMAGAI; ARAKI; UENO, 2011).

A aplicação de ureia sobre o solo causa uma elevação do pH na região do grânulo do fertilizante no momento da hidrólise (ERNANI; STECKLING; BAYER, 2001). Esse aumento no pH faz com que ocorram elevadas perdas de N-NH_3 por volatilização. O ambiente de pH alcalino dificulta a passagem de amônia (N-NH_3) a amônio (N-NH_4) pela ausência de prótons (íons H^+), fazendo com que a amônia (N-NH_3) fique concentrada nesta região, o que aumenta a possibilidade de perda para a atmosfera (VILLAS BÔAS et al., 2005).

As perdas de N-NH_3 são influenciadas pelo pH do solo, clima, regime de chuvas, manejo dos fertilizantes (dose e fonte do nutriente) e pela atividade da urease, enzima presente no solo responsável pela hidrólise da molécula de ureia (DENMEAD; FRENEY; DUNIN, 2008; SANGOI et al., 2003).

Essas perdas por volatilização contribuem para a diminuição da eficiência dos fertilizantes nitrogenados, que podem atingir valores de 40 a 70% do total de N que é aplicado

(HUSSAIN; DEVI; MAJI, 2012). Segundo Guimarães et al. (1999), as recomendações de nitrogênio para as culturas, entre elas o café, é realizada já com a contabilização de perdas na ordem de 50% de nitrogênio, decorrentes do uso generalizado da ureia na agricultura.

Após adubação com ureia no cafeeiro, Fenilli et al. (2007) encontraram perdas por volatilização de 21% do N total aplicado. Os autores utilizaram a dose de 280 kg de N ha⁻¹, parcelada em quatro aplicações de 70kg de N ha⁻¹. Já Dominghetti et al. (2016) reportaram perdas de 30% de N-NH₃ após aplicação de ureia no cafeeiro (Dose utilizada = 450 kg de N ha⁻¹ parcelada em três aplicações). Em ambos os trabalhos, os autores encontraram perdas inferiores a 1% de N-NH₃ com a aplicação do sulfato de amônio e nitrato de amônio.

O sulfato e o nitrato de amônio não apresentam perdas por volatilização de N-NH₃ (MARCHESAN et al., 2011). Segundo Cantarella et al. (2007), o N na forma de sulfato e o nitrato de amônio (N amoniacal), aplicados em solos com pH inferior a 7,0 (maioria dos solos brasileiros) não favorecem o aumento do pH em torno do grânulo, e com isso não liberam N-NH₃.

Em estudo realizado por Cantarella et al. (2008), no qual foram avaliadas as perdas de NH₃ por volatilização a partir da aplicação em superfície do nitrato de amônio na cultura da cana-de-açúcar com restos de palhada em superfície, os autores encontraram perda inferior a 1% com a aplicação do nitrato de amônio.

No entanto, a aplicação de sulfato e nitrato de amônio pode promover a acidificação do solo, fornecendo prótons H⁺ (MARCHESAN et al., 2011). Aliado a isso, o uso destes fertilizantes também representam maior custo por unidade de N em comparação à ureia (DOMINGHETTI et al., 2016).

2.2 Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia

O N possui uma dinâmica complexa no ambiente e passa por constantes modificações em sua forma e estrutura o que pode levar a perdas, tanto para a atmosfera quanto para camadas mais profundas do solo, por lixiviação (ZHANG et al., 2013). Em solos de regiões tropicais, como as que predominam no Brasil, a existência de cargas elétricas positivas em profundidade no solo, pelos altos teores de óxidos de ferro e gibbsita, podem reduzir as perdas de N por lixiviação, quando comparadas às perdas para atmosfera (DYNIA, 2000; REIS; BARROS, 1990).

As perdas de N para atmosfera ocorrem na forma de N₂, NO, N₂O e predominantemente, na forma de NH₃ pelo processo de volatilização, após aplicação de ureia

no solo (LORENSINI et al., 2012). A volatilização de NH_3 inicia-se devido à hidrólise da ureia - $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ - por meio da urease no solo (CANTARELLA, 2007). A urease é uma enzima extracelular produzida por bactérias, actinomicetos e fungos do solo ou, ainda, originada de restos vegetais (COSTA; VITTI; CANTARELLA, 2003).

Após a hidrólise, tem-se a formação de carbonato de amônio. O carbonato de amônio resultante da hidrólise da ureia não é estável e desdobra-se em NH_3 , CO_2 e água (CANCELLIER, 2013). Quanto mais rápida a hidrólise, maior o potencial de perda de NH_3 (COSTA; VITTI; CANTARELLA, 2003).

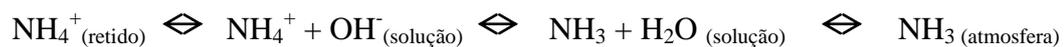
Segundo Koelliker e Kissel (1988), solos que apresentam pH abaixo de 6,3, apresentam a seguinte reação da ureia:



E solos que apresentam $\text{pH} \geq 6,3$, formam amônio e carbonato após a hidrólise (KOELLEKER; KISSEL, 1988):



De acordo com Cantarella (2007), a perda de N-NH_3 ocorre após as reações de equilíbrio no solo:



Como observado nas reações acima, o pH do solo próximo ao grânulo de ureia é o fator que mais influencia no processo de volatilização (TASCA et al., 2011). Segundo Sommer, Shjoerring e Denmead (2004), as maiores perdas de N-NH_3 ocorrem em solos com pH próximo ou maiores que 7.

No solo, a reação de hidrólise da ureia, o OH^- liberado se associa com moléculas de amônio NH_4^+ , tendo como consequência o aumento do pH em torno do grânulo, o que promove maior formação de NH_3 . E posteriormente, maior perda de N por volatilização (SANGOI et al., 2003).

A presença de água tem influência direta sobre a hidrólise. Na presença de umidade no solo, há um aumento da difusão da ureia e, com isso, maior contato com a urease no solo (LORENSINI et al., 2012).

Segundo Rochette et al. (2009), a ureia quando em contato com o solo é rapidamente hidrolisada. De acordo com os autores, a taxa de hidrólise é dependente de fatores como a temperatura do solo, umidade do solo e quantidade de ureia que é aplicada ao solo. Cantarella (2007) reporta que as perdas de N-NH₃ após a aplicação da ureia na superfície do solo úmido e com alta temperatura, podem chegar a até 50% do N aplicado. E essas perdas apresentam valor máximo no 2º ou 3º dia após a sua aplicação (CANTARELLA et al., 2008).

Em regiões de clima tropical, onde está a maioria das áreas cultivadas com café no Brasil, o processo de perda de N-NH₃ é acelerado (CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT - CCME, 2010). Trabalhando nessas condições (Lavras -MG), Cancellier et al. (2016) verificaram perdas de 30% de N-NH₃ após aplicação da ureia em cobertura no milho. Também em condições tropicais, Tasca et al. (2011) verificaram perdas de 50% do N total aplicado após o fornecimento de ureia.

No café, a adubação nitrogenada também é aplicada em cobertura (sem incorporação), uma vez que a incorporação da ureia ao solo é um processo oneroso e pode danificar o sistema radicular (FARIA et al., 2013). A aplicação do N em cobertura faz com que se tenham grandes perdas de N-NH₃ após adubação. Segundo Rochette et al. (2013), as reações que envolvem os processos de volatilização são mais intensas quando a ureia é aplicada na superfície do solo e sem incorporação, promovendo maiores perdas. Essas perdas, além de causar prejuízos aos agricultores, podem aumentar os danos ao ambiente (VILAIN et al., 2014).

2.3 Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta e controlada

Na busca de reduzir as perdas de N-NH₃ após aplicação de ureia no solo, vários estudos têm sido desenvolvidos. Esses estudos apontam uma diferente classificação de fertilizantes nitrogenados, denominados como de eficiência aumentada (TRENKEL, 2010).

Os fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada são classificados em fertilizantes estabilizados, de liberação lenta e controlada (OZORES-HAMPTON; CARSON, 2013). Esses fertilizantes são recobertos ou encapsulados por substâncias que fazem com que o nutriente seja gradativamente liberado, ou possuem aditivos que inibem alguma etapa de transformação do N no solo (TRENKEL, 2010).

Segundo Azeem et al. (2014), o uso destes fertilizantes apresenta grande potencial na redução da perda de N-NH₃. Além disso, podem promover redução na emissão de óxido nítrico e dióxido de carbono para a atmosfera, minimizando as alterações ambientais

provenientes do uso de altas doses de fertilizantes nitrogenados (TRENKEL, 2010). Jin et al. (2013) citam ainda a possibilidade de reduzir doses e a frequência de aplicação como vantagens destes fertilizantes.

2.3.1 Fertilizantes nitrogenados estabilizados

Fertilizantes nitrogenados estabilizados são os que possuem algum aditivo que possa evitar a transformação do N, em alguma forma não desejável (DOMINGHETTI et al., 2016). Os mais utilizados na agricultura mundial são os inibidores de nitrificação e de urease (TRENKEL, 2010).

Os inibidores de nitrificação atuam no processo de nitrificação do N após aplicação do fertilizante nitrogenado ao solo. Esses aditivos inibem a transformação do amônio em nitrato e isso faz com que não se acumule nitrato no sistema, reduzindo assim o processo de lixiviação do nitrato (TRENKEL, 2010).

Os inibidores de urease retardam a taxa de conversão do N na forma amídica (forma de N presente na ureia) para forma amoniacal devido à redução da atividade da urease no solo (TIMILSENA et al., 2015). De acordo com Cancellier et al. (2016), o atraso na taxa de conversão do N na forma amídica para amoniacal diminui a formação de amônia no sistema e consequentemente perdas por volatilização.

No Brasil, os mais utilizados são os inibidores de urease e dentre estes, destaca-se o NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida) (CANCELLIER et al., 2016). O NBPT, quando em contato com o solo, se decompõe rapidamente a NBPTO (N-(n-butil) fosfórico triamida). E essa molécula (NBPTO) reduz a atividade da urease no solo devido à presença de oxigênio na sua composição (CHIEN et al., 2009). Os átomos O e NH_2 desse inibidor e o sítio da urease formam ligações químicas e com isso a urease torna-se inativa (GUELFY, 2017).

Segundo Mikkelsen (2009), a estabilização da ureia pelo NBPT tem como principal benefício o atraso no pico de volatilização de N-NH_3 . Esse atraso, por possibilitar um período maior de tempo para incorporação do fertilizante ao solo, pela ação da chuva, pode reduzir as perdas por volatilização (WATSON et al., 2008).

A eficiência do NBPT como estabilizante da ureia está diretamente relacionada ao teor de umidade no solo, temperatura e quantidade de precipitação (DAWAR et al., 2011). De acordo com Cantarella (2007), intervalos de chuvas entre três e sete dias favorecem a eficiência do NBPT na redução de volatilização de N-NH_3 . Segundo Tasca et al. (2011), em relação à ureia convencional, a ureia com inibidor de urease retarda os picos de volatilização

de NH_3 , os quais aconteceram sempre na primeira semana após a aplicação dos fertilizantes sobre a superfície do solo.

Em condições de alta temperatura, o uso do NBPT apresenta problemas quanto ao tempo de duração de sua proteção. Em estudo realizado por Tasca et al. (2011), em ambiente controlado, com temperatura média de 35 °C, esse período foi de apenas dois dias, o que pode inviabilizar sua utilização como inibidor em regiões com temperaturas mais elevadas. Segundo Whitehurst e Whitehurst (2014), o NBPT é constituído por uma cera com viscosidade reduzida de difícil manuseio, sendo sensível a altas temperaturas e umidade.

2.3.2 Fertilizantes nitrogenados de liberação lenta

Os fertilizantes nitrogenados classificados como de liberação lenta são produzidos a partir da condensação da ureia com aldeídos. Dentre os mais utilizados na agricultura mundial, destaca-se a Ureia Formaldeído (GUELF, 2017). Estes fertilizantes têm como princípio a redução da solubilidade das frações N presentes na molécula de ureia (NEYMAN; DERR, 2002). Para isso, é adicionado formaldeído à molécula de ureia, formando-se como produto final cadeias poliméricas com diferentes solubilidades do N (GUELF, 2017; YAMAMOTO et al., 2016).

A ureia formaldeído atrasa a disponibilidade de N ao solo, em comparação a um fertilizante solúvel (TRENKEL, 2010). Com isso, menor quantidade de N será exposta à volatilização. Segundo Azeem et al. (2014), a ureia formaldeído atrasa a disponibilidade do nutriente, porém a velocidade de liberação não é controlável. De acordo com Shaviv, Raban e Zaidel (2003), a velocidade de liberação não é determinada e varia de acordo com as condições do clima e do solo.

Dentre os benefícios do uso destes fertilizantes, os principais são minimizar as perdas de N-NH_3 e reduzir a frequência de aplicação do fertilizante nitrogenado (JIN et al., 2013). No entanto, por não se conhecer a velocidade de liberação do nutriente, pode apresentar picos de liberação e com isso, não suprir a demanda da planta durante todo o ciclo da cultura (AZEEM et al., 2014).

No Brasil, em condições tropicais, Viero et al. (2015) concluíram que a ureia formaldeído não reduziu as perdas de N-NH_3 em comparação com a ureia convencional após aplicação no milho. Porém no cafeeiro, Dominghetti et al. (2016) encontraram redução de 96% em perdas de N-NH_3 com aplicação de ureia formaldeído em comparação com a ureia convencional.

Vários fatores podem interferir na velocidade de liberação do nutriente pela ureia formaldeído. Segundo Dominghetti et al. (2016), os principais são: tamanho da molécula de ureia; atributos do solo (atividade biológica, teor de argila e pH) e condições climáticas (precipitação, temperatura, umidade relativa do ar).

2.3.3 Fertilizantes nitrogenados de liberação controlada

Os fertilizantes nitrogenados de liberação controlada são fertilizantes convencionais, como a ureia (alta solubilidade em água), aos quais são adicionados compostos para o recobrimento do grânulo (TRENKEL, 2010). Segundo Trenkel (2010), esse recobrimento serve como barreira física e controla a passagem do nutriente por difusão. Podem ser recobertos por resina plástica e ou enxofre elementar e ou polímeros, e tem uma liberação com tempo e quantidade de nutriente conhecidos (NI et al., 2011).

Para ser classificado como de liberação controlada, o fertilizante deve atender os seguintes critérios: liberar menos do que 15% do N total do fertilizante em um período de 24 horas; liberar menos do que 75% do total de N do fertilizante em 28 dias e possuir, como garantia fornecida pelo fabricante, o tempo necessário em dias para liberar 75% do N total (GUELFY, 2017; NAZ; SULAIMAN, 2016).

Neste sentido, esses fertilizantes devem buscar um sincronismo entre a liberação do nutriente pelo fertilizante e a demanda de nutriente da planta (LUPWAYI et al., 2010). Com isso, reduz-se o tempo em que o nutriente permanece na solução do solo, o que pode diminuir as perdas e aumentar a eficiência de uso do N pelas plantas (GRANT et al., 2012).

Diferentemente, o fornecimento de N com fontes convencionais (fontes solúveis) causam maior concentração do nutriente na solução do solo (ADAMS; FRANTZ; BUGBEE, 2013). Essa concentração, normalmente maior que a ideal para planta, além deixar o N mais suscetível às perdas, pode causar um desbalanço nutricional pelo excesso de N (ADAMS; FRANTZ; BUGBEE, 2013; LIMA et al., 2010).

No caso específico do cafeeiro, altos teores de N predisõem as plantas à infecção por *Cercospora* (LIMA et al., 2010). De acordo com os autores, a contribuição da adubação nitrogenada na resistência ou na suscetibilidade do cafeeiro às doenças varia, entre outros fatores, em função da dose e da fonte de N.

Além disso, por possibilitar uma liberação controlada do nutriente ao longo do tempo, esses fertilizantes possibilitam realizar aplicações em dose única de N (sem parcelamentos)

(TIMILSENA et al., 2015). Já os fertilizantes convencionais, por serem altamente solúveis, não permitem fornecer o N por um determinado período no solo (CANCELIER et al., 2016).

Em função do recobrimento, esses fertilizantes também podem proporcionar melhorias físico-químicas em comparação com os convencionais, como menor higroscopicidade e maior uniformidade dos grânulos (TIMILSENA et al., 2015). Essas características podem facilitar o armazenamento e a uniformidade de aplicação do fertilizante.

Segundo Detrick et al. (2002), o recobrimento com S^0 deve ter espessura mínima de 40 μm ou 13 a 14% de S^0 em relação ao peso da mistura final. Entretanto, devido à variação na distribuição do S^0 pulverizado na forma fundida para recobrimento da ureia, os grânulos, ao final do processo de produção, apresentaram variação na espessura: fino ($< 30 \mu\text{m}$), médio (30 e 50 μm) e grosso ($> 50 \mu\text{m}$). Devido a essa desuniformidade na espessura da camada de S^0 , é necessária a adição de um selante ou o recobrimento para evitar liberação muito rápida de uma fração da ureia e muito lenta de outra fração com revestimento mais grosso.

Além disso, os polímeros podem melhorar características físicas dos fertilizantes recobertos com S^0 , pois promovem aumento na consistência, resistência à abrasão, atrito e impacto (tendência à formação de pó), evitando o rompimento da camada de S^0 durante o manuseio da ureia revestida desde a sua produção até o momento da aplicação. As camadas de polímeros ou resinas também atuam como barreira a entrada de água no grânulo e, conseqüentemente, na redução da sua higroscopicidade (CHEN et al., 2011).

O fator que mais limita o uso destes fertilizantes é o custo, sendo estes, os de valor mais elevado quando comparado aos demais fertilizantes de eficiência aumentada. Segundo Guelfi (2017), o preço de uma ureia de liberação controlada pode ser de 1,5 a 10 vezes maior que o da ureia convencional.

2.4 Blends de fertilizantes nitrogenados

Os fertilizantes conhecidos como *blends*, são misturas físicas das diferentes tecnologias de fertilizantes nitrogenados. Na maioria das vezes, essa mistura é de fertilizantes convencionais com fertilizantes de liberação controlada (NOELLSCH et al., 2009).

A utilização integrada de fertilizantes convencionais e de liberação controlada busca reduzir os custos do uso exclusivo de fertilizantes de eficiência aumentada (TRENKEL, 2010). Além disso, pode criar um ajuste da curva de liberação do N para cada cultura. De acordo com Noellsch et al. (2009), o fertilizante convencional (alta solubilidade em água)

pode suprir a demanda inicial de N pela cultura e o de liberação controlada durante um período de tempo mais prolongado.

A mistura física de grânulos de ureia convencional tratada com NBPT e de ureia revestida com enxofre elementar (S^o) + polímeros é um exemplo de *blend* que pode ser aplicado no cafeeiro. A ureia convencional tratada com NBPT continua solúvel e consegue atender a demanda de N inicial pela planta, porém com menor susceptibilidade as perdas de N-NH₃ (NAZ; SULAIMAN, 2016). Já a fração de ureia revestida com enxofre elementar (S^o) + polímeros libera o N gradualmente em médio e longo prazo (GUELFY et al., 2017).

Noellsch et al. (2009), utilizando mistura entre Ureia + NBPT e de liberação controlada na relação 1:1, encontraram produtividade de milho superior em 890 kg ha⁻¹ em comparação à aplicação de ureia convencional, ambos aplicados em cobertura. Os autores também encontraram maior eficiência de recuperação de N pelas plantas com a aplicação do *blend*, sendo esta superior em 41% em comparação à ureia convencional.

Segundo Chagas et al. (2016), a aplicação de *blend* formado pela mistura de ureia+NBPT com ureia + S^o + polímeros no cafeeiro reduziram as perdas de N-NH₃ em 43%, quando comparado à ureia convencional, ambos aplicados na dose de 450 kg ha de N. Os autores utilizaram *blend* comercial, formado por 30% de ureia+ NBPT e 70% de ureia + S^o + polímeros.

2.5 Parâmetros de qualidade de grãos de café

A adubação do solo e a nutrição das plantas podem afetar tanto o tamanho de fruto quanto a composição química dos frutos de café. E dentre os nutrientes mais utilizados, o nitrogênio destaca-se devido sua complexa dinâmica no sistema solo-planta.

2.5.1 Classificação por peneira

A classificação do café pode ser feita com base no aroma, sabor, aspecto cor e defeitos (BELETE, 2014). A classificação quanto aos seus aspectos físicos como tamanho e formato é feita através de um jogo de peneiras com diferentes dimensões de crivos, conforme o formato dos grãos de café, os grãos maiores que os crivos ficam retidos (DALVI, 2011). Quanto ao formato, os cafés são classificados em chato e moca. Os grãos chatos possuem superfície ventral plana e dorsal convexa, já os grãos mocas apresentam formato ovoide (BRASIL, 2003).

Deste modo os crivos das peneiras podem ser circulares para os chatos e oblongos para os mocas (DALVI, 2011). A classificação oficial do café por peneira se apresenta da seguinte forma: grão chato graúdo de peneira 17, 18 e 19; grão chato médio de peneira 15 e 16; grão chato miúdo 14 e menores; grão moca graúdo de peneira 11, 12 e 13; grão moca médio de peneira 10; grão moca miúdo de peneira 9 e menores (BRASIL, 2003).

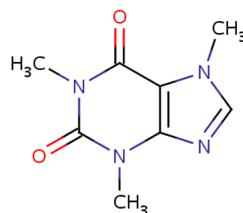
Segundo Laviola et al. (2007), o nível de adubação influencia no tamanho dos grãos chatos do cafeeiro. Segundo os autores, ocorre maior proporção de grãos graúdos com nível adequado de adubação. Os autores também observaram aumento de grão moca nas cultivares Rubi, Icatu e Acaíá com o aumento do nível de adubação.

2.5.2 Cafeína

A cafeína (1,3,7 trimetilxantina) é uma metil xantina encontrada no café e recebe uma maior atenção devido a suas propriedades fisiológicas e farmacológicas, tendo como principais efeitos a diminuição do sono e a estimulação do músculo cardíaco (NUHU, 2014; MONTEIRO; TRUGO, 2005). Além disso, aumenta a taxa metabólica, relaxa a musculatura lisa dos brônquios, do trato biliar, do trato gastrointestinal e de partes do sistema vascular (ABRAHÃO et al., 2008).

A cafeína é sintetizada a partir de aminoácidos alifáticos ornitina e lisina, e possui quatro átomos de nitrogênio em sua estrutura (NUHU, 2014), conforme Figura 1.

Figura 1 - Estrutura química da cafeína.



Estudos de Jeska-Skowron, Zgola-Grzeskowiak e Grzeskowiak (2015) e Souza et al. (2010) mostraram que os teores de cafeína variam de acordo com a espécie da planta, tendo o *Coffea arabica* em média 0,7 a 1,6% e o *coffea canéfora* em torno de 1,5 a 4%. Segundo Spiller (1998), a aplicação de fertilizantes nitrogenados pode aumentar o teor de cafeína em até 40%. Malta et al. (2003) também relatam que o teor de cafeína em grãos de café aumenta com o incremento nas doses de N.

2.5.3 Proteína

As proteínas no grão de café são encontradas no limite do citoplasma ou rodeando os polissacarídeos da parede celular (ANGÉLICO, 2008). As proteínas são de extrema importância para a qualidade do café, pois participam na reação de Maillard e com isso, influenciam no aroma e sabor do café.

Na reação de Maillard, ocorre reação entre um grupo amino de uma proteína ou aminoácido com o grupo carbonila da glicose (CLEMENTE, 2010). Após, tem-se a formação de compostos denominados meloidinas, que conferem a cor escura do café torrado e interferem no sabor e aroma do café (DAGLIA et al., 2000).

A reação de Maillard também interfere no processo de torração proporcionando o desprendimento de compostos voláteis e não voláteis característicos do café (LOPES, 2000). Dependendo da intensidade da torra, a perda de proteínas pode ser de 20 a 40% (HOFFMANN, 2001).

Em grãos de café verde ou denominado de café cru, os teores de proteína podem variar de 8,7% a 16% para o *Coffea arabica* L. (ILLY; VIANI, 1996). Segundo Hoffmann (2001), os teores de proteína variam de 6 a 12%.

2.5.4 Açúcares

A quantidade total de carboidratos ou açúcares totais presentes nos grãos de café está associada aos aminoácidos, proteínas e são precursores de vários compostos voláteis e não voláteis (SAATH, 2010). Tais associações influenciam no aroma e na cor do café, sendo assim fundamental para a qualidade do produto (PEREIRA et al., 2000).

O sabor doce detectado em cafés é baseado na presença de açúcares dos grãos após a torração (SAATH, 2010). Segundo Silva et al. (2002), cafés classificados como especiais possuem maiores teores de açúcares totais.

Verifica-se aumento no teor de açúcares solúveis no grão de café devido à degradação do amido quando o fruto amadurece (CLEMENTE et al., 2013; SAATH, 2010). Com isso, quanto maior a quantidade de frutos nos estádios cereja e seco maior será o teor de açúcares e melhor será a qualidade do produto (CLEMENTE et al., 2013).

Segundo Borém et al. (2008), o teor de açúcares solúveis totais livres do grão beneficiado, encontra-se numa faixa de 5 a 10%. Em estudo realizado por Malta et al. (2003), observou-se que os teores de açúcares totais aumentavam de forma quadrática com o aumento

das doses de nitrogênio. A aplicação de N apresentou aumento máximo de açúcares totais até a dose de 173 kg ha⁻¹ e 234 kg ha⁻¹ de N com aplicação de sulfato de amônio e calcionamida respectivamente.

2.5.5 Compostos fenólicos (ácidos clorogênicos)

Os compostos fenólicos ou polifenóis são constituídos principalmente pelos ácidos clorogênicos e cafeico, destacando-se sua ação protetora como antioxidante (ANGÉLICO, 2008). São responsáveis pela adstringência da bebida do café e podem ser relacionados à presença de grãos em diferentes estádios de maturação ou defeitos (MENDONÇA et al., 2005; PIMENTA; CHAGAS; COSTA, 2000).

A formação de ácidos clorogênicos pode derivar de um desvio na rota de síntese da lignina (MARTINEZ et al., 2014). Segundo Martinez et al. (2014), a aplicação de doses elevadas de N pode ativar a síntese de lignina e de compostos intermediários precursores de ácidos clorogênicos. Clemente et al. (2013) observou que em baixas doses de N, encontra-se as maiores concentrações de compostos fenólicos.

2.5.6 Acidez titulável total e pH

A acidez do café tem influência direta sobre o sabor e aroma da bebida (SAATH, 2010). Segundo Siqueira e Abreu (2006), a acidez no café é um atributo importante para análise sensorial do produto.

De acordo com Saath (2010), tem-se uma correlação inversa entre a qualidade global, de sabor e de sabor residual das bebidas e a acidez titulável de café beneficiado grão cru indicando que grãos contendo alto teor de acidez apresentaram qualidade de bebida inferior.

O pH do café é importante indicativo de eventuais transformações nos frutos como fermentações indesejáveis. Essas fermentações podem ocorrer na pré e pós-colheita originando danos ao produto, agregando assim, perda de qualidade (SIQUEIRA; ABREU, 2006). O pH de café beneficiado grão cru varia na faixa de 5,3 a 5,9 (BARRIOS, 2001; SAATH, 2010).

Segundo Franca et al. (2005), a perda da qualidade do café é relacionada não ao índice do pH, e sim a elevação da acidez. A elevação da acidez está associada a inúmeros fatores, dentre eles, o número de grãos defeituosos e os diferentes estágios de maturação do fruto (PIMENTA; CHALFOUN, 2001; SAATH, 2010).

2.5.7 Condutividade elétrica e lixiviação de potássio

Os testes de condutividade elétrica e lixiviação de potássio são utilizados como parâmetros e indicadores para a qualidade do café e estão relacionados com a integridade das paredes celulares dos grãos (PIMENTA, 2003). Valores elevados de condutividade elétrica e lixiviação de potássio são encontrados em grãos com membranas celulares danificadas ou desorganizadas (NOBRE et al., 2007).

As análises de lixiviação de potássio consistem em quantificar os íons potássio liberados pela semente na água de embebição, enquanto que a condutividade elétrica quantifica o total de íons liberados em solução (SAATH, 2010). Segundo Chagas, Malta e Pereira (2005), grãos de café isentos de defeitos, em que as membranas celulares sofreram menos injúrias, possibilitam uma bebida de melhor qualidade.

A maturação dos grãos de café interfere de forma direta na lixiviação de potássio e na condutividade elétrica (PIMENTA et al., 2008). De acordo com Saath (2010), menores valores de lixiviação de potássio e condutividade elétrica são encontrados em cafés de melhor qualidade e que foram colhidos no estágio cereja.

Ao analisar grãos com diferentes defeitos como grãos preto-verdes, preto, ardidos, verdes e brocados, e quando se colhe em diferentes estádios de maturação como grãos verdes, verde-cana, seco/passa e cereja nota-se diferença nos valores de lixiviação de potássio e na condutividade elétrica (CLEMENTE, 2010). Isso se deve ao fato de grãos com defeitos ou colhidos em estádios precoces apresentam uma membrana celular incompleta ou deteriorada, lixiviando assim maior parte do potássio aumentando a concentração destes íons (SAATH, 2010). Segundo Malta e Chagas (2009), danos causados ao fruto durante a colheita, pós-colheita e processamento também promovem maiores valores de condutividade elétrica e lixiviação de potássio.

Goulart et al. (2003) relatam que a condutividade elétrica e lixiviação de potássio podem ser utilizadas para separar cafés de bebida estritamente mole, mole e apenas mole de bebidas dura, rio e riado. Segundo os autores, a condutividade elétrica e lixiviação de potássio aumentam com a redução da qualidade dos cafés.

REFERÊNCIAS

- ABRHÃO, S. A. et al. Bioactive compounds in whole and decaffeinated coffee and sensorial quality of the beverage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 12, p. 1799-1804, dez. 2008.
- ADAMS, C.; FRANTZ, J.; BUGBEE, B. Macro- and micronutrient-release characteristics of three polymer-coated fertilizers: Theory and measurements. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 176, n. 1, p. 76-88, Feb. 2013.
- AGUIAR, M. I. et al. Sediment, nutrient and water losses by water erosion under agroforestry systems in the semi-arid region in northeastern Brazil. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 79, n. 3, p. 277-289, July 2010.
- ANGÉLICO, C. L. **Qualidade do café (*Coffea arabica* L.) em diferentes estádios de maturação e submetido a cinco tempos de ensacamento antes da secagem**. 2008. 149 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.
- AZEEM, B. et al. Review on materials and methods to produce controlled release coated urea fertilizer. **Journal of Controlled Release**, Amsterdam, v. 181, n. 1, p. 11-21, May 2014.
- BARRIOS, B. B. E. **Caracterização física, química, microbiológica e sensorial de cafés (*Coffea arabica* L.) da região Alto Rio Grande - Sul de Minas Gerais**. 2001. 72 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.
- BELETE, Y. Performance evaluations of hundred beans weights of indigenous Arabica coffee genotypes across different environments. **Sky Journal of Agricultural Research**, Jimma, v. 3, n. 7, p. 120-127, July 2014.
- BORÉM, F. M. et al. Avaliação sensorial do café cereja descascado, armazenado sob atmosfera artificial e convencional. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1724-1729, nov./dez. 2008.
- BRASIL. Instrução Normativa nº 8, de 11 de Junho de 2003. Regulamento Técnico de Identidade e de Qualidade para a Classificação do Café Beneficiado Grão Cru. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 13 jun. 2003. Seção 1, p. 22-29.
- CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT - CCME. **Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: AMMONIA**. Winnipeg: Canadian Environmental Quality Guidelines, 2010. 8 p.
- CANCELLIER, E. L. **Eficiência da ureia estabilizada e de liberação controlada no milho cultivado em solo de fertilidade construída**. 2013. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

- CANCELLIER, E. L. et al. Ammonia volatilization from enhanced efficiency urea on no-till corn in Brazilian cerrado with improved soil fertility. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 40, n. 2, p. 15-23, mar./abr. 2016.
- CANTARELLA, H. A. et al. Ammonia volatilization from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 4, p. 397-401, jul./ago. 2008.
- CANTARELLA, H. A. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.
- CARVALHO, A. M. et al. Relationship between the sensory attributes and the quality of coffee in different environments. **African Journal of Agricultural Research**, Kenya, v. 11, n. 38, p. 3607-3614, Oct. 2016.
- CHAGAS, S. J. de R.; MALTA, M. R.; PEREIRA, R. G. F. A. Potencial da região sul de Minas Gerais para produção de cafés especiais (I atividade da polifenoloxidase, condutividade elétrica e lixiviação de potássio). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 3 p. 590-597, maio/jun. 2005.
- CHAGAS, W. F. T. et al. Ammonia volatilization from blends with stabilized and controlled-released urea in the coffee system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 40, n. 5, p. 497-509, set./out. 2016.
- CHIEN, S.; PROCHNOW, L.; CANTARELLA, H. Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. **Advance in Agronomy**, Oxford, v. 102, p. 267-322, Dec. 2009.
- CHEN, H. et al. **Water soluble alkyd resin-sulfur coate controlled release fertilizer and preparation thereof**. US Pat. 2011/0072871 A1, 2011.
- CLEMENTE, J. M. et al. Effect of N and K doses in nutritive solution on growth, production and coffee beansize. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 2, p. 279-285, mar./abr. 2013.
- CLEMENTE, J. M. et al. Effects of nitrogen and potassium on the chemical composition of coffee beans and on beverage quality. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 37, n. 3, p. 297-305, jul./set. 2015.
- CLEMENTE, J. M. **Nutrição nitrogenada e potássica afetando crescimento, produção, composição química e qualidade da bebida de Coffea arabica**. 2010. 54 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.
- COSTA, M. C. G.; VITTI, G. C.; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH₃ de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 631-637, maio 2003.
- DAGLIA, M. et al. n vitro antioxidant and ex vivo protective activities of green and roasted coffee. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 48, n. 5, p. 1449-1454, 2000.

- DALVI, L. P. **Qualidade dos cafés verde-cana e cereja preparados por via úmida**. 2011. 70 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.
- DAWAR, K. et al. Urea hydrolysis and lateral and vertical movement in the soil: effects of urease inhibitor and irrigation. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 47, n. 2, p. 139-146, Feb. 2011.
- DENMEAD, O. T.; FRENEY, J. R.; DUNIN, F. X. Gas exchange between plant canopies and the atmosphere: case studies for ammonia. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 42, n. 14, p. 3394-3406, May 2008.
- DETRICK, J. H.; HARGROVE, G. L. **Polymer-sulfur-polymer coated fertilizers**. US Pat. 6,338,746 B1, 2002.
- DOMINGHETTI, A. W. et al. Nitrogen loss by volatilization of nitrogen fertilizers applied to coffee orchard. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 40, n. 2, p. 1-11, mar./abr. 2016.
- DYNIA, J. F. Nitrate retention and leaching in variable charge soils of a watershed in São Paulo State, Brazil. **Communications Soil Science in Plant Analysis**, New York, v. 31, n. 5/6, p. 777-791, 2000.
- ERNANI, P. R.; STECKLING, C.; BAYER, C. Características químicas de solo e rendimento de massa seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 939-946, out./dez. 2001.
- FARIA, L. de A. et al. Loss of ammonia from nitrogen fertilizers applied to maize and soybean straw. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 969-975, ago. 2013.
- FENILLI, T. A. B. et al. Volatilization of ammonia derived from fertilizer and its reabsorption by coffee plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 38, n. 13/14, p. 1741-1751, July 2007.
- FOLEY, J. A. et al. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, London, v. 478, n. 7369, p. 337-342, Oct. 2011.
- FRANCA, A. S. et al. Physical and chemical attributes of defective crude and roasted coffee beans. **Food Chemistry**, Oxford, v. 90, n. 1/2, p. 89-94, Mar./Apr. 2005.
- GENG, J. B. et al. Synchronized relationships between nitrogen release of controlled release nitrogen fertilizers and nitrogen requirements of cotton. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 184, p. 9-16, Dec. 2015.
- GOULART, P. de F. P. et al. Análise comparativa entre lixiviação de potássio, condutividade elétrica, teor de ácido clorogênico e métodos de quantificação da atividade da polifenol oxidase em extratos semipurificados de amostras de café de diferentes padrões de qualidade. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, n.7, p. 78-85, jul./dez. 2003.

_____. Aspectos histoquímicos e morfológicos de grãos de café de diferentes qualidades. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 662-666, maio/jun. 2007.

GUELFY, D. Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta ou controlada. **Informações Agronômicas**, Belo Horizonte, n. 157, p. 1-14, mar. 2017.

GRANT, C. A. et al. Crop yield and nitrogen concentration with controlled release urea and split applications of nitrogen as compared to non-coated urea applied at seeding. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 127, p. 170-180, Feb. 2012.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARES, V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Ed. UFV, 1999. p. 289-302.

GUO, J. et al. Mixture of controlled release and normal urea to optimize nitrogen management for high-yielding (> 15Mgha⁻¹) maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 204, p. 23-30, Mar. 2017.

HOFFMANN, C. E. **Resfriamento no processo de torra nas características de qualidade tecnológica e sensorial do café**. 2001. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2001.

HUSSAIN, M.; DEVI, R. R.; MAJI, T. K. Controlled release of urea from chitosan microspheres prepared by emulsification and cross-linking method. **Iranian Polymer Journal**, [S.l.], v. 21, n. 8, p. 473-479, Aug. 2012.

INTERNATIONAL FERTILIZER ASSOCIATION - IFA. **IFADATA**. France: International Fertilizer Association, 2017. Disponível em: <<http://ifadata.fertilizer.org/ucResult.aspx?temp=20170218023916>>. Acesso em: 21 agosto. 2017.

ILLY, A.; VIANI, R. **Espresso coffee: the chemistry of quality**. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 1996. 253 p.

JESZKA-SKOWRON, M.; ZGOLA-GRZESKOWIAK, A.; GRZESKOWIAK, T. Analytical methods applied for the characterization and the determination of bio active compounds in coffee. **European Food Research Technology**, Berlin, v. 240, n. 1, p. 19-31, Jan. 2015.

JIN, S. et al. Preparation and properties of a degradable interpenetrating polymer networks based on starch with water retention, amelioration of soil, and slow release of nitrogen and phosphorus fertilizer. **Journal of Applied Polymer Science**, New York, v. 128, n. 1, p. 407-415, Apr. 2013.

KE, J. et al. Effects of different controlled-release nitrogen fertilisers on ammonia volatilisation, nitrogen use efficiency and yield of blanket-seedling machine-transplanted rice. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 205, p. 147-156, Apr. 2017.

KOELLIKER, J. K.; KISSEL, D. E. Chemical equilibria affecting ammonia volatilization. In: BOCK, B. R.; KISSEL, D. E. (Ed.). **Ammonia volatilization from urea fertilizers**. Basel: National Fertilizer Development Center, 1988. p. 37-52.

KRAJEWSKA, B. Ureasas I. functional, catalytic and kinetic properties: a review. **Journal of Molecular Catalysis**, Amsterdam, v. 59, n. 1/3, p. 9-21, July 2009.

KUMAGAI, E.; ARAKI, T.; UENO, O. Ammonia emission from leaves of different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. **Plant Production Science**, Oxford, v. 14, n. 3, p. 249-253, 2011.

LAVIOLA, B. G. et al. Influência da adubação na formação de grãos mocas e no tamanho de grãos de café (*Coffea arabica* L.). **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 36-42, abr./jun. 2007.

LIMA, L. M. D. et al. Relationship between nitrogen/potassium with Phoma spot and nutrition of coffee seedlings cultivated in nutrient solution. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 35, n. 4, p. 223-228, jul./ago. 2010.

LOPES, L. M. V. **Avaliação da qualidade de grãos crus e torrados de cultivares de cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. Lavras: Ed. UFLA, 2000. 95 p.

LORENSINI, F. et al. Lixiviação e volatilização de nitrogênio em um Argissolo cultivado com videira submetida à adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 7, p. 1173-1179, jul. 2012.

LUPWAYI, N. Z. et al. Soil microbial community response to controlled-release urea fertilizer under zero tillage and conventional tillage. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 45, n. 3, p. 254-261, July 2010.

MACHADO, L. S. **Eficiência nutricional de clones de cafeeiro conilon no estágio inicial de crescimento quanto ao nitrogênio**. 2015. 78 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2015.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M. F. Nutrição de plantas, fertilidade do solo, adubação e economia brasileira. In: LAPIDO, F.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. (Ed.). **Fertilizantes e sustentabilidade na agricultura**. Rio de Janeiro: CETEM, 2009. p. 1-26.

MALTA, M. R. et al. Composição química, produção e qualidade do café fertilizado com diferentes fontes de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 6, p. 1246-1252, nov./dez. 2003.

MALTA, M. R.; CHAGAS, S. J. R. Avaliação de compostos não voláteis em diferentes cultivares de cafeeiro produzidas na região sul de Minas Gerais. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 1, p. 57-61, jan./mar. 2009.

MARCHESAN, E. et al. Fontes alternativas à ureia no fornecimento de nitrogênio para o arroz irrigado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 12, p. 2053-2059, dez. 2011.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Academic Press, 2012. 672 p.

MARTINEZ, H. E. P. et al. Nutrição mineral do cafeeiro e qualidade da bebida. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, p. 838-848, nov./dez. 2014.

- MARTINS, M. R. et al. Strategies for the use of urease and nitrification inhibitors with urea: Impact on N₂O and NH₃ emissions, fertilizer-15 N recovery and maize yield in a tropical soil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, New York, v. 247, p. 54-62, Sept. 2017.
- MAXMEN, A. A crop pests: under attack. **Nature**, London, v. 501, n. 7468, p. S15-S17, 2013.
- MENDONÇA, L. V. L.; PEREIRA, R. G. F. A.; MENDES A. N. G. Parâmetros bromatológicos de grãos crus e torrados de cultivares de café (*Coffea arabica* L.) **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 2, p. 230-242, abr./jun. 2005.
- MIKKELSEN, R. Ammonia emissions from agricultural operations: fertilizer. **Better Crops**, Atlanta, v. 93, n. 4, p. 9-11, Oct. 2009.
- MONTEIRO, M. C.; TRUGO, L. C. Determinação de compostos bioativos em amostras comerciais de café torrado. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 637-641, jul./ago. 2005.
- NAZ, M. Y.; SULAIMAN, S. A. Slow release coating remedy for nitrogen loss from conventional urea: a review. **Journal of Controlled Release**, Amsterdam, v. 225, p. 109-120, Mar. 2016.
- NEYMAN, G. B.; DERR, E. A. **Homogeneous granules of slow-release fertilizer and method of making the same**. US Patent nº 6464746, 24 July 1998, 15 Oct. 2002.
- NI, B. et al. Environmentally friendly slow-release nitrogen fertilizer. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 59, n. 18, p. 10169-10175, Sept. 2011.
- NOBRE, G. W. et al. Alterações químicas do café-cereja descascado durante o armazenamento. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 1-9, jan./jun. 2007.
- NOELLSCH, A. J. et al. Corn response to conventional and slow-release nitrogen fertilizers across a claypan landscape. **Agronomy Journal**, Madison, v. 101, n. 3, p. 607-614, May 2009.
- NUHU, A. A. Bioactive micronutrients in coffee: recent analytical approaches for characterization and quantification. **ISRN Nutrition**, London, v. 2014, p. 1-13, Jan. 2014.
- ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÓMICO OU ECONÔMICO - OCDE. **OCDE guideline for testing of chemicals**. Washington: OCDE, 1992. 62 p.
- OZORES-HAMPTON, M.; CARSON, L. C. **Methods for measuring nitrogen release from controlled-release fertilizer used for vegetable**. Flórida: University of Florida, 2013. 7 p.
- PAYNE, K. M. et al. Blending polymer-coated nitrogen fertilizer improved bermudagrass forage production. **Crop Science**, Madison, v. 55, n. 6, p. 2918-2928, Oct. 2015.
- PEREIRA, R. G. A.; MALTA, M. R. Fatores que podem promover alterações nos grãos de café. In: PEREIRA, R. G. F. A. (Ed.). **Qualidade do café: cafés especiais**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004. p. 25-39.

- PEREIRA, R. G. F. A. et al. Avaliação da composição química de cafés (*Coffea arabica* L.) da região de do alto Rio Grande - Sul de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2000, Vitória. **Anais...** Vitória: IAC, 2000.
- PIMENTA, C. J. et al. Avaliação físico-química e de qualidade do café (*Coffea arabica* L.) submetido a diferentes tempos de espera para secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, n. 10, p. 36-41, 2008.
- PIMENTA, C. J.; CHAGAS, S. J. R.; COSTA, I. Pectinas e enzimaspectinolíticas em café (*Coffea arabica* L.) colhido em quarto estádios de maturação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 4, p. 1079-1083, 2000.
- PIMENTA, C. J. **Qualidade de Café**. Lavras: UFLA 2003. 304 p.1
- PIMENTA, C. J.; CHALFOUN, S. M. Composição microbiana associada ao café em coco e beneficiado colhido em diferentes estádios de maturação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 3, p. 677-682, 2001.
- REIS, M. G. F.; BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p. 265-301.
- ROCHETTE, P. et al. Ammonia volatilization and nitrogen retention: how deep to incorporate urea? **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 42, n. 6, p. 1635-1642, Nov. 2013.
- _____. Banding of urea increased ammonia volatilization in a dry acidic soil. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 38, n. 4, p. 1383-1390, May 2009.
- SAATH, R. **Qualidade do café natural e despulpado em diferentes condições de secagem e tempos de armazenamento**. 2010. 246 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2010.
- SANGOI, L. et al. Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de uréia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 4, p. 687-692, ago. 2003.
- SHAVIV, A.; RABAN, S.; ZAIDEL, E. Modeling controlled nutrient release from polymer coated fertilizers: diffusion release from single granules. **Environmental Science & Technology**, Easton, v. 37, n. 10, p. 2251-2256, May 2003.
- SILVA, E. B.; NOGUEIRA, F. D.; GUIMARÃES, P. T. G. Qualidade dos grãos de café em função de doses de potássio. **Acta Scientiarum**, v. 59, n. 1, p. 173-179, jan./mar. 2002.
- SILVA, E. A. A. da et al. Supra-optimal GA concentration inhibits coffee (*Coffea arabica* cv. Rubi) seed germination and leads to cell death in the embryo. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 56, n. 413, p. 1029-1038, Mar. 2005.
- SIQUEIRA, H. H. de; ABREU, C. M. P. de. Composição físico-química e qualidade do café submetido a dois tipos de torração e com diferentes formas de processamento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 1, p. 113-116, jan./fev. 2006.

- SOMMER, S. G.; SHJOERRING, J. K.; DENMEAD, O. T. Ammonia emission from mineral fertilizers and fertilized crops. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 82, p. 557-622, Dec. 2004.
- SOUZA, R. M. N. et al. Teores de compostos bioativos em cafés torrados e moídos comerciais. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 4, p. 885-890, 2010.
- SPILLER, M. A. The chemical components of coffee. In: SPILLER, G. A. **Caffeine**. Boca Raton: CRC, 1998. p. 97-161.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.
- TASCA, F. A. et al. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 493-502, abr. 2011.
- TIMILSENA, Y. P. et al. Enhanced efficiency fertilisers: a review of formulation and nutrient release patterns. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 95, n. 6, p. 1131-1142, Apr. 2015.
- TRENKEL, M. **Slow- and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient efficiency in agriculture**. 2nd ed. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2010. 163 p.
- VIERO, F. et al. Management of irrigation and nitrogen fertilizers to reduce ammonia volatilization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 6, p. 1737-1743, nov. 2015.
- VILAIN, G. et al. Nitrous oxide production from soil experiments: denitrification prevails over nitrification. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 98, n. 2, p. 169-186, Mar. 2014.
- VILLAS BÔAS, R. L. et al. Recuperação do nitrogênio da mistura de uréia e sulfato de amônio por plantas do milho. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 2, p. 263-272, 2005.
- VITTI, G. C. et al. **Manejo do nitrogênio em diversos sistemas de produção agrícola**. Piracicaba: FEALQ/GAPE, 1999. 38 p.
- WATSON, C. J. et al. Rate and mode of application of the uréase inhibitor N-(n-butyl) thiosphosphoric triamid on ammonia volatilization from surface-applied urea. **Soil use and Management**, Oxford, v. 24, n. 3, p. 246-253, Sept. 2008.
- WHITEHURST, G. B.; WHITEHURST, B. H. **NBPT solution for preparing urease inhibited urea fertilizers prepared from N-ALKYL; N,N-ALKYL; AND N-ALKYL-N-ALKYLOXY amino alcohols**. US Pat. 2010/0037570 A1, 6 Aug. 2013, 18 Nov. 2014.
- YAMAMOTO, C. F. et al. Slow release fertilizer based on urea/urea-formaldehyde polymer nanocomposites. **Chemical Engineering Journal**, Lausanne, v. 287, p. 390-397, Mar. 2016.

ZHANG, W. F. et al. New technologies reduce greenhouse gas emissions from nitrogenous fertilizer in China. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 110, n. 21, p. 8375-8380, May 2013.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

**ARTIGO 1 - CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO, NUTRICIONAIS E
FISIOLÓGICAS DE MUDAS DE CAFEIRO ADUBADO COM FERTILIZANTES
NITROGENADOS**

**Artigo redigido conforme a NBR 6022 (ABNT, 2003) e formatado de acordo com o
Manual da UFLA de apresentação de teses e dissertações.**

RESUMO

A aplicação de ureia no cafeeiro tem promovido altas perdas de nitrogênio (N) por volatilização, fazendo com que o aproveitamento e a recuperação deste nutriente pelas plantas sejam baixos. Esse baixo aproveitamento do N pode interferir no crescimento e na nutrição do cafeeiro e com isso, influenciar a eficiência da adubação nitrogenada. Neste sentido, objetivou-se com este trabalho avaliar as características de crescimento, nutricionais, fisiológicas e a eficiência agrônômica da adubação nitrogenada com fertilizantes estabilizados, de liberação lenta, controlada e “Blends” no crescimento de mudas do cafeeiro. O experimento foi realizado em casa de vegetação em vasos com volume de 14 L. Os vasos foram preenchidos com terra coletada no horizonte B de um Latossolo Vermelho de textura argilosa. Em cada vaso, foi realizado o transplântio de duas mudas de café (*Coffea arabica* L., cultivar Acaia IAC 474-19) com três meses de idade, produzidas a partir de sementeira em areia lavada e peneirada. O delineamento foi inteiramente ao acaso, com três repetições. Os seguintes fertilizantes nitrogenados foram aplicados na dose de 10 g vaso⁻¹ de N, parceladas em três aplicações com intervalo de 50 dias de N: Ureia convencional; Nitrato de Amônio; Ureia + formaldeído; Polyblen Extend[®]; Polyblen Montanha[®]; Ureia + Poliuretano; Ureia + resina plástica; Sulfato de Amônio + CaCO₃ e o controle, sem aplicação de N. Após o cultivo, foram avaliados os parâmetros de crescimento (altura e diâmetro de plantas, massa seca de folhas, ramos, raiz e total de plantas, e área foliar), nutricionais (Acúmulo de N na raiz, nos ramos, nas folhas e total na planta) e fisiológicos (taxa fotossintética e o índice relativo de clorofila). Posteriormente foram calculados dois índices de eficiência agrônômica da adubação nitrogenada. Os maiores valores de altura de plantas, massa seca total de plantas e área foliar em mudas de cafeeiro foram encontrados com a aplicação do Polyblen Extend[®]. Este Blend também proporcionou maior acúmulo de N na folha e na planta inteira. A aplicação do Polyblen Extend promoveu maior eficiência agrônômica e também aumentou a taxa fotossintética e o Índice relativo de clorofila nas mudas do cafeeiro ao final do período de condução do experimento.

Palavras-chave: Nitrogênio. Adubação nitrogenada. *Coffea arabica*. Ureia.

GROWTH, NUTRITIONAL AND PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF COFFEE SEEDLINGS FERTILIZED WITH NITROGEN FERTILIZERS

SUMMARY

The application of urea in coffee crop has caused high losses of nitrogen (N) by volatilization, causing the use and recovery of this nutrient are low. This low use of N may interfere in the growth and nutrition of the coffee crop and thus, influence the efficiency of the nitrogen fertilization. At this way, the aim of this work was to assess the growth, nutritional and physiological characteristics and the agronomic efficiency of the nitrogen fertilization with stabilized, slow and controlled-release fertilizers and 'Blends' in the growth of coffee seedlings. The experiment was performed in a greenhouse in pots with a volume of 14 L. Pots were filled with the horizon B of a clayey Red Oxisol. In each pot, it was performed the transplanting of two plants of coffee (*Coffea arabica* L., cultivar Acaia IAC 474-19) three months old, produced through sowing in washed sand and sieved. The experimental design was entirely randomized, with three repetitions. The following nitrogen fertilizers were applied in the dose of 10 g pot⁻¹, splitted in three applications with interval of 50 days: Conventional urea; ammonium nitrate; urea + formaldehyde; Polyblen Extend[®]; PolyblenMontanha[®]; Urea + polyurethane; urea + plastic resin; ammonium sulfate + CaCO₃ and the control, without N application. After cropping, it was evaluated the growth (height and diameter of plants, dry mass of leaves, branches, root and total of plants, and leaf area), nutritional (N accumulation in roots, branches, leaves and total of plants) and physiological (photosynthetic rate and chlorophyll relative index) parameters. Afterwards, it was calculated two agronomic efficiency index of the nitrogen fertilization. The highest values of plants height, total dry mass of plants and leaf area in coffee seedlings were found with application of Polyblen Extend[®]. This blend also provided higher accumulation of N in the leaf and the whole plant. The application of Polyblen Extend[®] provided higher agronomic efficiency and also enhanced a photosynthetic rate and the chlorophyll relative index in the seedlings of coffee at the end of the period of conduction of the experiment.

Keywords: Nitrogen. Nitrogen fertilization. *Coffea Arabica*. Urea.

1 INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é o nutriente que proporciona maior resposta em produtividade para o cafeeiro e também o de maior demanda para o desenvolvimento inicial da planta (MALAVOLTA, YAMADA E AROALDO, 1981; GARCIA et al., 2011). Porém, a natureza complexa de transformação do N no solo, juntamente com práticas não adequadas de aplicação de fertilizantes nitrogenados, levam à baixa eficiência de utilização do N pelas plantas (ABALOS et al., 2014).

Dentre os fertilizantes nitrogenados mais utilizados na cafeicultura, destaca-se a ureia. O uso deste fertilizante apresenta vantagens como: menor custo por unidade de N; alta concentração de N, baixo custo de produção, baixa corrosividade e menor poder acidificante comparado a outras fontes de N (KISS & SIMIHÁIAN, 2002; MARCHESAN et al., 2011).

Entretanto, a reação de hidrólise da ureia no solo causa um aumento do pH na região do grânulo (ERNANI; STECKLING; BAYER, 2001). Este ambiente de pH alcalino dificulta a passagem de amônia (NH_3) a amônio (NH_4) pela ausência de prótons (íons H^+), e isso faz com que a amônia fique concentrada nesta região e aumente as perdas por volatilização de N-NH_3 (VILLAS BÔAS et al., 2005). Essas perdas contribuem para diminuição da eficiência dos fertilizantes nitrogenados e podem atingir valores de até 40 % do total de N que é aplicado (FARIA et al., 2014).

Atualmente, uma das práticas mais estudadas para melhorar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados é o uso de fertilizantes de eficiência aumentada, classificados em estabilizados, de liberação lenta e liberação controlada (CHIEN et al., 2009; AZEEM et al., 2014).

Os fertilizantes estabilizados são aqueles que possuem a adição de inibidores de urease e/ou nitrificação. Dentre o grupo dos estabilizados, o NBPT [N-(n-butil) tiofosfórico triamida é o inibidor de urease mais utilizado em escala mundial (SANZ-COBENA et al., 2012). No entanto, ainda há necessidade de mais estudos, principalmente em regiões de clima tropical, como o do Brasil. Isto se justifica porque a atividade inibitória de urease do NBPT pode diminuir com o aumento da temperatura do solo (ABALOS et al., 2014).

Os fertilizantes nitrogenados de liberação lenta são produtos da condensação da ureia com aldeídos. Dentre os mais utilizados destaca-se a ureia formaldeído (GUELFI, 2017). Estes fertilizantes promovem a redução da solubilidade das frações N presentes na composição da molécula de ureia (NEYMAN; DERR, 2012).

Já os fertilizantes de liberação controlada são produzidos através da adição de compostos que cobrem o grânulo do fertilizante, o que reduz a exposição direta à água e ar, e libera lentamente o nutriente para a solução do solo (TRENKEL, 2010). Neste grupo, destacam-se aqueles revestidos com enxofre, enxofre e polímeros ou apenas por polímero (OGLE et al., 2012; DOMINGHETTI, et al., 2016).

Estes fertilizantes têm sido estudados por vários autores, como Pereira et al. (2009) e Frazão et al. (2014) na cultura do milho e Garcia et al. (2011) no cafeeiro. Pereira et al. (2009) e Frazão et al. (2014) encontraram maiores produtividades de milho com a aplicação de Ureia + NBPT em comparação a aplicação de uréia convencional. Garcia et al. (2011) avaliando a massa seca do cafeeiro após 285 dias da aplicação de uréia convencional e NBPT encontraram maior massa seca com aplicação de Ureia+NBPT.

Entretanto, o fator que mais limita o uso destes fertilizantes é o custo, sendo estes, de valor mais elevado quando comparado aos fertilizantes nitrogenados convencionais (GUELF, 2017). Uma alternativa para reduzir os custos destes fertilizantes é a utilização de “Blends” (mistura física de fertilizantes). Com o uso dos “Blends” busca-se utilizar essas tecnologias de forma integrada com fertilizantes convencionais e com isso, reduzir custos em comparação ao uso exclusivo de fertilizantes de eficiência aumentada (TRENKEL, 2010). Além disso, pode criar um ajuste da curva de liberação do N para cada cultura. Segundo Noellsch et al. (2009), o fertilizante convencional (alta solubilidade em água) pode suprir a demanda inicial de N pela cultura e o de liberação controlada durante um período de tempo mais prolongado.

Neste contexto, foi realizado um experimento em casa de vegetação para avaliar as características de crescimento, nutricionais, fisiológicas e a eficiência agrônômica da adubação nitrogenada com fertilizantes estabilizados, de liberação lenta, controlada e “Blends” no crescimento de mudas do cafeeiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG no período de junho de 2015 a janeiro de 2016. Utilizou-se um solo de textura argilosa, classificado como Latossolo Vermelho (LV) (SANTOS et al., 2013) coletado no horizonte B, no município de Lavras - MG. O solo coletado foi seco ao ar, destorroado, passado em peneira com abertura de quatro milímetros, homogeneizado e colocado nos vasos. Concomitantemente, foram coletadas amostras do solo que foram utilizadas para caracterização química e física (TABELA 1), conforme CFSEMG, (1999).

Tabela 1 - Características químicas e textura do horizonte B do Latossolo Vermelho.

Análises químicas																	
pH	P	K	Zn	Cu	Mn	B	Fe	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	(H+Al)	t	T	m	SB	MO	Prem
mg dm ⁻³							cmol _c dm ⁻³					%		g kg ⁻¹		mg L ⁻¹	
5,0	0,8	10	0,5	2,2	4,0	0,0	25,1	0,9	0,1	0,1	4,0	1,1	5,1	9,0	20,2	1,6	2,6
Análise Física																	
Silte						Argila						Areia					
g kg ⁻¹																	
140						670						190					

pH_{H2O} (relação 1:2,5); P, K, Zn, Mn e Cu: Extrator Mehlich-1; P-remanescente: Alvarez et al. (1999); Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺: Extrator KCl 1 mol L⁻¹; B: água quente (H+Al): Extrator SMP; M.O.: oxidação Na₂Cr₂O₇ 0,67 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 5 mol L⁻¹; Areia, silte, argila: método da pipeta.

O pH do solo foi determinado em água, na relação solo: água de 1:2,5; H+Al (Método Ca (OAc)₂ na concentração 0,5 mol L⁻¹, pH 7,0; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ trocáveis, foram extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por titulometria; P e K foram extraídos por Mehlich-1 e analisados por colorimetria (P) e fotometria de chama (K); o carbono orgânico foi determinado por oxidação com dicromato de potássio; Zn, Mn e Cu foram extraídos por Mehlich-1 e determinados por espectrofotometria de absorção atômica. Os valores de CTC efetiva (t); CTC a pH 7,0 (T), soma de bases (SB) e as porcentagens de saturação por bases (V%) e por alumínio (m), foram obtidos de forma indireta, utilizando-se os valores de acidez potencial, bases trocáveis e alumínio trocável (CFSEMG, 1999).

Utilizou-se delineamento experimental inteiramente casualizado com os tratamentos compostos pelos fertilizantes nitrogenados: Ureia convencional, Nitrato de Amônio, Ureia + Formaldeído, Polyblen Extend[®], Polyblen Montanha[®], Ureia + Poliuretano, Ureia + Resina

Plástica, Sulfato de Amônio + CaCO_3 , e o Tratamento controle (sem adição de N), com três repetições.

Características dos fertilizantes:

1) Ureia convencional - granular com 45% de N;
2) Nitrato de Amônio - granular com 30% de N;
3) Ureia + formaldeído - possui 26% de N e é obtido pela reação entre moléculas de formaldeído (H_2CO) com grandes quantidades de ureia, em condições controladas de fabricação, resultando em uma mistura de cadeias de ureias metiladas de diferentes tamanhos, liberadas, gradualmente, ao solo pela ação de microorganismos que decompõem a cadeia.

4) Polyblen Extend[®] - blend de ureia revestida com enxofre (S) + polímeros (70%) e ureia convencional + NBPT (30%): Ureia revestida com uma camada de enxofre elementar, acrescido de um polímero orgânico e uréia granular + NBPT (sem revestimento). O teor de nitrogênio total é de 39 %, com 12 % de enxofre elementar.

5) Polyblen Montanha[®] - Blend de ureia revestida com enxofre (S) + polímeros (70%) e ureia convencional + NBPT (30%). Ureia revestida com enxofre elementar, acrescido de um polímero orgânico e uréia granular + NBPT (sem revestimento). O teor de N total é de 39 %, com 12 % de enxofre elementar. O Polyblen Montanha[®] difere-se do Polyblen Extend[®] por apresentar maior espessura da camada de revestimento (CHAGAS et al., 2016).

6) Ureia + Poliuretano - Possui 40% de N e 2% de K_2O . A ureia é revestida por poliuretano.

7) Ureia + resina plástica - Possui 39% N. A ureia é revestida por resina plástica, que possibilita o contato da água com a ureia de acordo com sua degradação pela ação de temperatura e umidade do solo.

8) Sulfato de Amônio + CaCO_3 - Possui 29% de N, 7% de S, 5% Ca e 2% Mg. Contém N nas formas amídica e amoniacal, associado ao carbonato de cálcio (CaCO_3) marinho.

A unidade experimental foi formada por vaso preenchido com 14 kg de solo e duas mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L., cultivar Acaíá IAC 474-19), produzidas a partir de sementeira em areia lavada e peneirada, com quatro meses de idade (após apresentarem o 2º par de folhas verdadeiras).

Antes do transplante das mudas, realizou-se calagem de forma a elevar a saturação por bases para 70% (CFSEMG, 1999). O calcário utilizado foi formado pela mistura de

carbonato de cálcio e carbonato de magnésio (P.A), passando por um período de incubação de 30 dias. Foram aplicados 4,56 g vaso⁻¹ de cálcio e 1,11 g vaso⁻¹ de magnésio.

Posteriormente, foi realizada adubação com 20g de P₂O₅ + 6,72 g de K₂O vaso⁻¹ (utilizando superfosfato triplo e cloreto de potássio como fontes), que foram homogeneizados ao solo em 22/06/2015. Em seguida, realizou-se o transplântio das mudas do cafeeiro (duas plantas por vaso), com a poda da região apical do sistema radicular (para garantir bom pegamento).

A dose de N aplicada para cada fertilizante foi de 10 g vaso⁻¹ de N, parceladas em três aplicações com intervalo de 50 dias. A primeira aplicação foi realizada após 40 dias do transplântio.

Durante todo o período de realização do experimento a umidade do solo foi mantida a 60 % do volume total de poros (VTP), por meio da pesagem dos vasos e adição de água deionizada. Aos 60 dias após o transplântio foi realizada adubação foliar com 0,3 % de B e 0,3 % de Zn aplicados na forma de ácido bórico e sulfato de zinco, conforme as recomendações de Garcia (2005).

Ao término do experimento (seis meses após transplântio) foram avaliados: altura (AP) e diâmetro de plantas (DP). A taxa fotossintética foi medida no dia da colheita do experimento, no período da manhã entre 9:00 e 11:00 horas, em folhas totalmente expandidas da terço mediano das plantas, sendo efetuadas com o auxílio do equipamento Infra-Red Gas Analyser - IRGA modelo 266 LI6400-XT.

O índice relativo de clorofila (IRC) também foi calculado no dia da colheita do experimento, por meio de leitura com o clorofilômetro SPAD-502 (Soil and Plant Analysis Development). A leitura foi realizada no terço médio da folha, amostradas na parte mediana da planta. Foram realizadas quatro leituras por planta, nas duas plantas da parcela experimental. Antes de realizar as leituras, o aparelho foi calibrado com o verificador de leitura, de acordo com as recomendações do manual.

Após essas avaliações, as folhas foram retiradas para determinação da área foliar (AF) com auxílio do aparelho integrador de área foliar da marca Li-cor, modelo LI 3100.

Posteriormente, as plantas foram retiradas dos vasos e, com auxílio de água corrente, a parte aérea e as raízes foram lavadas sobre peneiras e em seguida acondicionadas em sacos de papel e secadas a 75 °C em estufa com circulação de ar forçada até peso constante para determinação do peso da massa seca. Em seguida, a massa seca foi moída, sendo dela retiradas amostras equivalentes a dois gramas, as quais foram submetidas à digestão nitroperclórica seguida de determinação do teor de N, conforme Tedesco et al. (1995). Os

valores de acúmulo de N foram determinados pelo produto entre o peso seco e o teor de N em cada parte das plantas de café.

Após a obtenção desses dados foram calculados os seguintes índices de eficiência da adubação nitrogenada:

- a) Índice de eficiência agronômica relativa (IEAR) = $[(\text{massa seca total da fonte testada, g vaso}^{-1}) - (\text{massa seca total do controle, g vaso}^{-1}) / (\text{massa seca total da ureia, g vaso}^{-1}) - (\text{massa seca total do controle, g vaso}^{-1})] \times 100$.
- b) Eficiência Agronômica do N Aplicado (EA) = $(\text{massa seca total da fonte testada, g vaso}^{-1}) - (\text{massa seca total do controle, g vaso}^{-1}) / \text{Dose de N aplicada, em g vaso}^{-1}$ (FAGERIA; SANTOS; MORAES 2010).

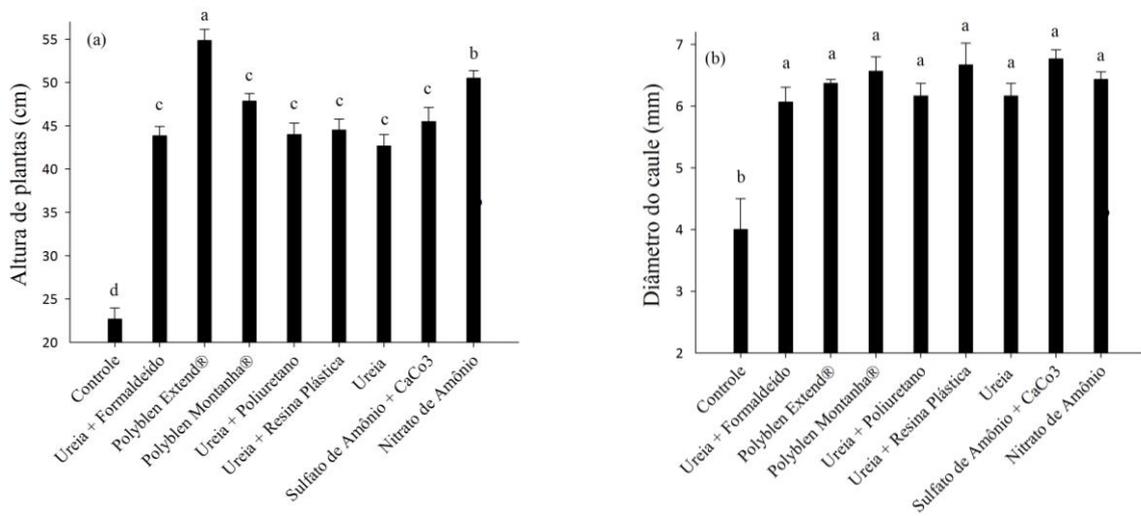
Todos os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Skott Knott ($\alpha = 0,05$). A ANOVA foi realizada após a verificação da normalidade (Shapiro-Wilk's test) e homogeneidade de variância (Teste de Bartlett) dos dados. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa de análise estatística SISVAR 5.3[®] (FERREIRA, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A altura de plantas, diâmetro do caule, massa seca de folhas, massa seca de ramos, massa seca de raiz e massa seca total de plantas foram influenciados significativamente ($p \leq 0,05$) pelos tratamentos com fertilizantes nitrogenados.

Para todas as fontes de N aplicadas no cafeeiro, houve um aumento na altura de plantas em comparação ao tratamento controle (FIGURA 1a).

Figura 1 - Altura de plantas (1a) e diâmetro do caule (1b) do cafeeiro após aplicação de fertilizantes nitrogenados. As letras iguais não diferem entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade. As barras verticais representam o erro padrão das médias ($n = 3$).



O maior valor de altura de plantas foi de 55 cm com a aplicação do Polyblen Extend®, um aumento de 4 cm em comparação ao tratamento com nitrato de amônio e de 12 cm em comparação a aplicação de ureia. Os demais fertilizantes não apresentaram diferenças em comparação a ureia. O menor valor de altura foi de 23 cm no tratamento controle (sem aplicação de N).

O menor valor de diâmetro do caule foi de 4 mm também no tratamento controle. Com a aplicação dos fertilizantes nitrogenados houve um aumento em comparação ao tratamento controle, porém não foi encontrado diferença entre os fertilizantes (FIGURA 1b).

O valor mínimo de altura e diâmetro do caule encontrados no tratamento controle corroboram com os resultados encontrados por Clemente et al (2008). Esses autores estudaram faixas críticas de teores foliares de N no cafeeiro em pós-plantio e encontraram menor altura (50 cm) e diâmetro do caule (3mm) no tratamento controle após 270 dias do

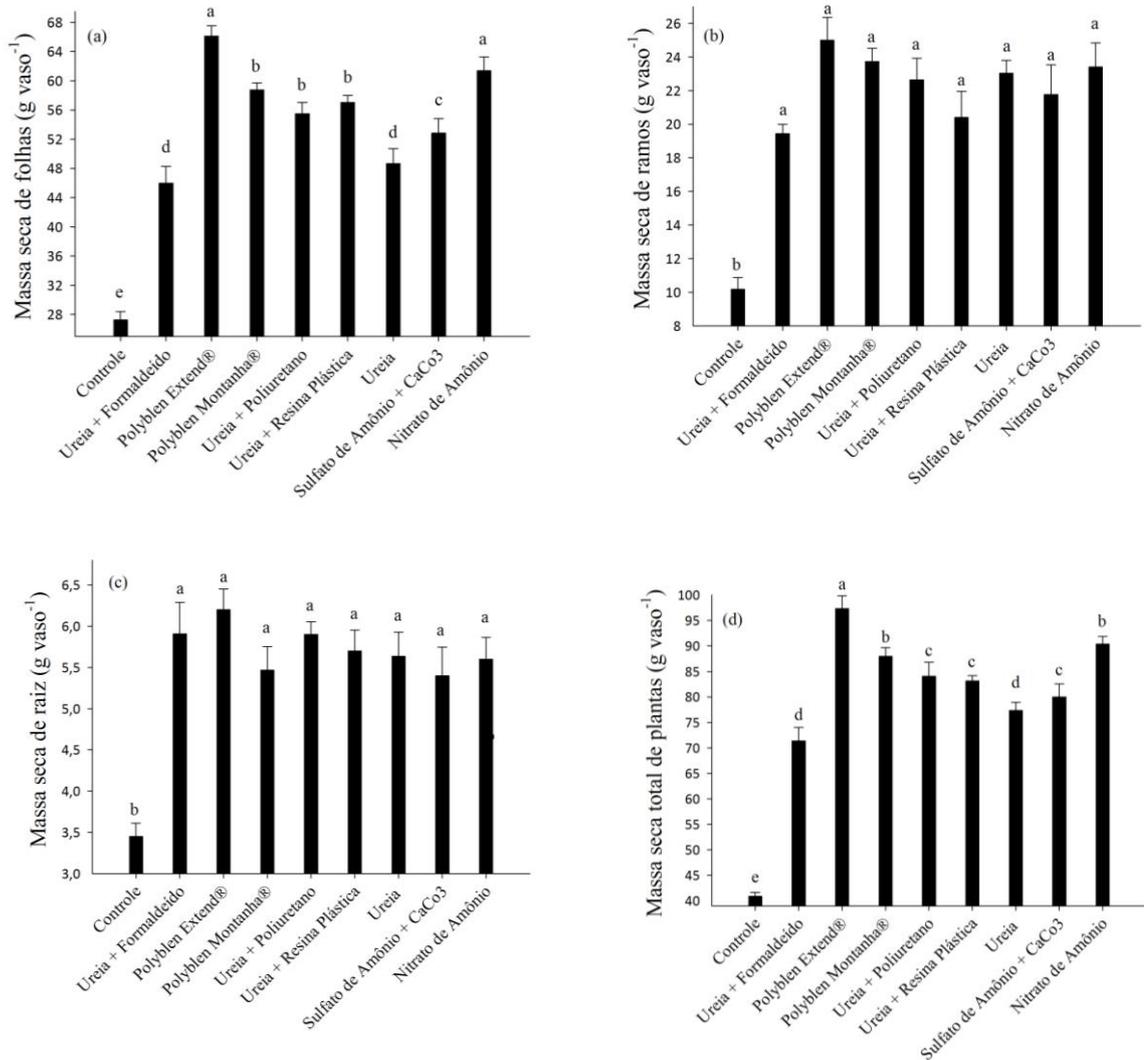
transplântio das mudas. Segundo Fenilli et al. (2008), N é o principal responsável pelo crescimento vegetativo no cafeeiro.

O aumento em altura de 8% e de 23% com a aplicação do Polyblen Extend[®], quando comparado a aplicação do nitrato de amônio e a média dos demais fertilizantes nitrogenados, respectivamente, podem estar associados às menores perdas de N por volatilização de amônia e também ao tempo de fornecimento de N.

O Polyblen Extend[®] apresenta menor perda de N-NH₃ em comparação a ureia e também pode disponibilizar o N por um período maior do que o nitrato de amônio (fertilizante solúvel) (CHAGAS et al., 2016). A parte de ureia tratada com NBPT é solúvel, menos suscetível às perdas por volatilização e atende a demanda de N imediata pela cultura (CANCELLIER et al., 2016). E a fração de ureia revestida com S^o + polímeros libera o N gradualmente em médio e longo prazo (NOELLSCH et al., 2009).

A massa seca de folhas teve o valor máximo de 66,1 g vaso⁻¹ com a aplicação do Polyblen Extend[®], enquanto que o valor mínimo foi de 27,3 g vaso⁻¹ no tratamento controle (FIGURA 2a).

Figura 2 - Massa seca de folhas, massa seca de ramos, massa seca de raiz e massa seca total de plantas do cafeeiro após aplicação de fertilizantes nitrogenados. As letras iguais não diferem entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade. As barras verticais representam o erro padrão das médias (n = 3).



Para massa seca de ramos (FIGURA 2b) e de raízes (FIGURA 2c) os valores mínimos foram de 20,2 e 3,4 g vaso⁻¹, respectivamente, encontrados no tratamento controle. Entre os fertilizantes nitrogenados não houve diferenças significativas.

O máximo valor de massa seca total de plantas ocorreu com a aplicação do Polyblen Extend[®] e foi igual a 97,3 g vaso⁻¹, enquanto que o valor mínimo foi de 40,9 g vaso⁻¹ no tratamento controle (FIGURA 2d).

Com a aplicação da uréia, a massa seca foi de 77,3 g vaso⁻¹. O aumento na massa seca total de plantas com a aplicação do Polyblen Extend[®] foi de 20,6% em comparação ao tratamento com aplicação de Ureia. Esses resultados confirmam aqueles encontrados por

Garcia et al. (2011), que ao estudarem o efeito da uréia com inibidor de urease no crescimento de mudas de cafeeiro, concluíram que o uso de NBPT associado à uréia, promove ganho de 18% na produção de massa seca das plantas. Os autores avaliaram a massa seca do cafeeiro após 285 dias da aplicação de uréia convencional e Ureia+NBPT.

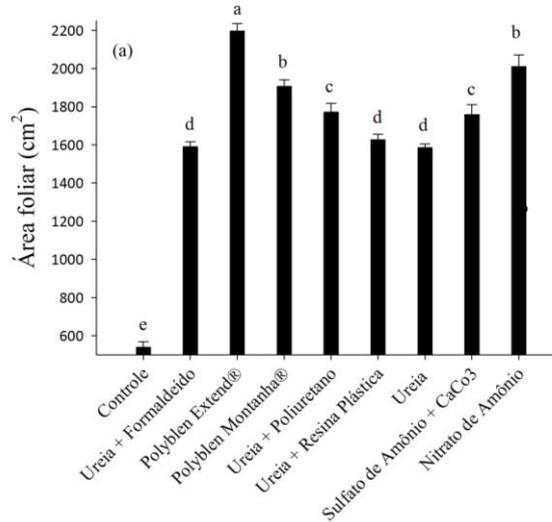
Possivelmente, esse ganho é devido à redução de perdas de N por volatilização, já que o revestimento do fertilizante com S e o inibidor de urease (NBPT) diminuem a velocidade de hidrólise da uréia, o que possibilita um melhor aproveitamento do nitrogênio. O revestimento da ureia com polímero faz com que menor quantidade de ureia seja hidrolisada de uma só vez e isso evita o acúmulo de $N-NH_4^+$ no solo, reduzindo assim o risco de formação de $N-NH_3$ (PENG et al., 2015).

Segundo Carelli et al. (2006) um fornecimento adequado de N promove um desenvolvimento rápido do cafeeiro, especificamente através do aumento em número de pares de folhas por planta. Esse aumento, associado a outros fatores como número de nós por ramo, número de nós de frutificação e flores por nó, são responsáveis pelos maiores rendimentos do cafeeiro (NAZARENO et al., 2003; CARELLI et al., 2006).

Martins et al. (2014) avaliando a massa seca da parte aérea do milho após a aplicação de ureia convencional e ureia revestida por polímeros não encontraram diferenças entre as fontes, quando foram aplicados durante o período chuvoso. Porém, em outro cultivo, em que os fertilizantes foram aplicados sob uma condição de secagem após a adubação, os autores encontraram maior massa seca de parte aérea com a aplicação da ureia revestida por polímeros, quando comparado a ureia convencional.

A área foliar foi influenciada significativamente ($p \leq 0,05$) pelos tratamentos com fertilizantes nitrogenados e o tratamento controle (FIGURA 3).

Figura 3 - Área foliar das mudas de cafeeiro após aplicação de fertilizantes nitrogenados. As letras iguais não diferem entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade. As barras verticais representam o erro padrão das médias (n = 3).



A área foliar seguiu a ordem decrescente para os tratamentos com fertilizantes nitrogenados: Polyblen Extend® (2195,8 cm²) > Nitrato de Amônio (2010,6 cm²) = Polyblen Montanha® (1906,8 cm²) > Ureia + Poliuretano (1771,1 cm²) = Sulfato de Amônio + CaCO₃ (1758,9 cm²) > Ureia + Resina Plástica (1626,9 cm²) = Ureia + Formaldeído (1590,0 cm²) = Ureia (1585,9 cm²) > Controle (538,5 cm²).

Segundo TAIZ & ZIEGER (2013), o nitrogênio afeta a formação de raízes, a fotossíntese, a produção e a translocação de fotoassimilados e a taxa de crescimento de folhas, sendo o crescimento foliar primeiramente afetado.

O aumento na área foliar com a aplicação do Polyblen Extend® foi de 27,8% em comparação ao tratamento com aplicação de Ureia e de 75,5% em relação ao tratamento controle. Segundo Malavolta et al. (1997), a adubação nitrogenada e conseqüentemente, o fornecimento de N, promove o rápido crescimento das folhas novas do cafeeiro.

O N é constituinte de muitos componentes da célula vegetal, como aminoácidos e ácidos nucléicos, quando em falta provoca clorose nas folhas mais velhas, que posteriormente, entram em senescência e com isso pode diminuir a área foliar (TAIZ; ZIEGER, 2004).

O acúmulo de N na massa seca de raiz, nos ramos e folhas, juntamente com o acúmulo total na planta do cafeeiro foram influenciados significativamente ($p \leq 0,05$) pelos fertilizantes nitrogenados e o tratamento controle (sem aplicação de N); (TABELA 2).

Tabela 2 - Acúmulo de N na raiz, ramos, folhas e acúmulo total de N no cafeeiro após aplicação dos tratamentos com fertilizantes nitrogenados.

Tratamentos	Acúmulo de N na raiz	Acúmulo de N nos ramos	Acúmulo de N nas folhas	Acúmulo total de N na planta
	----- mg vaso ⁻¹ -----			
Controle	38,1 b	142,9 b	382,9 e	563,9 e
Ureia + Formaldeído	90,2 a	343,8 a	997,9 d	1431,9 d
Polyblen Extend [®]	107,8 a	451,6 a	1608,6 a	2168,0 a
Polyblen Montanha [®]	82,3 a	370,4 a	1231,4 c	1684,1 c
Ureia + Poliuretano	92,1 a	339,8 a	1110,3 c	1542,23 c
Ureia + Resina Plástica	86,8 a	329,3 a	1235,0 c	1651,1 c
Ureia	84,4 a	367,8 a	912,3 d	1364,4 d
Sulfato de Amônio + CaCO ₃	81,6 a	359,8 a	1018,1 d	1459,5 d
Nitrato de Amônio	93,3 a	399,4 a	1405,1 b	1897,8 b
Média	84,1	344,9	1100,2	1529,2
Coeficiente de variação (%)	12,9	13,8	8,8	7,7

As letras iguais não diferem entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade.

Os maiores valores de N acumulado na raiz e nos ramos ocorreram com a aplicação dos fertilizantes nitrogenados, com valores médios de 89,8 e 370,2 mg vaso⁻¹, respectivamente. No tratamento controle o acúmulo de N na raiz (38,1 mg vaso⁻¹) e nos ramos (142,9 mg vaso⁻¹) foram menores em comparação aos demais tratamentos.

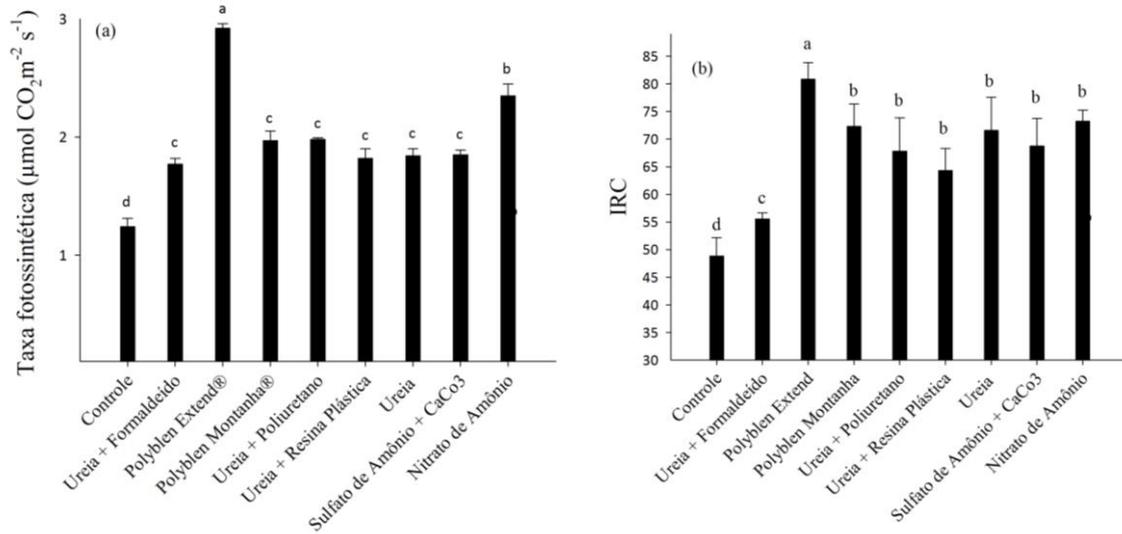
O Polyblen Extend[®] promoveu maior acúmulo de N nas folhas (1608,6 mg vaso⁻¹) e total na planta (2168,0 mg vaso⁻¹). O maior valor de acúmulo total de N (2168,0 mg vaso⁻¹) com a aplicação do Polyblen Extend[®], mostrou-se uma diferença de 63% em comparação com a Ureia.

O menor acúmulo de N nas folhas (382,9 mg vaso⁻¹) e na planta (563,9 mg vaso⁻¹) também ocorreu no tratamento controle. A ureia apresentou valores de acúmulo nas folhas (912,3 mg vaso⁻¹) e na planta (1364,4 mg vaso⁻¹) superiores ao controle, semelhantes ao Sulfato de Amônio + CaCO₃ e inferior aos demais tratamentos.

Silva et al. (2012) avaliando o acúmulo de N na massa seca de plantas de milho após a aplicação de ureia de liberação controlada e ureia convencional, não encontraram diferenças entre as fontes nitrogenadas. Valderrama et al. (2014) também não encontraram diferenças para acúmulo de N na folha de milho após a aplicação de uréia convencional e ureia revestida por polímero, em dois cultivos de milho.

A taxa fotossintética ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e o índice relativo de clorofila (IRC) das mudas do cafeeiro foram influenciados ($p \leq 0,05$) pela aplicação dos fertilizantes nitrogenados (FIGURA 4).

Figura 4 - Taxa fotossintética e índice relativo de clorofila (IRC) de mudas de café após aplicação de fertilizantes nitrogenados no cafeeiro. As letras iguais não diferem entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade. As barras verticais representam o erro padrão das médias ($n = 3$).



O maior valor de taxa fotossintética em mudas de café foi de $2,8 \mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ com a aplicação Polyblen Extend®. O menor valor de taxa fotossintética foi de $1,4 \mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ encontrado no tratamento controle.

A maior taxa fotossintética com aplicação do Polyblen Extend®, juntamente com os menores valores no tratamento controle, pode estar associada ao maior e menor acúmulo de N nas folhas do cafeeiro por estes tratamentos (TABELA 3). Segundo Andrade et al. (2015), a taxa fotossintética e a quantidade de N na folha mostram uma correlação positiva significativa. Segundo os autores, o N é um componente fundamental para a fotossíntese. De acordo com Khamis et al. (1990), níveis de N na folha abaixo do crítico recomendado para a planta podem reduzir a capacidade fotossintética.

O máximo valor de índice IRC foi de 80,8 e com a aplicação do Polyblen Extend®. O valor mínimo foi de 48,8 no tratamento controle. Guimarães et al. (1999), avaliando o IRC em cultivo de tomate, com diferentes doses de N, observaram aumento linear do IRC com o aumento das doses de N. Segundo Godoy et al. (2008), o IRC reduz de forma linear com a redução das doses de N no cafeeiro. Os autores avaliaram no período entre o florescimento e a colheita do cafeeiro.

Valderrama et al. (2014) avaliando o IRC na folha do milho após adubação nitrogenada com ureia revestida por polímeros e ureia convencional, não encontraram diferenças entre as duas fontes. Os autores avaliaram o ICR após cultivos de milho.

De acordo com Malavolta et al. (2004), o IRC baseia-se na correlação entre o teor de N na folha e o teor de clorofila. Torres Netto et al. (2005) e Reis et al. (2006) encontraram correlações positivas entre o teor clorofila e o teor de N na folha do cafeeiro em produção.

A maior taxa fotossintética e o IRC, associado ao maior acúmulo de N nas folhas, e na planta inteira promovido pelo Polyblen Extend[®] está associado ao fornecimento de N por este Blend.

O N proveniente dos 30% de ureia + NBPT deste Blend pode ter suprido a demanda de N pelo cafeeiro nos primeiros dias após a adubação e os 70% de ureia + S^o + polímeros possibilitaram um fornecimento adequado de N durante o restante do experimento.

O nitrato de amônio (solúvel) apesar de promover menor perda de N-NH₃ em comparação ao Polyblen Extend[®] (CHAGAS et al., 2016), pode ter fornecido o N em grande quantidade nos primeiros dias após cada adubação e ter fornecido menor quantidade de N posteriormente. Com isso, o N residual da fração com ureia + S^o + polímeros pode ser responsável por aumentar o acúmulo de N nas folhas, planta inteira e conseqüentemente a taxa fotossintética e o IRC.

Segundo Dominghetti et al. (2016), o nitrato de amônio promove redução nas perdas por volatilização em comparação a várias tecnologias de fertilizantes de eficiência aumentada encontrados no mercado brasileiro. Em trabalho realizado avaliando as perdas por volatilização por fertilizantes nitrogenados, após adubação na dose de 450 kg ha de N, parcelada em três aplicações no cafeeiro em produção, as perdas foram de 0,3% do N aplicado com nitrato de amônio. Enquanto que, com ureia convencional, Ureia + Formaldeído, Ureia + Resina Plástica, as perdas por volatilização foram de 31,2; 1,1 e 8,6% do N aplicado. Entretanto, os autores ressaltam que o nitrato de amônio não apresenta o efeito de liberação lenta ou controlada.

Além disso, o revestimento da ureia com resina plástica, poliuretano, juntamente com a ureia formaldeído e o sulfato de amônio + CaCO₃ podem ter o tempo de liberação do N superior ao tempo utilizado para parcelar a aplicação de N neste trabalho (50 dias). Com isso, o Polyben Extend pode ter promovido maior fornecimento de N durante o período das três adubações (150 dias), em comparação aos demais fertilizantes.

Trenkel (2010) relata que o tempo de liberação dos fertilizantes de liberação controlada (Ureia + Resina Plástica e Ureia + Poliuretano) depende dentre vários fatores, da espessura do revestimento e da qualidade do processo de revestimento por parte da indústria de fertilizantes. E o tempo de liberação dos fertilizantes de liberação lenta, como a

ureia+formaldeído depende do grau de polimerização ao qual a ureia foi submetida (YAMAMOTO et al., 2016).

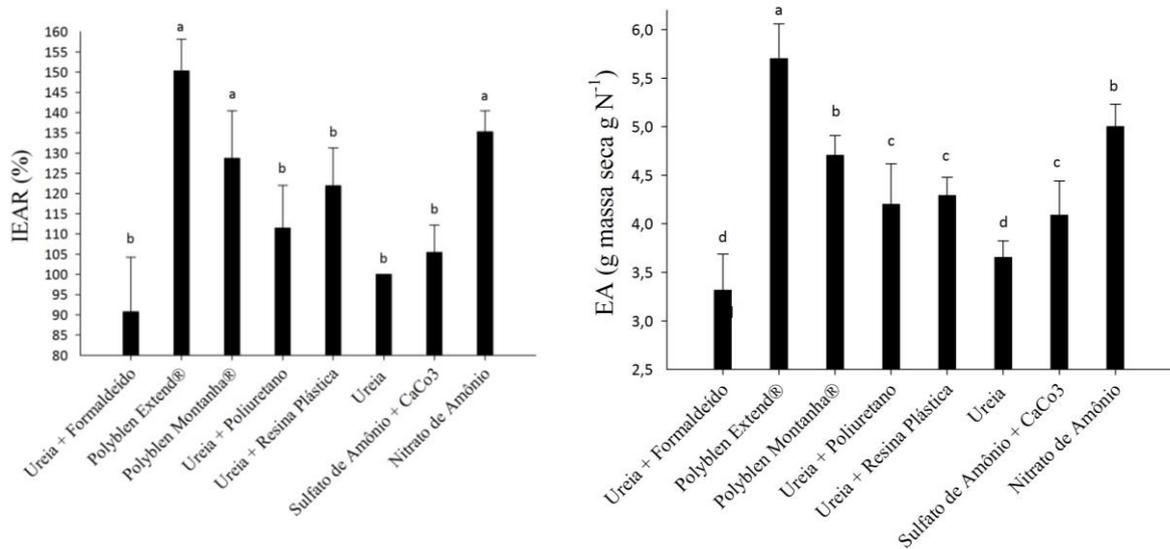
A aplicação do Polyben Extend pode ter oferecido um melhor ajuste do N liberado pelo fertilizante e curva de absorção do N pelo cafeeiro no período de condução do experimento. Segundo Noellsch et al. (2009), o fertilizante convencional (alta solubilidade em água) pode suprir a demanda inicial de N pela cultura e a fração de liberação controlada durante um período de tempo mais prolongado.

O Polyblen Montanha[®], assim como o Polyblen Extend[®], possui uma fração solúvel (ureia + NBPT), entretanto a fração de liberação controlada do Polyblen Montanha[®] (ureia + S^o + polímeros) é capaz de fornecer N por um período maior de tempo em comparação ao Polyblen Extend[®] (CHAGAS et al., 2016). Esse maior período pode ter promovido menor fornecimento de N durante o tempo de condução do experimento, quando comparado ao Polyblen Extend[®].

Segundo Chagas et al. (2016), a maior espessura do revestimento do Polyblen Montanha[®] (espessura do revestimento = 87-99 µm) em comparação ao Polyblen Extend[®] (espessura do revestimento = 67-68 µm) possibilita maior atraso na liberação do N.

O índice de eficiência agrônômica relativa (IEAR) e Eficiência Agrônômica (EA) foram influenciados significativamente ($p \leq 0,05$) pelos fertilizantes nitrogenados (FIGURAS 5a e 5b).

Figura 5 - Índice de eficiência agrônômica relativa (IEAR) e Eficiência Agrônômica (EA) de fertilizantes nitrogenados após aplicação no cafeeiro. As letras iguais não diferem entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade. As barras verticais representam o erro padrão das médias (n = 3).



O Polyblen Extend® (155%) e o Nitrato de Amônio (136%) apresentaram os maiores valores de IEAR. Todos os demais fertilizantes não apresentaram diferenças significativas ($p \leq 0,05$) em comparação à ureia. O valor médio de IEAR encontrado para estas duas fontes de N foi de 145% o que significa que a produção de massa seca foi em média 45% superior em comparação a ureia (100%).

Ainda são escassos os trabalhos que avaliam o IEAR após a aplicação de fertilizantes nitrogenados no cafeeiro. Fontoura e Bayer (2010) avaliaram o IEAR, para fontes nitrogenadas aplicadas no milho sistema de plantio direto cultivado e encontraram valores iguais a 108, 113, 104 e 122% para a ureia incorporada, sulfato de amônio, nitrato de amônio e ureia + NBPT. Também no milho, Zavaschi et al. (2014) encontraram valores de 92% para ureia revestida com polímeros, aplicada na dose de 90 kg ha⁻¹ de N.

Para a EA, a Ureia + Formaldeído e a Ureia proporcionaram os menores valores, que foram de 3,6 e 3,3 gramas de massa seca por g de N aplicado, respectivamente. O maior valor de EA foi encontrado com a aplicação do Polyblen Extend® e foi de 5,7 gramas de massa seca por grama de N aplicado.

O menor valor de EA com a Ureia + Formaldeído e Ureia convencional pode ser atribuído às perdas de N-NH₃ por volatilização. Em estudo realizado por Viero et al. (2015), os autores não encontraram redução nas perdas de N-NH₃ por volatilização com a aplicação de ureia de liberação lenta quando comparado a ureia convencional.

O Polyblen Extend[®] aumentou a EA em 65% em comparação aos valores médios de Ureia + Formaldeído e ureia convencional. Isso mostra que o Polyblen Extend[®] foi 65% mais eficiente em produzir massa seca de mudas de cafeeiro por unidade de N em comparação a aplicação de ureia e ureia + formaldeído. Em relação ao Polyblen Montanha[®] e Nitrato de amônio, esse aumento foi de 39%.

Em trabalho realizado na cultura do milho, Silva et al. (2012) não encontraram diferenças significativas no rendimento de grãos por unidade de N quando utilizaram ureia convencional ou revestida, embora tenham observado incremento de produtividade com aumento das doses de N.

Noellsch et al. (2009), ao avaliar a eficiência de recuperação de N pelas plantas de milho, após a aplicação de Blend (Ureia + NBPT e ureia revestida por polímeros), na relação 1:1 e ureia convencional, encontraram os maiores valores com a aplicação do Blend. A eficiência de recuperação de N foi superior em 41% quando comparado a ureia convencional. Tanto os Blends como a ureia convencional foram aplicados em cobertura.

4 CONCLUSÕES

Os maiores valores de altura de plantas, massa seca total de plantas e área foliar em mudas de cafeeiro foram obtidos com a aplicação do Polyben Extend. Este Blend também proporcionou maior acúmulo de N na folha e na planta inteira.

A aplicação do Polyben Extend promoveu maior eficiência agronômica, aumentou a taxa fotossintética e o Índice relativo de clorofila nas mudas do cafeeiro ao final do período de condução do experimento.

REFERÊNCIAS

- ABALOS, D. et al. Meta-analysis of the effect of urease and nitrification inhibitors on crop productivity and nitrogen use efficiency. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 189, p.136-144, 2014.
- ANDRADE, F. et al. Water relations and photosynthesis of young coffee plants under two water regimes and different n and k doses. **Agrociencia**, v.49, p.2, 2015.
- AZEEM, B. et al. Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer. **Journal of Controlled Release**, v. 181, p. 11-21, 2014.
- CANCELLIER, E.L. et al. Ammonia volatilization from enhanced-efficiency urea on no-till corn in Brazilian cerrado with improved soil fertility. **Ciência e Agrotecnologia**, v.40, p.15-23, 2016.
- CARELLI, M. L. C. et al. Aspects of nitrogen metabolism in coffee plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.18, p.9-21. 2006.
- CHAGAS, W. F. T. et al. Ammonia volatilization from blends with stabilized and controlled-released urea in the coffee system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 40, n. 5, p. 497-509, set./out. 2016.
- CHIEN S.H. et al. Recent developments of fertilizer production and use to increase nutrient efficiency and minimize environmental impacts. **Advances in Agronomy**. v. 102, p. 261-316, 2009.
- CLEMENTE, F.M.V.T., et al. Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes no cafeeiro em pós-plantio-primeiro ano. **Coffee Science**, v. 3. n.1: p.47-57. 2008.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação. Viçosa, 1999. 310p.
- DOMINGHETTI, A.W. et al. Nitrogen loss by volatilization of nitrogen fertilizers applied to coffee orchard. **Ciência & Agrotecnologia**, v.40: p. 1-11, 2016.
- ERNANI, P. R.; STECKLING, C.; BAYER, C. Características químicas de solo e rendimento de massa seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. n. 1, p. 939-946 , 2001.
- FAGERIA, N.K.; SANTOS, A.B.; MORAES, M.F. Yield, Potassium Uptake, and Use Efficiency in Upland Rice Genotypes. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 41, n. 22, p. 2676-2684, 2010.
- FARIA, L. A. et al. Hygroscopicity and ammonia volatilization losses from nitrogen sources in coated urea. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v. 38, n. 3, p. 942-948, jun. 2014.
- FENILLI, T. A. B. et al. Fertilizer 15N balance in a coffee cropping system: a case study in Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1459-1469, 2008.

- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.
- FRAZÃO, J. J. et al. Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 12, p. 1262-1267, Dec. 2014.
- GARCIA et al. Efeito da uréia com inibidor de urease no crescimento de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 1-7, jan./abr. 2011.
- GARCIA, A. W. R. Nutrição de cafeeiros. In: MATIELLO, J. B. et al. (Ed.). **Cultura do café no Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bom Pastor, 2005. p. 89-150.
- GODOY, L. J. G. et al. Relative chlorophyll index and nitrogen status of fertigated coffee plants during the crop season. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 217-226. 2008.
- GUELFY, D. Fertilizantes Nitrogenados Estabilizados, de Liberação Lenta ou Controlada. Informações Agronômicas (BRASIL). N. 157, março, 2017.
- GUIMARÃES, T.G. et al. Teores de clorofila determinados por medidor portátil e sua relação com as formas de nitrogênio em folhas de tomateiro cultivado em dois tipos de solo. **Bragantia**, v.58, p. 209-216, 1999.
- KHAMIS, S., T. et al. Adaptation of the photosynthetic apparatus in maize leaves as a result of nitrogen limitation. **Plant Physiol.** v.94, p.1436-1443. 1990.
- KISS, S. & SIMIHÁIAN, M. Improving efficiency of urea fertilizers by inhibition of soil urease activity. **Dordrecht, Kluwer Academic Publishers**, 2002. 417p.
- MALAVOLTA, E. et al. Evaluation of nutritional status of the cotton plant with respect to nitrogen. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.35, p.1007-1019, 2004.
- MALAVOLTA, E. et al. Evaluation of nutritional status of the cotton plant with respect to nitrogen. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 35:1007-1019, 2004.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa do Fosfato, 1997. 238 p.
- MALAVOLTA, E.; YAMADA, T.; AROALDO, J. **Nutrição e adubação do cafeeiro**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1981. 226 p.
- MARCHESAN, E. et al. Fontes alternativas à ureia no fornecimento de nitrogênio para o arroz irrigado. **Ciência Rural** v. 41, n. 12, p. 2053-2059, dez. 2011.
- MARTINS, I. S.; CAZETTA, J. O.; FUKUDA, A. J. F. Condições, modos de aplicação e doses de ureia revestida por polímeros na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 3, p. 271-279, Sep. 2014.
- NAZARENO R.B. et al. Crescimento inicial do cafeeiro Rubi em resposta a doses de nitrogênio, fósforo e potássio e a regimes hídricos. **Pesq. Agrop. Bras.** v.38, p. 903-910. 2003.

NEYMAN, G.B.; DERR, E.A. **Homogeneous granules of slow-release fertilizer and method of making the same**. United States Patent Office, 2002. (US Patent n° 6464746).

NOELLSCH, A. J. et al. Corn response to conventional and slow-release nitrogen fertilizers across a claypan landscape. **Agronomy Journal**, Madison, v. 101, n. 3, p. 607-614, May 2009.

OGLE, J. M.; SIMS, J. D. **Controlled release fertilizer composition**. US Pat. 20120240648, 2012.

PENG, X. et al. Laboratory Evaluation of Ammonia Volatilization and Nitrate Leaching following Nitrogen Fertilizer Application on a Coarse-Textured Soil. **Agronomy Journal** v.107, 3, 2015.

PEREIRA, H. S. et al. Ammonia volatilization of urea in the out-of-season corn. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1685-1694, Dec. 2009.

REIS, A.R.; FURLANI JUNIOR, E.; BUZETTI, S. & ANDREOTTI, M. Diagnóstico da exigência em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, 65:163-171, 2006.

SANTOS H.G, et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

SANZ-COBENA, A. et al. Gaseous emissions of N₂O and NO and NO₃ – leaching from urea applied with urease and nitrification inhibitors to a maize (*Zea mays*) crop. **Agric. Ecosyst. Environ.** 149, 64-73. 2012.

SILVA, A. de A., et al. "Aplicação de diferentes fontes de ureia de liberação gradual na cultura do milho." **Bioscience journal**. Uberlândia, v. 28, p. 104-111, 2012

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013, p. 918.

TEDESCO, M.J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, RS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.147p. (Boletim Técnico, 5).

TORRES NETO, A.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J.G. & BRESSAN SMITH, R.E. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Sci. Hortic.**, 104:199-209, 2005.

TRENKEL, M. E. Slow and controlled-release and stabilized fertilizers: An option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture. **International Fertilizer Industry Association**. Paris, 2010, 167p.

VALDERRAMA, M. et al. Adubação nitrogenada na cultura do milho com ureia revestida por diferentes fontes de polímeros. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 2, p. 659, Mar. 2014.

VIERO, F. et al. Management of Irrigation and Nitrogen Fertilizers To Reduce Ammonia Volatilization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 6, p. 1737-1743, Nov. 2015.

VILLAS BÔAS, R. et al. Recuperação do nitrogênio da mistura de uréia e sulfato de amônio por plantas do milho. **Bragantia** v. 64, n. 2, p. 263-272 , 2005.

YAMAMOTO, C.F. et al. Slow release fertilizar based on urea/urea-formaldehyde polymer nanocomposites. **Chemical Engineering Journal**, v. 287, p. 390-397, 2016.

ZAVASCHI, E. et al. Ammonia volatilization and yield components after application of polymer-coated urea to maize. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1200-1206, 2014.

**ARTIGO 2 - BLENDS DE FERTILIZANTES NITROGENADOS PARA A
ADUBAÇÃO DO CAFEIRO EM PRODUÇÃO**

**Artigo redigido conforme a NBR 6022 (ABNT, 2003) e formatado de acordo com o
Manual da UFLA de apresentação de teses e dissertações.**

RESUMO

O estudo da aplicação de blends de ureia estabilizada e de liberação controlada pode reduzir as perdas de N-NH₃ em comparação com a ureia convencional quando aplicados em lavoura cafeeira. O objetivo desse estudo foi quantificar perdas de N por volatilização de amônia e suas alterações nos parâmetros nutricionais, na produtividade e na eficiência agrônômica, após a aplicação de fertilizantes nitrogenados convencionais e “blends” em cobertura no cafeeiro em produção. O experimento foi realizado em condições de campo no município de Lavras - MG no ano agrícola de 2014/2015 e 2015/2016, em um Latossolo Vermelho de textura argilosa. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados com seis tratamentos: T₁ = Ureia granulada aplicada na dose de 450 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (100% da dose recomendada) em três parcelamentos iguais com intervalo de 50 dias; T₂ = Nitrato de amônio aplicado na dose de 450 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (100% da dose recomendada) em três parcelamentos iguais com intervalo de 50 dias; T₃ = Polyblen Extend[®] (100% da dose recomendada) aplicado em dois parcelamentos (70% da dose total de N no 1º e 30% no 2º parcelamento); T₄ = Polyblen Extend[®] (70% da dose recomendada): aplicado na dose de 315 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ em dois parcelamentos (70% da dose total de N no 1º e 30% no 2º parcelamento); T₅ = Polyblen Montanha[®] (100% da dose recomendada) sem parcelamento; T₆ = Polyblen Montanha[®] (70% da dose recomendada) sem parcelamento, com três repetições. Na média dos dois anos de avaliações, a ureia promoveu as maiores perdas por volatilização de N-NH₃ quando comparado com os demais fertilizantes nitrogenados aplicados no cafeeiro. O nitrato de amônio promoveu menor perda de N por volatilização. O Polyblen Extend[®] e o Polyblen Montanha[®] reduziram as perdas por volatilização em comparação a ureia. Dentre os Blends, o Polyblen Montanha[®] proporcionou menor perda de N-NH₃. O Polyblen Extend[®] e o Polyblen Montanha[®] não apresentaram diferenças para nitrogênio foliar e índice relativo de clorofila quando comparados a ureia, aplicando-se uma dose de N menor em 30%. A aplicação de nitrato de amônio e dos Blends (Polyblen Extend[®] e Polyblen Montanha[®]) aumentaram a produtividade do cafeeiro em comparação a aplicação de ureia. Com a aplicação de ureia, houve a necessidade de mais litros de café da roça para compor uma saca de 60 kg de café beneficiado. O Polyblen Extend[®] e o Polyblen Montanha[®] promoveram a mesma produtividade aplicando 100 e 70% da dose recomendada. O Nitrato de amônio e o Polyblen Montanha[®] - 100% apresentaram maior Índice de Eficiência agrônômica relativa. A ureia promoveu menor eficiência agrônômica entre os fertilizantes nitrogenados.

Palavras-chave: *Coffea arabica*. Perdas de N-NH₃. Tecnologias de fertilizantes nitrogenados.

NITROGEN FERTILIZERS BLENDS FOR FERTILIZATION OF THE COFFEE CROP

SUMMARY

The study of application of blends of stabilized and controlled urea may reduce losses of N-NH₃ in comparison to conventional urea when applied in the coffee crop. The aim of this study was to quantify the losses of N by ammonia volatilization and their changes in nutritional parameters, yield and the agronomic efficiency, after the application of conventional nitrogen fertilization and 'blends' in top dressing in a productive coffee crop. The experiment was performed under field conditions in the city of Lavras - MG in the growing season of 2014/2015 and 2015/2016, in a clayey Red Oxisol. It was used a randomized complete block design with six treatments: T1 = granulated urea applied at dose of 450 Kg of N ha⁻¹ year⁻¹ (100% of the recommended dose) splitted equally in three applications with interval of 50 days; T2 = ammonium nitrate applied at dose of 450 Kg of N ha⁻¹ year⁻¹ (100% of the recommended dose) splitted equally in three applications with interval of 50 days; T3 = Polyblen Extend[®] (100% of the recommended dose) applied in two splittings (70% of total dose of N in the 1st and 30% in the 2nd splitting); T4 = Polyblen Extend[®] (70% of the recommended dose) applied at dose of 315 Kg of N ha⁻¹ year⁻¹ in two splittings (70% of total dose of N in the 1st and 30% in the 2nd splitting); T5 = PolyblenMontanha[®] (100% of the recommended dose) without splitting; T6 = PolyblenMontanha[®] (70% of the recommended dose) without splitting, with three repetitions. On the average of two years of evaluations, urea promoted the highest losses by volatilization of N-NH₃ when compared to the others nitrogen fertilizers applied in the coffee crop. Ammonium nitrate promoted low loss of N by volatilization. Polyblen Extend[®] and PolyblenMontanha[®] reduced the losses by volatilization in comparison to urea. Among blends, PolyblenMontanha[®] provided lower loss of N-NH₃. Polyblen Extend[®] and PolyblenMontanha[®] did not show differences to leaf nitrogen and chlorophyll relative index when compared to urea, applying one dose of N lower in 30%. The application of ammonium nitrate and blends (Polyblen Extend[®] and PolyblenMontanha[®]) increased the yield in the coffee crop in comparison to the application of urea. With application of urea, there was a need of more liters of natural coffee (café da roça) to compose a bag of 60 Kg of benefited coffee. Polyblen Extend[®] and PolyblenMontanha[®] promoted the same yield applying 100 and 70% of the recommended dose. Ammonium nitrate and Polyblen Montanha - 100% showed higher relative agronomic efficiency index. Urea promoted lower agronomic efficiency among nitrogen fertilizers.

Keywords: *Coffea Arabica*. Ammonium nitrate. Nitrogen fertilizers technologies.

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura apresenta posição de destaque no cenário agrícola brasileiro, gerando empregos e receitas ao país. A produtividade do cafeeiro é influenciada por diversos fatores, dentre estes o estado nutricional das plantas. A nutrição nitrogenada do cafeeiro merece atenção especial, pois o nitrogênio (N) é o nutriente exigido em maior quantidade e o segundo mais exportado nos grãos (CARELLI et al., 2006; FENILLI et al., 2007; BRUNO et al., 2011; MARTINEZ et al., 2014).

No Brasil em 2014 foram produzidas 830.374 t de N na forma de ureia e importadas outros 1.644.545 t com um total de 2.474.919 t de N (ANDA, 2016). Dessa forma, do total do N entregue aos agricultores 64% foram aplicados na forma ureia. Fatores econômicos relacionados aos processos de produção e logística, tonam a ureia o fertilizante nitrogenado mais utilizado no mundo (ROY e HAMMOND, 2004).

Entretanto, em relação aos aspectos agrônômicos, quando a ureia é aplicada na superfície do solo, sem incorporação, podem ocorrer perdas significativas de N por volatilização, atingindo valores médios de 31,2% do total do N aplicado (DOMINGHETTI et al., 2016), alterando assim, a disponibilidade de N para o cafeeiro (FENILLI et al., 2007).

Para reduzir as perdas de $N-NH_3$ da ureia e manter a disponibilidade de N adequada no solo podem ser utilizadas diferentes estratégias relacionadas às boas práticas para uso eficiente de fertilizantes (CHIEN et al., 2009; IFA, 2009; ROCHETTE et al., 2014; AZEEM et al., 2014; TIMILSENA et al., 2014). Dentre estas, pode-se citar o uso de inibidores de urease, como o (NBPT) e o revestimento da ureia com de enxofre elementar (S^0) e resinas ou polímeros. Entretanto, um fator limitante a utilização dessas tecnologias é o preço. Os fertilizantes estabilizados e de liberação controlada apresentam valores no mercado superior aos da ureia convencional (TRENKEL, 2010, CHEN et al., 2011). Essa é uma das principais limitações ao seu uso em maior escala (AZEEM et al., 2014; TIMILSENA et al., 2014).

Dessa forma, uma alternativa para esse problema seria a aplicação combinada (blends) de ureia convencional (ureia), de liberação controlada (ureia revestida) e com inibidores de urease (TRENKEL, 2010). A utilização da mistura física de fertilizantes convencionais, estabilizados ou de liberação controlada (blends) tem como princípio: a) reduzir custos com mão de obra e maquinário; b) reduzir perdas de N por volatilização, lixiviação e desnitrificação e aumentar a eficiência no uso do N; c) possibilitar a redução no número de parcelamentos da adubação nitrogenada; d) buscar uma liberação do nutriente do fertilizante

em sincronia com a curva de absorção da cultura durante todo o ciclo (CREW e PEOPLES, 2005; FUNJINUMA et al., 2009; JIN et al., 2013; CHAGAS et al., 2016).

O sincronismo entre liberação e absorção de N pode possibilitar uma redução no custo com mão de obra na lavoura cafeeira, uma vez que o “blend” quando produzido com proporções adequadas entre os fertilizantes nitrogenados, suprirá o nutriente durante o ciclo de adubação do cafeeiro (novembro a março) de maneira a atender as exigências nutricionais da planta. Com isso, também é possível a redução do número de parcelamentos da adubação nitrogenada, de 3 a 4 vezes no período chuvoso, conforme recomendação de Guimarães et al. (1999) para uma ou duas aplicações. Dentre os principais fatores que controlam a velocidade de liberação do N do fertilizante estão a temperatura e a umidade do solo (DU et al., 2006; DU et al., 2008; FAN e LI, 2010) e o tipo e a espessura do revestimento da ureia (CHEN et al., 2011; AZEEM et al., 2014).

Apesar da importância da utilização de mistura física de fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados e de liberação controlada ainda são escassas as pesquisas que avaliam a utilização de “blends” com diferentes tecnologias agregadas a ureia (NOELLSCH et al., 2009; GRANT et al., 2012) em áreas com cafeeiros.

Neste contexto, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de quantificar as perdas de N por volatilização de amônia e suas alterações nos parâmetros nutricionais, produtivos e na eficiência agrônômica da adubação nitrogenada, após a aplicação de fertilizantes nitrogenados convencionais e “blends” em cobertura no cafeeiro em produção.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Características da área de estudo

O experimento foi realizado em condições de campo, entre agosto de 2014 a agosto de 2016, em uma lavoura de café comercial, em Lavras, Minas Gerais. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico, equivalente a um Oxisol na US Soil Taxonomy Classification System (BUOL et al., 2011; SANTOS et al., 2013).

Antes de iniciar o experimento, foram coletadas amostras de solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade, antes da aplicação dos tratamentos. Para preparo das análises, as amostras de solo foram passadas em peneiras de 4 mm e secas ao ar. Posteriormente, o solo foi passado em peneira de 2 mm e retiradas sub-amostras para análise química e física de acordo com a metodologia da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais-CFSEMG (1999) (TABELA 1).

Tabela 1 - Análise química e física do LV da área experimental na camada de 0 a 20 cm.

pH	M.O.	P-rem	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	(H+Al)	SB	V
(H ₂ O)	dag/kg	mg/L	-- mg/dm ³ --		----- cmol _c /dm-----					%
6,6	3,2	12,5	5,5	110,0	3,8	1,4	0,0	1,6	5,5	76,8
m	t	T	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Argila	Silte	Areia
%	-- cmol _c /dm ³ --				----- mg/dm ³ -----			----- % -----		
0,0	5,5	7,1	0,3	2,0	24,0	8,8	4,8	55	21	24

P, K, Fe, Zn, Mn, Cu - Extrator Mehlich 1; Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; B - Extrator água quente; P-rem = Fósforo Remanescente.

O clima, de acordo com o sistema de classificação Köppen, é classificado como Cwa, com inverno seco e verão chuvoso, com precipitação média anual de cerca de 1530 milímetros e a temperatura média anual de 19,4 ° C (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007).

A precipitação é concentrada entre outubro a março e seguida por um período seco nos seis meses restantes. Os dados climáticos, eventos de precipitação, foram monitorados durante todo o experimento, na estação principal meteorológica de Lavras, a cerca de quatro quilômetros da área experimental.

2.2 Delineamento experimental e caracterização dos fertilizantes

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com três repetições e os seguintes tratamentos (TABELA 2):

Tabela 2 - Tratamentos com os fertilizantes nitrogenados, dose de N aplicada, porcentagem da dose e número de aplicações na cultura do café, em cada ano.

Tratamentos	Dose de N (kg de N ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Porcentagem da dose recomendada*	Número de aplicações
Ureia	450	100%	3
Nitrato de amônio	450	100%	3
Polyblen Extend [®] - 100%	450	100%	2
Polyblen Extend [®] - 70%	315	70%	2
Polyblen Montanha [®] - 100%	450	100%	1
Polyblen Montanha [®] - 70%	315	70%	1

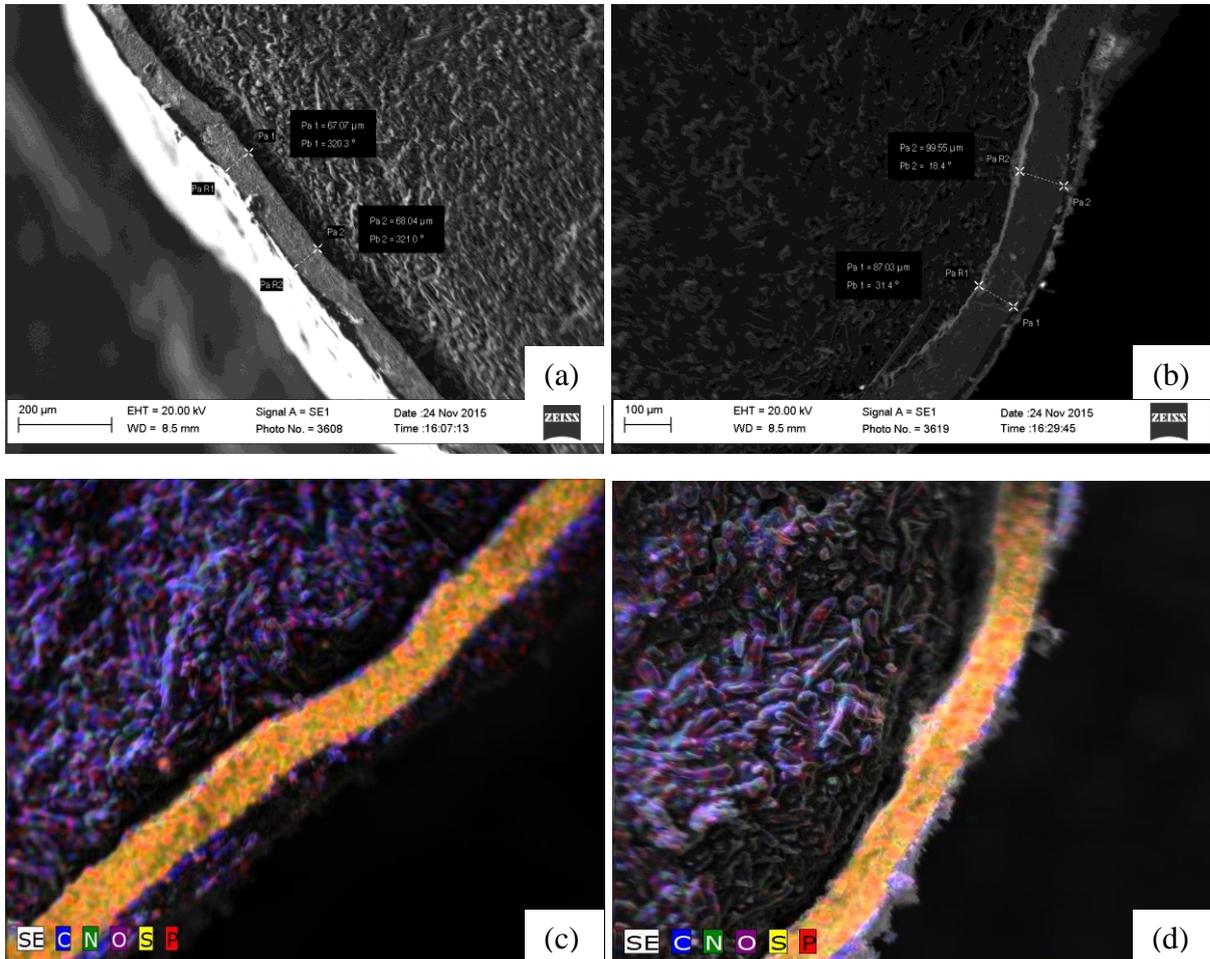
*Dose recomendada = 450 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (GUIMARÃES et al., 1999).

A parcela experimental foi composta por 12 plantas do cafeeiro, cultivar IAC 74, com seis anos após transplante, espaçadas com 3,7 metros entre linhas e 0,9 metros entre plantas. A parcela útil para colheita foi constituída de dez plantas, excluindo as duas plantas das extremidades e as duas linhas laterais como bordadura.

As características dos fertilizantes utilizados foram as seguintes: (a) Ureia - granular com 45% de N; (b) Nitrato de amônio - granular com 30% de N; (c) Polyblen Extend[®] e Polyblen Montanha[®] (Blend) - Ambos, ureia granular revestida com enxofre elementar e uma camada de polímeros orgânico (ureia de liberação controlada) e uma parte sob a forma de grânulos de ureia convencional + 530 mg kg⁻¹ de NBPT (ureia estabilizada). O teor de N total é de 39% e 12% de enxofre elementar (S^o).

A diferença entre o Polyblen Extend[®] and Polyblen Montanha[®] está na espessura da camada de revestimento, o Polyblen Extend[®] apresenta camada com a espessura de 67 a 68 µm e o Polyblen Montanha[®] de 87 to 99 µm (FIGURA 1).

Figura 1 - Eletromicrografia do revestimento da ureia com S⁰ - Polyblen Extend[®] - 67 a 68 μm (a), Polyblen Montanha[®] 87 a 99 μm (b) e suas respectivas imagens por espectroscopia por dispersão de energia (EDS) para C, N, O, P e S (c,d).



2.3 Condução do experimento

Para cada ano agrícola, 2014/2015 e 2015/2016, os tratamentos com ureia e nitrato de amônio, a dose recomendada ($450 \text{ kg de N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) foi dividida em três aplicações (1^o, 2^o e 3^o adubação), conforme recomendado para a cultura do café (GUIMARÃES et al., 1999), com intervalo de 50 dias entre cada adubação. Para os tratamentos: Polyblen Extend[®] (100% da dose recomendada) e Polyblen Extend[®] (70% da dose recomendada) dividiram-se em duas aplicações (1^o e 2^o adubação): 70% do N aplicados na primeira adubação e os 30% de N restantes, aplicados na segunda adubação, conforme recomendação do fabricante. Já para os tratamentos Polyblen Montanha[®] (100% da dose recomendada) e Polyblen Montanha[®] (70% da dose recomendada), não houve parcelamento da adubação, sendo todo o N aplicado em dose única no início da adubação de cada ano (1^o adubação), conforme recomendação do

fabricante. As adubações nos dois anos agrícolas foram realizadas nas seguintes datas (TABELA 3)

Tabela 3 - Datas das três adubações em cada ano de condução do experimento.

Ano 1 (2014/2015)		
1º Adubação	2º Adubação	3º Adubação
22/11/2014	12/01/2015	03/03/15
Ano 2 (2015/2016)		
1º Adubação	2º Adubação	3º Adubação
21/11/2015	11/01/2016	02/03/16

Fonte: Dados do autor

Em cada ano agrícola, como adubação de manutenção, aplicou-se 300 kg ha⁻¹ de K₂O e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, utilizando como fontes o cloreto de potássio (60% K₂O) e o superfosfato triplo (46 % de P₂O₅). Adubação com potássio foi parcelada em três aplicações. Os micronutrientes, boro, zinco e cobre foram aplicados via foliar.

No primeiro ano (2014/2015), um dia antes de cada adubação, fez-se uso de irrigação pelo sistema de gotejamento. Para o uso da irrigação, a demanda hídrica da cultura foi estimada com uso do software Irriplus© para a cidade de Lavras, utilizando dados climáticos do INMET, determinando-se a evapotranspiração de referência (ET_o) com a Equação de Penman e Monteith (ALLEN et al.,1998). Com isso, multiplicou-se a ET_o (evapotranspiração de referência) pelo K_c (coeficiente cultural) e pelo coeficiente de irrigação localizada (KI), e assim obteve-se os valores da evapotranspiração da cultura irrigada por gotejamento (ET_g) (BERNARDO, 1995; VIEIRA et al., 2011).

As características consideradas para determinação da demanda hídrica foram: capacidade de campo ($\Theta_{cc} = 0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), ponto de murchamento permanente da planta ($\Theta_{pm} = 0,223 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), densidade do solo ($ds = 1,21 \text{ g cm}^{-3}$), fator de disponibilidade hídrica ($f = 0,4$), profundidade efetiva do sistema radicular ($z = 45 \text{ cm}$), eficiência dos sistemas de irrigação por gotejamento ($E_a = 90 \%$), percentagem de área molhada ($p_w = 32,5 \%$), percentagem de área sombreada pela cultura em fase de produção plena após o quarto ano (50 %).

O coeficiente devido à irrigação localizada (KI) foi determinado pelo método de Feres (MANTOVANI et al., 2007), utilizando o maior valor considerado entre área sombreada ou molhada. A cultura considerada para os cálculos foi o cafeeiro arábica (*Coffea arabica*),

plantado em espaçamento de 3,0 m entre fileiras de plantio por 0,9 m entre plantas dentro da fileira, com coeficiente cultural (K_c) de 1,00 (quarto ano em diante) (FERNANDES et al., 2008).

2.4 Avaliações

2.4.1 Curva de liberação do N pelos “Blends”

Para determinar a curva de liberação do N pelo Polyblen Extend[®] e do Polyblen Montanha[®] foram realizados dois experimentos. Um em laboratório com o objetivo de avaliar a liberação de N em água destilada sob condições controladas e outro em campo conduzido sob as condições edafoclimáticas da área experimental do cafeeiro adubado. Ambos os testes seguiram a metodologia recomendada por Trenkel (2010).

No teste em condições laboratoriais, pesaram-se dez gramas de cada Blend, que foram colocados em um tecido perfurado do tipo “microtule” e amarrados. Posteriormente, 200 ml de água destilada foram adicionados em cada frasco (previamente pesados) com capacidade aproximada para 250 mL, e colocados em câmara climática ajustada a 40 ° C um dia antes do início do experimento.

Após 24 horas, os blends foram submersos. Em cada dia de coleta das soluções, os fertilizantes foram transferidos para potes com água destilada nova previamente aclimatados. A cada coleta, os potes com água destilada nova foram aclimatados (40 °C) pelo menos 24 horas antes da coleta da solução. As soluções foram guardadas para posterior análise.

As leituras de N foram realizadas após 1, 7, 28, 46, 77, 98, 123, 233, 336 e 436 dias do início do experimento (de coleta das soluções). O teor de N foi determinado na solução à temperatura ambiente através do método de kjeldahl após a digestão sulfúrica. Para isso, uma alíquota foi utilizada para análise, e a % de liberação de N calculada com base na massa da solução coletada.

Para determinar a curva de liberação do N pelos fertilizantes no campo (área experimental), pesou-se uma quantidade de 40g de cada fertilizante. Os fertilizantes foram acondicionados em redes do tipo nylon, costuradas e seladas com cola quente.

As redes com os fertilizantes foram aplicadas na projeção da copa do cafeeiro, juntamente com a aplicação dos tratamentos da primeira adubação (21/11/2015), na safra 2015/2016. As redes com os fertilizantes foram coletadas aos 5, 13, 23, 35, 47, 61, 77, 91, 106

e 126 dias após a adubação. Em laboratório, as redes foram abertas e todo o fertilizante foi coletado, retirando-se o excesso de solo aderido ao mesmo.

Posteriormente, as amostras foram trituradas em moinho Turratec (Tecnal) com uma pequena quantidade de água (20 mL) para quebrar o polímero e liberar todo o fertilizante, e em seguida, adicionou-se 3 mL de H_2SO_4 diluído a 50% para evitar possíveis perdas por volatilização. Uma alíquota de 0,2 mL foi usada para a digestão sulfúrica em bloco digestor, seguida pela determinação de N pelo método de Kjeldahl.

2.4.2 Volatilização de amônia

Para quantificação da amônia volatilizada, utilizou-se o método do coletor semiaberto, adaptado de Lara Cabezas (1997). Para construção do coletor, foram utilizados tubos de PVC com 20 cm de diâmetro e 50 cm de altura.

Os tubos de PVC foram inseridos no solo até a profundidade de cinco centímetros. Utilizaram-se dois discos de espuma laminada com densidade de $0,02 \text{ g cm}^{-3}$ e 2,5 cm de espessura cortados no mesmo diâmetro do tubo. As espumas foram embebidas com 85 mL L^{-1} de solução de ácido fosfórico (H_3PO_4) e glicerina nos volumes de 40 e $58,8 \text{ mL L}^{-1}$ ($0,87 \text{ mol L}^{-1}$ de H_3PO_4) respectivamente e fixadas nas alturas 25 e 45 cm do solo. A esponja fixada a 45 cm possui a função de evitar a contaminação da esponja inferior. Essa esponja inferior, colocada a 25 cm do solo é utilizada para determinação da amônia volatilizada. Para determinação, essas esponjas foram trocadas no 1°, 2°, 3°, 4°, 5°, 7°, 9°, 11°, 13°, 16°, 19°, 23°, 28°, 35° e 42° dias após cada adubação nitrogenada de cobertura.

No laboratório, a $N-NH_3$ volatilizada contido nas esponjas foi extraído, por meio de funil de Buchner e bomba de vácuo, após cinco lavagens sequenciais com água destilada em uma quantidade de 80 ml em cada lavagem. Após a extração, uma alíquota de 50 ml da solução foi armazenada, em refrigerador a 5°C e, posteriormente, destilada pelo método Kjeldahl para quantificação do N.

Durante todas as coletas, foram utilizadas três esponjas como teste em branco, ou seja, apenas com adição de reagentes, sem contato com amônia dos tratamentos para servir de padrão de pureza. Os valores, após processamento das amostras, obtidos nesses padrões foram descontados dos valores obtidos, nas esponjas de captura de amônia, por se tratar então de contaminação.

2.4.3 Teor de N foliar e índice relativo de clorofila

Em cada ano agrícola, no início do período de adubação nitrogenada (20/11/2014 e 21/11/2015) e antes da colheita (15/07/15 e 21/06/2016), foram coletadas folhas para realização da análise do teor de N. Amostrou-se o 3º par de folhas a partir do ápice de ramos produtivos, situados na porção mediana das plantas (CFSEMG, 1999).

Após a coleta das folhas, foram levadas para laboratório, onde foram lavadas com água destilada e, colocadas para secagem, em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, até atingirem peso constante. Após a secagem, as folhas foram moídas em moinho tipo Wiley para determinação do N foliar.

Antes da colheita, em cada ano agrícola, também foi mensurado o índice relativo de clorofila (IRC) por meio de leitura com o clorofilômetro SPAD-502 (Soil and Planta Analysis Development). A leitura foi realizada no terço médio da folha, amostradas no 3º par de folhas a partir do ápice de ramos produtivos, situado na porção mediana da planta. As avaliações foram realizadas no período da manhã, entre 9:30 e 10:30 horas, em cinco plantas por parcela (GODOY et al., 2008). Antes de realizar as leituras, o aparelho foi calibrado com o verificador de leitura, de acordo com as recomendações do manual. Em cada planta foi realizada a leitura em dois pontos de duas folhas.

2.4.4 Produtividade, Rendimento e Renda

Para cálculo da produtividade, em cada ano, consideraram-se para colheita, como parcela útil, as dez plantas centrais da parcela, excluindo-se as duas linhas laterais como bordadura.

Os frutos de cada parcela foram colhidos separadamente, quando estes apresentavam, em média, mais de 90% dos frutos em estágio maduro ou passa. Os frutos foram colhidos somente nas plantas úteis das parcelas (10 plantas), sobre panos apropriados. Após a colheita de toda a parcela, foi realizada a medição, em litros da sua produção total e retirada uma amostra de 5 litros para secagem em terreiro. Essas amostras foram colocadas sobre peneiras quadradas de 0,5m por 0,5m de dimensão e secadas ao sol até umidade média de 11%.

Após atingir a umidade ideal, as amostras foram pesadas e medidas, em recipientes graduados, seguindo, imediatamente, para o descascamento, quando foram, novamente, pesadas e medidas. Com obtenção dos pesos das amostras beneficiadas e com o volume inicial das amostras recém - colhidas, foi possível obter os valores da produtividade por

parcela, em kg, pela relação: produtividade = (volume total colhido na parcela * peso final de café beneficiado/5). Com o valor de produtividade em quilos por planta (produtividade por parcela/10) multiplicado pelo estande de plantas, no experimento, foi possível obter a produtividade em kg por hectare que, posteriormente, foi transformada em sacas de 60 kg ha⁻¹, chegando, aos valores de produtividade.

Após a colheita, também foram calculados:

Rendimento: Volume de café da roça (café colhido) necessário para produzir uma saca de 60 kg de café beneficiado;

Renda: Volume de café em coco necessário para produzir uma saca de 60,0 kg de café beneficiado.

2.4.5 Índices de eficiência da adubação nitrogenada

Após a obtenção dos dados de produtividade do cafeeiro, foram calculados os seguintes índices de eficiência da adubação nitrogenada:

- a) Índice de eficiência agronômica relativa (IEAR) = $[(\text{Produtividade da fonte testada, kg ha}^{-1}) - (\text{Produtividade do controle, kg ha}^{-1}) / (\text{Produtividade da ureia convencional, kg ha}^{-1}) - (\text{Produtividade do controle, kg ha}^{-1})] \times 100$.
- b) Eficiência Agronômica do N Aplicado (EA) = $(\text{Produtividade da fonte testada, kg ha}^{-1}) - (\text{Produtividade do controle, kg ha}^{-1}) / \text{Dose de N aplicada em cobertura, kg ha}^{-1}$ (FAGERIA; SANTOS; MORAES 2010).

2.4.6 Análises estatísticas

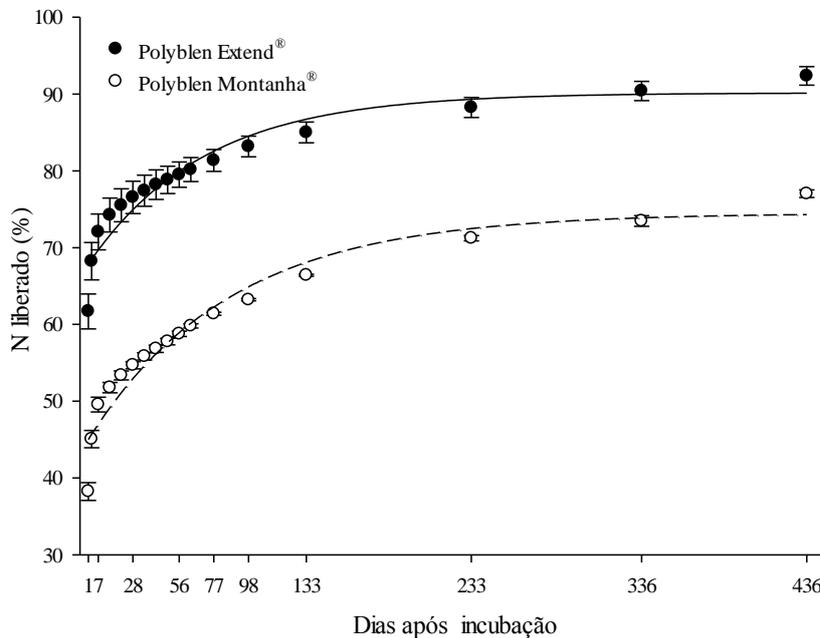
Todos os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Skott Knott ($\alpha = 0,05$). A ANOVA foi realizada após a verificação da normalidade (Shapiro-Wilk's test) e homogeneidade de variância (Teste de Bartlett) dos dados. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa de análise estatística SISVAR 5.3[®] (FERREIRA, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Curva de liberação do N pelos “Blends”

No teste de liberação de N em água destilada, houve diferenças entre as curvas de liberação de N pelo Polyblen Extend[®] e Polyblen Montanha[®] (FIGURA 2).

Figura 2 - Curva de liberação do N (%) pelo Polyblen Extend[®] e Polyblen Montanha[®] em água destilada a 40 C.



Utilizando as equações de regressão para o N liberado no teste em água destilada, pode-se observar que ao término das avaliações (após 436 dias de incubação), o Polyblen Extend[®] liberou 90% do N presente na sua formulação, enquanto o Polyblen Montanha[®] liberou 75% do N total (TABELA 4) indicado pelo fabricante.

Tabela 4 - Equações de regressão e R² da liberação de N pelos fertilizantes ao longo do tempo em laboratório e em campo.

Fertilizantes	Equações	R ²

Teste de laboratório		
Polyblen Extend [®]	% N liberado = 22.6048 * (1 - 0.9859 ^{dias}) + 67.5498	0.96
Polyblen Montanha [®]	% N liberado = 29.8358 * (1 - 0.9885 ^{dias}) + 44.6695	0.98

Teste de campo		
PolyblenExtend [®]	% N liberado = 44.8788 * (1 - 0.9672 ^{dias}) + 51.6109	0.99
Polyblen Montanha [®]	% N liberado = 60.9245 * (1 - 0.9775 ^{dias}) + 29.4866	0.99

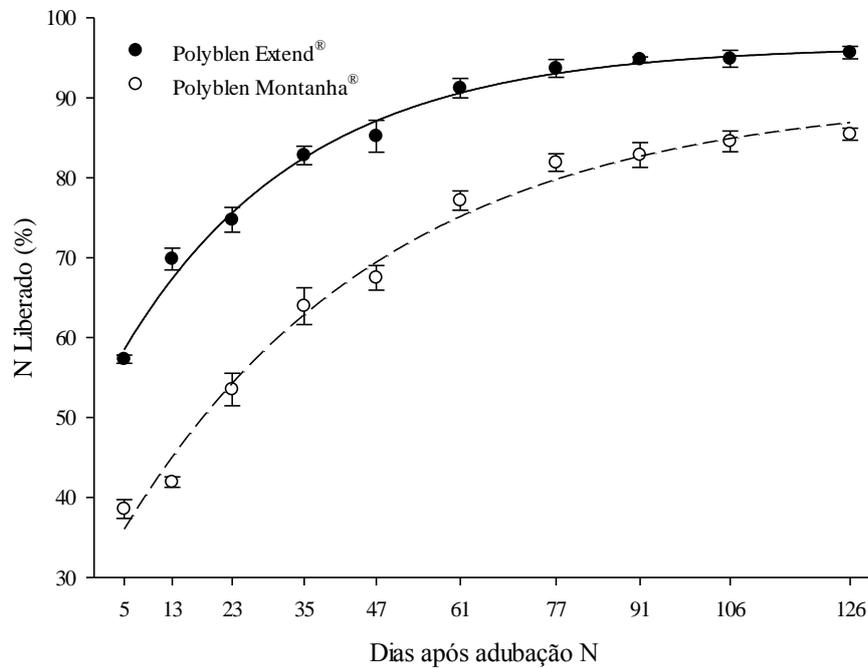
Fonte: Dados do autor

Aos 233 dias, o fertilizante Polyblen Extend[®] já havia liberado 87% de N e o Polyblen Montanha[®] 71%, ou seja, do 233º dia até o término das avaliações (436 dias), a porcentagem de N liberado aumentou apenas 3% com Polyblen Extend[®] e 4% com o Polyblen Montanha[®] para o teste de laboratório. Essa diferença mínima de N liberado pelos fertilizantes, nesses 203 dias, mostra que após o 233º dia, a liberação de N pelos dois fertilizantes praticamente cessou.

Após 63 dias, o Polyblen Extend[®] liberou 80% do N total, enquanto que o Polyblen Montanha[®] liberou apenas 60% do N total. Segundo Medina et al. (2008), o padrão de liberação de nutrientes declarado pelos fabricantes, em condições de laboratório, às vezes não corresponde ao seu desempenho no campo. Liang e Liu (2006), relatam que o pH e os íons do solo podem influenciar na curva de liberação do N pelo fertilizante. Os autores compararam a liberação de N pela ureia revestida com polímeros na água e no solo e encontraram menores valores de N liberado no solo.

No teste de campo, com os fertilizantes aplicados na projeção da copa do cafeeiro, houve diferenças para as curvas de liberação de N pelo Polyblen Extend[®] e Polyblen Montanha[®] (FIGURA 3).

Figura 3 - Curva de liberação do N (%) pelo Polyblen Extend[®] e Polyblen Montanha[®] no teste de campo.



O Polyblen Extend[®] liberou 80% do N total aos 34 dias após aplicação, enquanto que o Polyblen Montanha[®] liberou apenas 63% do N total nesta data. Com isso, pode-se afirmar que o Polyblen Extend[®] promove maior liberação de N em comparação ao Polyblen Montanha[®] no mesmo período de tempo, quando aplicado no cafeeiro.

Andrade (2016), estudou a liberação de N por três fertilizantes nitrogenados de liberação controlada sob diferentes condições de pH e força iônica, e não encontraram influência destes fatores na liberação, que foi conduzida na mesma temperatura deste estudo (40°C). Entretanto, ele avaliou em uma faixa muito estreita de pH (5,5 e 6,5) e força iônica (0 e 15 mM), o que pode ter contribuído para a pouca influência destes fatores perante a temperatura. Com isso, para a maiorias das condições de cultivo (pH entre 5.5 e 6.5) Andrade (2016), reporta que não existe influência do pH e força iônica na liberação do nutriente pelo fertilizante.

A não liberação imediata de todo o N pelos Blends é devido à porção de grânulos revestida com S^o + polímeros. Segundo Trenkel, (2010), os fertilizantes revestidos por enxofre e polímeros normalmente apresentam um padrão sigmoide de liberação do nitrogênio, que depende, principalmente, da qualidade e espessura do revestimento do grânulo.

Aos 47 dias, período próximo do adotado para parcelamento dos fertilizantes convencionais (Ureia e Nitrato de amônio = 3 aplicações), e recomendado pelo fabricante para aplicar o restante do Polyblen Extend[®] (2 aplicações), o Polyblen Extend[®] liberou 85% do N total. Nesta mesma data, o Polyblen Montanha[®] (1 aplicação) liberou apenas 65% do N total.

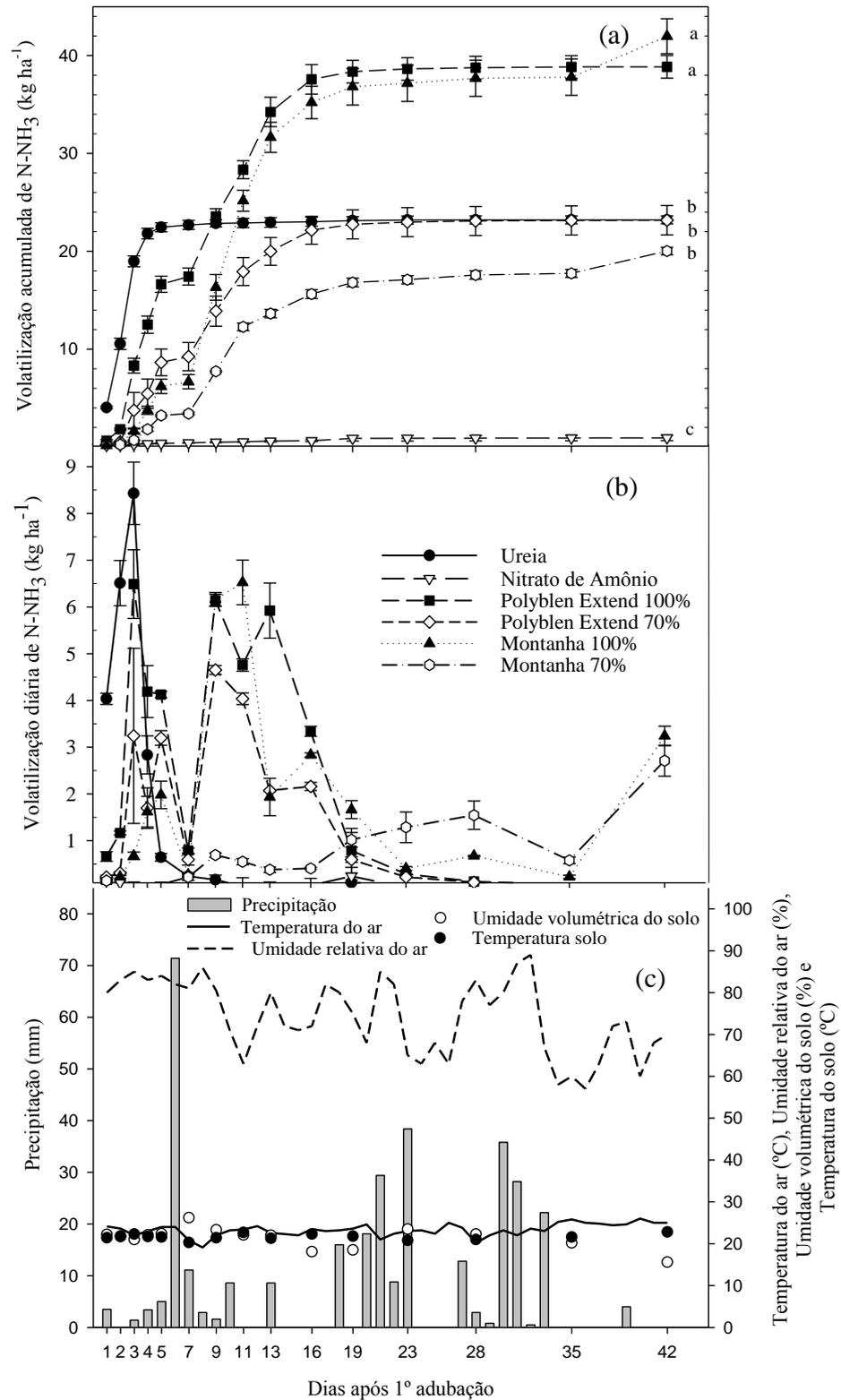
Essa diferença mostra a influencia da espessura da camada de S^o + polímeros no tempo de liberação do N. No Polyblen Extend[®], o revestimento é mais espesso, entre 67 e 68 µm. Já no Polyblen Montanha[®] a camada de revestimento de S^o + polímeros possui espessura entre 87 to 99 µm. De acordo com Guertal et al. (2009), uma maior espessura do revestimento do grânulo faz com que o N seja liberado mais lentamente.

Apesar das diferenças entre os dois testes (laboratório e de campo), em ambos a curva de liberação do N pelo Polyblen Montanha[®] manteve-se abaixo da curva do Polyblen Extend[®], o que indica uma liberação mais lenta de N. A diferença na taxa de liberação do experimento de campo e do realizado em laboratório pode ser atribuída a diferentes condições ambientais. Dentre vários fatores que interferem na taxa de liberação do N pelo fertilizante, destacam-se diferenças na espessura de revestimento, rupturas da camada e resposta do material de revestimento as condições ambientais (ADAMS; FRANTZ; BUGBEE, 2013; TIMILSENA et al., 2014).

3.2 Perdas por Volatilização de amônia no Primeiro Ano (2014/2015)

A perda acumulada e diária de amônia (N-NH₃) foi influenciada significativamente ($p \leq 0,05$) pelos fertilizantes nitrogenados aplicados no cafeeiro. As perdas acumulada de N-NH₃ (FIGURA 4a) e diária (FIGURA 4b) associadas à precipitação, temperatura do ar e do solo, umidade relativa do ar e umidade volumétrica do solo, 42 dias após a 1^a adubação do ano 2014/2015, são apresentados na Figura 4c.

Figura 4 - Perdas acumuladas (a) e diárias (b) de N, por volatilização pelos fertilizantes nitrogenados (ureia convencional, nitrato de amônio, Polyblen Extend® e Polyblen Montanha®), após 1º aplicação do ano 2014/2015 no cafeeiro, juntamente com os dados climáticos (c).



A perda acumulada de N-NH₃ após 42 dias da 1ª adubação nitrogenada seguiu a ordem decrescente: Polyblen Montanha[®] - 100% (41,9 kg ha⁻¹ de N) = Polyblen Extend[®] - 100% (38,8 kg ha⁻¹ de N) > Ureia (23,2 kg ha⁻¹ de N) = Polyblen Extend[®] - 70% (23,1 kg ha⁻¹ de N) = Polyblen Montanha[®] - 70% (20,0 kg ha⁻¹ de N) > Nitrato de amônio (0,9 kg ha⁻¹ de N); (FIGURA 1a). As maiores perdas do Polyblen Montanha[®] - 100% (450 kg ha⁻¹ de N aplicados sem parcelamentos) e do Polyblen Extend[®] - 100% (450 kg ha⁻¹ de N aplicada em dois parcelamentos: 70% do N na 1ª adubação nitrogenada e 30% na 2ª podem ser explicadas em função da redução do número de parcelamentos em comparação ao da ureia convencional (450 kg ha⁻¹ de N aplicados em três parcelamentos iguais).

A precipitação acumulada 42 dias após a 1ª adubação nitrogenada foi de 335,4 milímetros. Nos sete primeiros dias, período no qual ocorrem às maiores perdas de N-NH₃ após aplicação da ureia em superfície, a precipitação foi de 3,5; 0; 1,4; 3,4; 5,0; 71,4; 11,1 milímetros e a umidade do solo foi de 22,2; 21,8; 21,0; 22,1; 22,4; 26,2 e 23,3%, respectivamente. No mesmo período, a temperatura média do ar foi de 24° C e a do solo 21,5° C.

Os valores de umidade relativa do ar foram superiores a 74,3 % (umidade relativa crítica da ureia) no primeiro (80%), segundo (83%), terceiro (85%), quarto (83%), quinto (84%), sexto (82%) e sétimo (81%) dia após a aplicação dos fertilizantes nitrogenados, com ocorrência de pouca chuva e umidade no solo (FIGURA 3c). Esses fatores contribuíram para que o pico de volatilização de N da ureia (5,6% do N aplicado - 8,4 kg de N ha⁻¹) ocorresse no 3º dia após sua aplicação (FIGURA 3b). Picos de perda de N-NH₃ em lavoura cafeeira ocorreram entre o 1º e o 3º dia após a aplicação da ureia em quantidades equivalentes a 5.0%, 8.4%; e 9.1% do total de N aplicado (450 kg ha⁻¹ de N) em cada uma das três adubações (150 kg ha⁻¹ de N) do cafeeiro (DOMINGHETTI et al., 2016).

Os blends de ureia com NBPT e revestida com S⁰ + polímeros: Polyblen Extend[®] (100%), Polyblen Extend[®] (70%), Polyblen Montanha[®] (100%) e Polyblen Montanha[®] - 70% tiveram os máximos valores de perdas diárias de N-NH₃ iguais a 6,5 kg de N ha⁻¹ (2% do N aplicado); 4,6 kg de N ha⁻¹ (2,1% do N aplicado); 6,5 kg de N ha⁻¹ (1,4% do N aplicado) e 2,7 kg de N ha⁻¹ (0,9% do N aplicado) no 3º, 9º, 11º e 42º dia após a 1ª adubação, respectivamente.

O atraso no pico de perda de N-NH₃ pelos blends (Polyblen Extend[®] e Polyblen Montanha[®]) em comparação a ureia convencional está relacionado ao tempo de liberação do nutriente pelos fertilizantes devido à alteração na taxa de dissolução da ureia devido à adição de revestimento com S⁰ + polímeros. Os fertilizantes de liberação controlada (ureia + S⁰ +

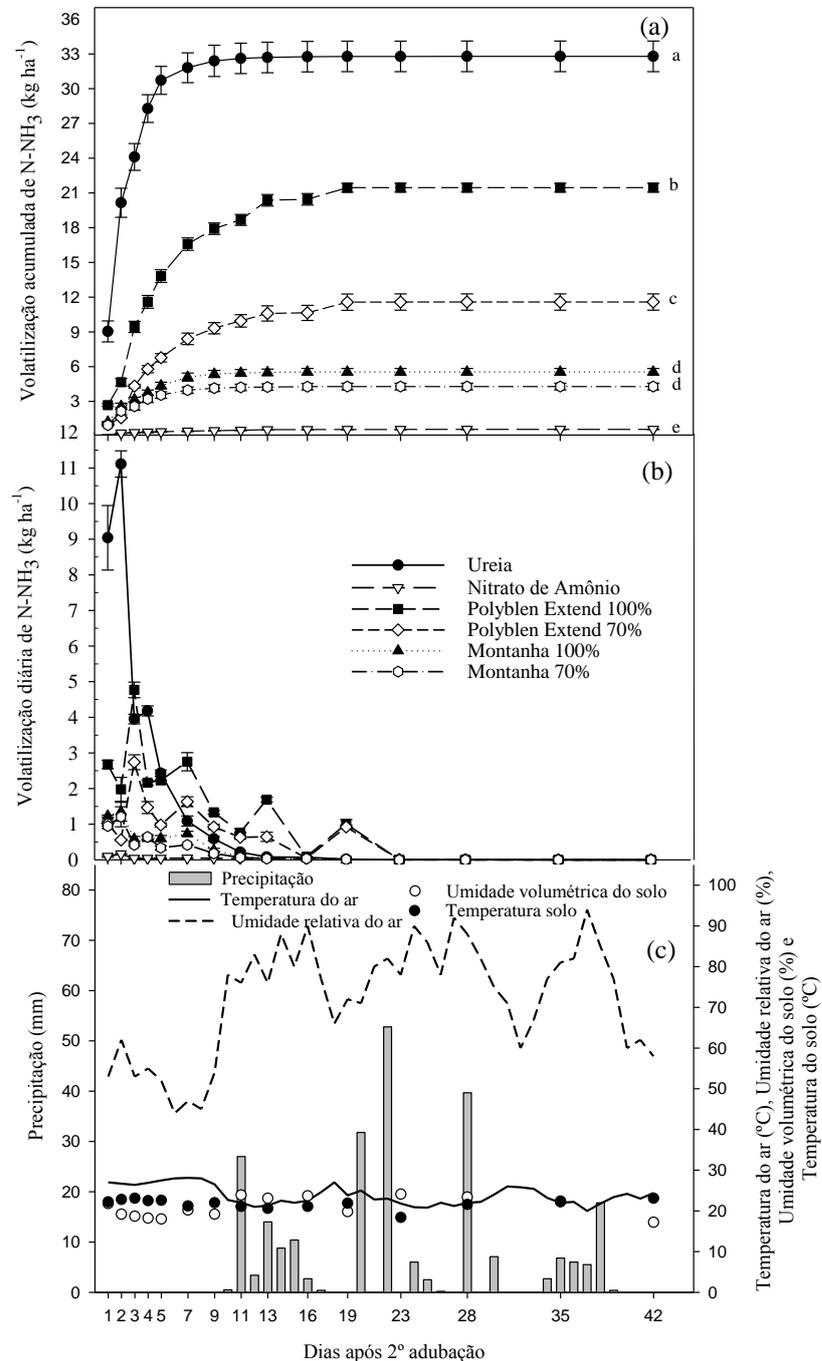
polímeros) liberam o N gradativamente por meio da difusão dos grânulos do fertilizante à solução do solo em função de temperatura, umidade do solo e tipo e espessura do revestimento (CHEN et al., 2011). Dessa forma o N fica menos suscetível às perdas nos primeiros dias após a aplicação. Já a ureia convencional, por ser altamente solúvel em água, sofre hidrólise mais rapidamente (AZEEM et al., 2014; DOMINGHETTI et al., 2016).

Dentre os blends utilizados, a maior espessura do revestimento (S^0 + polímeros) do Polyblen Montanha[®] que variou entre 87 a 99 μm em comparação ao Polyblen Extend[®] que é de 67 a 68 μm (FIGURA 1) possibilitou um atraso no processo de dissolução da ureia (FIGURA 4b). A liberação gradual do N da ureia revestida pode ser citada uma vantagem em relação ao nitrato de amônio devido à possibilidade de sincronia entre liberação do nutriente e absorção pelo cafeeiro.

O nitrato de amônio não promoveu picos de perda diária de N-NH_3 (FIGURA 4b) e o valor da sua perda acumulada de N-NH_3 na 1ª adubação (FIGURA 4a) foi de $0,9 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, a menor entre todos os fertilizantes aplicados no cafeeiro.

Após a 2ª adubação nitrogenada, a perda acumulada de N-NH_3 (%) seguiu a ordem: ureia ($32,8 \text{ kg ha}^{-1}$ de N - 21,8% do N aplicado) > Polyblen Extend[®] - 100% ($21,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de N - 15,9% do N aplicado) > Polyblen Extend[®] - 70% ($11,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de N - 12,3% do N aplicado) > Polyblen Montanha[®] - 100% ($5,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de N - 1,2% do aplicado) = Polyblen Montanha[®] - 70% ($4,3 \text{ kg ha}^{-1}$ de N - 1,3 % do aplicado) > nitrato de amônio ($0,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de N - 0,4% do aplicado) (FIGURA 5a).

Figura 5 - Perdas acumuladas (a) e diárias (b) de N, por volatilização pelos fertilizantes (ureia convencional, nitrato de amônio, Polyblen Extend® e Polyblen Montanha®), após 2ª aplicação do ano 2014/2015 no cafeeiro, juntamente com os dados climáticos (c).



A precipitação acumulada nestes 42 dias após a 2ª adubação foi de 246,6 milímetros. Nos sete primeiros dias após aplicação da ureia em superfície não houve precipitação pluviométrica e a umidade relativa do ar foram inferiores a umidade relativa crítica da ureia (FIGURA 2c).

A ureia teve o pico máximo de volatilização (11,1 kg de N ha⁻¹ - 7,4% do N aplicado) já no 2º dia após sua aplicação (FIGURA 5b) e superior ao pico da 1ª adubação (8,4 kg de N ha⁻¹ - 5,6% do N aplicado), onde o valor máximo de perda de N-NH₃ ocorreu no 3º dia (FIGURA 1b). %. A umidade do solo diminuiu do 1º para o 2º dia, onde houve a maior perda de N-NH₃ da ureia.

Embora nos nove dias após a aplicação dos fertilizantes não tenha ocorrido precipitação pluviométrica, no dia anterior a 2ª adubação e no 6º dia após, o sistema de irrigação foi ligado, e a umidade do solo mensurada foram de: 21.8; 19.2; 18.7; 18.2; 18.0; 20.2 e 19.2% no 1º; 2º; 3º, 4º; 5º; 7º e 9º dia após a 2ª adubação, respectivamente. No mesmo período, a temperatura média do ar foi de 23°C e a temperatura do solo mensurada foi de: 22.2; 22.8; 23.1; 22.5; 22.6; 21.2 e 22°C (FIGURA 5c). A umidade relativa do ar neste período em que não houve precipitação (53, 62, 53, 55, 52, 44, 47, 45 e 54%) sempre esteve abaixo da umidade relativa crítica para ureia (74,3%).

O pico de perda da ureia neste período sem precipitação, e com umidade relativa do ar abaixo da umidade crítica da ureia está associado às variações na umidade e evaporação da água do solo. A irrigação realizada promoveu aumento na umidade do solo para 21,8% no primeiro dia após a 2ª adubação nitrogenada, com posterior diminuição da umidade até o 5º dia após aplicação dos tratamentos para 18%.

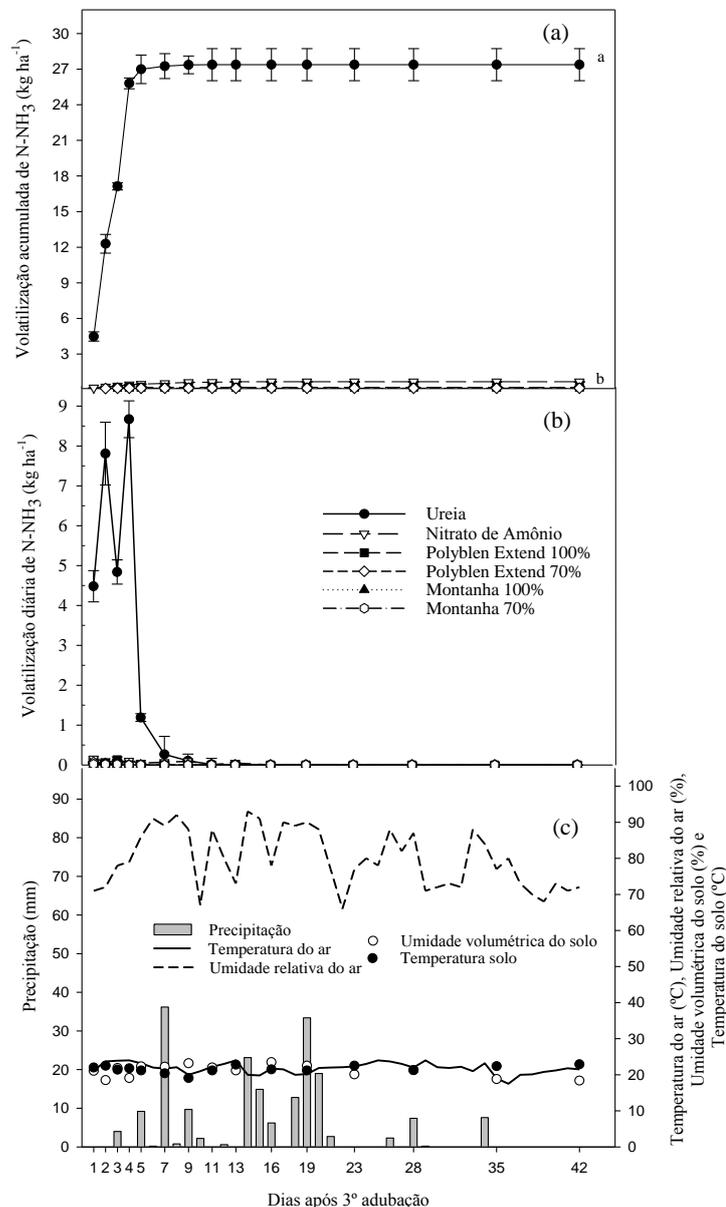
Diversos estudos realizados por McInnes et al. (1986); Hargrove et al. (1987) e Lara Cabezas et al. (1992), citados por Cantarella (2007) mostram que as maiores perdas de N-NH₃ ocorrem quando a superfície do solo está secando.

A máxima perda diária de N-NH₃ do Polyblen Extend[®] - 100% (4,8 kg de N ha⁻¹) e do Polyblen Extend[®] - 70% (2,7 kg de N ha⁻¹) ocorreu no 3º dia após o 2º parcelamento da adubação nitrogenada (30% da dose total de N fornecida no ano agrícola 2014/2015). Na 2ª adubação nitrogenada a ureia e o nitrato de amônio foram aplicados na dose 150 kg ha⁻¹ de N e nos tratamentos com Polyblen Extend[®]-100% e Polyblen Extend[®]-70% foram aplicados 135 e 94,5 kg ha de N, respectivamente. Já nos tratamentos com Polyblen Montanha[®]-100% e Polyblen Montanha[®]-70% não houve aplicação de N (sem parcelamento). Com isso, com a aplicação do Polyblen Montanha[®]-100% e Polyblen Montanha[®]-70% a perda acumulada de N-NH₃ (FIGURA 5a) refere-se aparte do N aplicado ainda na 1ª adubação, sem parcelamento (450 kg de N ha⁻¹).

O nitrato de amônio, como na 1ª adubação, não promoveu picos de perda diária de N-NH₃ e a menor perda acumulada de N (0,6 kg ha⁻¹ de N) entre os fertilizantes (FIGURA 2b).

A perda acumulada de N-NH_3 após 42 dias da 3ª adubação nitrogenada com ureia foi de $27,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de N (18,2% do N aplicado) e de $0,7 \text{ kg de N ha}^{-1}$ (0,5% do N aplicado) para o nitrato de amônio. Os demais fertilizantes não promoveram perdas de N-NH_3 nesse período, uma vez que os tratamentos com Polyblen Montanha® e Extend® não foram aplicados na 3ª adubação, devido à redução do número de parcelamento mostrando que não tiveram perdas de N-NH_3 do residual das adubações anteriores (FIGURA 6a).

Figura 6 - Perdas acumuladas (a) e diárias (b) de N, por volatilização pelos fertilizantes (ureia convencional, nitrato de amônio, Polyblen Extend® e Polyblen Montanha®), após 3ª aplicação do ano 2014/2015 no cafeeiro, juntamente com os dados climáticos (c).



Na 3ª adubação a ureia promoveu máxima volatilização diária de 8,7 kg ha⁻¹ de N no 4º dia após sua aplicação na superfície do solo (FIGURA 6b). Este comportamento difere do observado nas duas primeiras adubações nitrogenadas realizadas, em que os picos foram registrados no 3º (8,4 kg de N ha⁻¹) e no 2º dia (11,1 kg de N ha⁻¹) após a 1ª e 2ª adubação, respectivamente (FIGURAS 4b e 5b).

A precipitação acumulada 42 dias após a 3ª adubação foi de 192,5 milímetros. Nos dois primeiros dias e no 4º dia não houve precipitação, no 3º e 5º dia a precipitação foi de 4,0 e 9,2 milímetros, respectivamente. Já a umidade do solo medida no momento da coleta foi de 21,1; 18,5; 21,9; 19,1 e 22,3% nos primeiros cinco dias. No mesmo período, a temperatura média do ar foi de 23,2° C e as do solo foram de: 22,0; 22,5; 21,4; 21,8 e 21,2 °C (FIGURA 4c). No 1º (71%) e no 2º (72%) dia após a 3ª adubação nitrogenada a umidade relativa do ar se manteve abaixo da umidade relativa crítica para ureia. Porém do 3º ao 9º dia (78, 79, 86, 91, 89, 92 e 88%) a umidade relativa do ar foi superior à umidade relativa crítica para a ureia.

Um dia antes da aplicação dos fertilizantes, o sistema de irrigação foi ligado e seguido por um período de estiagem de três dias (período de queda da umidade do solo). No 3º dia após a aplicação dos fertilizantes nitrogenados houve registro de 4 mm de precipitação, o que promoveu um aumento na umidade do solo do segundo (U=18,8%) para o terceiro dia (U=21,9%) e posterior diminuição da umidade no quarto dia (U=19,1%) (sem precipitação).

É importante ressaltar que no 2º dia após adubação também houve uma perda significativa de N-NH₃ (7,8 kg de N ha⁻¹) pela ureia, seguido por uma redução no 3º dia (4,8 kg de N ha⁻¹) e o valor máximo no 4º dia (8,7 kg de N ha⁻¹). Essa variação pode estar associada ao processo de secagem/evaporação do solo.

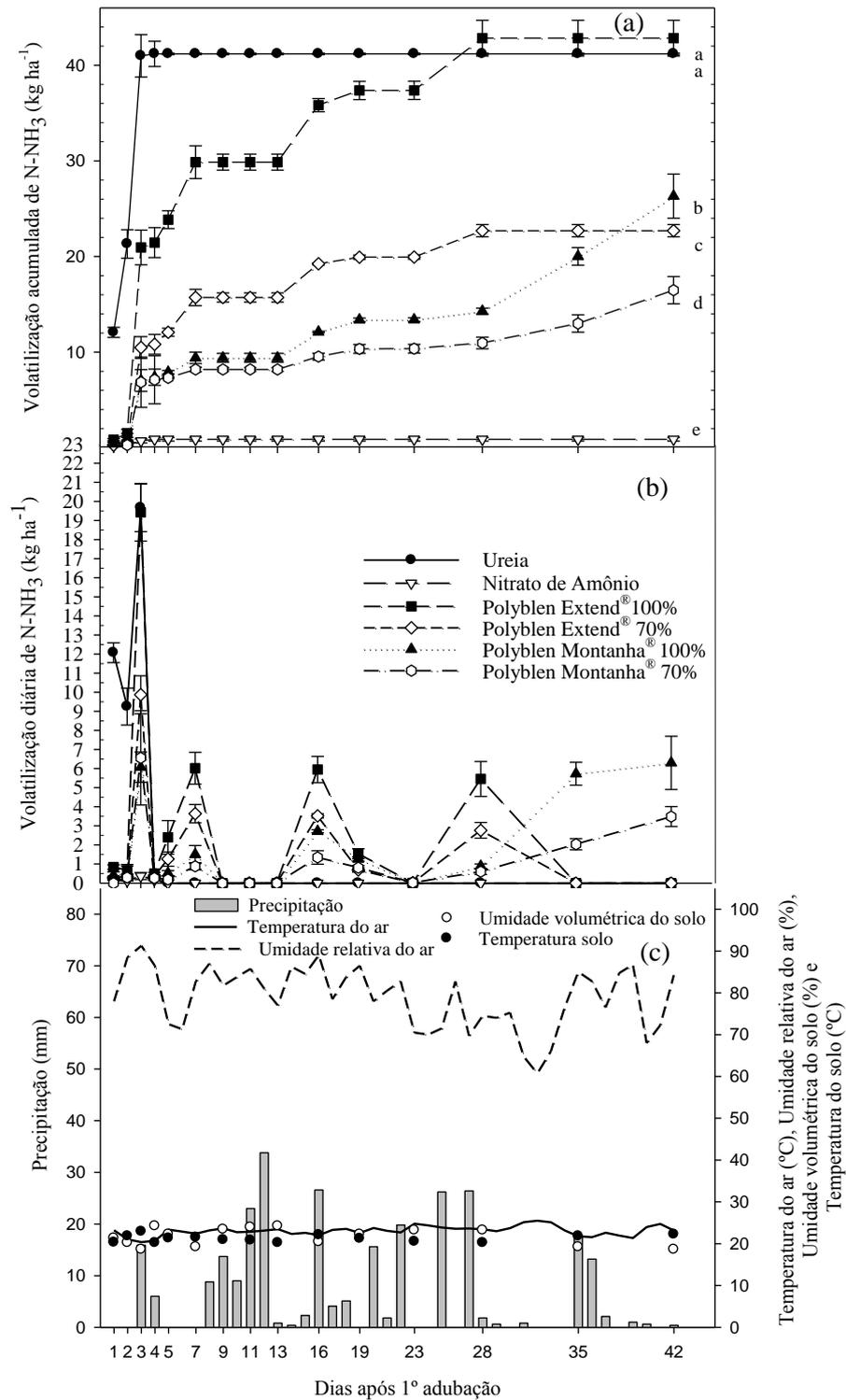
Esses resultados corroboram com os reportados por Engel et al., (2011) que encontraram maiores perdas de N-NH₃ (30 a 44% do N aplicado) quando a ureia foi aplicada na superfície do solo com elevado teor de umidade seguido por um período de secagem lenta, com pouca ou nenhuma precipitação. Dessa forma as maiores perdas de N-NH₃ ocorrem quando a superfície do solo está secando, ou seja, a taxa de evaporação mais importante que a condição de umidade inicial do solo (LARA CABEZAS et al.,1992).

3.3 Perdas por Volatilização de amônia no Segundo Ano (2015/2016)

No segundo ano (2015/2016), a perda acumulada e diária de amônia (N-NH₃) foi influenciada significativamente ($p \leq 0,05$) pelos fertilizantes nitrogenados aplicados no cafeeiro. As perdas acumulada de N-NH₃ (FIGURA 7a) e diária (FIGURA 7b) associadas à

precipitação, temperatura do ar e do solo, umidade relativa do ar e umidade volumétrica do solo, 42 dias após a 1ª adubação, são apresentados na Figura 2c.

Figura 7 - Perdas acumuladas (a) e diárias (b) de N, por volatilização pelos fertilizantes (ureia convencional, nitrato de amônio, Polyblen Extend® e Polyblen Montanha®), após 1ª aplicação do ano 2015/2016 no cafeeiro, juntamente com os dados climáticos (c).



A perda acumulada de N-NH₃ após 42 dias da 1ª adubação seguiu a ordem decrescente: Polyblen Extend[®] - 100% (42,8 kg ha⁻¹ de N) = Ureia (41,1 kg ha⁻¹ de N) > Polyblen Montanha[®] - 100% (26,5 kg ha⁻¹ de N) > Polyblen Extend[®] - 70% (22,7 kg ha⁻¹ de N) > Polyblen Montanha[®] - 70% (16,5 kg ha⁻¹ de N) > Nitrato de amônio (1,2 kg ha⁻¹ de N); (FIGURA 1a).

As maiores perdas de N-NH₃, em kg ha⁻¹ após aplicação de Ureia e do Polyblen Extend[®] - 100%, mesmo o Polyblen Extend[®] sendo um blend de ureia estabilizada e de liberação controlada podem ser explicadas pela maior quantidade de N aplicado com este Blend em comparação a ureia. Na nesta adubação, foi aplicado 315 kg ha⁻¹ de N no tratamento com Extend[®] - 100% e 150 kg ha⁻¹ de N com a ureia.

A precipitação acumulada 42 dias após a primeira aplicação foi de 277,8 milímetros. Nos cinco primeiros dias, período no qual ocorrem às maiores perdas de N-NH₃ após aplicação da ureia em superfície, a precipitação foi de 0,1; 0; 15,9; 6,0; 0,0 milímetros e a umidade do solo foi de 21,3; 20,2; 18,6; 24,2 e 22,2 %, respectivamente. No mesmo período, a temperatura média do ar foi de 21,8° C e a do solo 21,3° C (FIGURA 1c).

As perdas de N-NH₃ nos cinco primeiros dias foram de: 41,2; 23,8; 12,1; 7,9; 7,3 e 0,9 kg ha⁻¹ de N para a Ureia, Polyblen Extend[®]-100%, Polyblen Extend[®]-70%, Polyblen Montanha[®]-100%, Polyblen Montanha[®]-70% e Nitrato de amônio, respectivamente. De acordo com Cantarella (2007), as maiores perdas de N-NH₃ ocorrem nos cinco primeiros dias. Os resultados mostram que os Blends (Polyblen Extend[®] e Polyblen Montanha[®]) promoveram redução nas perdas de N por volatilização em comparação a ureia nos primeiros cinco dias.

A umidade relativa do ar no primeiro (78%), segundo (88%), terceiro (91%), quarto (86%) dia esteve acima da umidade crítica da ureia concencional (74,3%). Quando a umidade relativa do ar do está maior do que 74,3% a ureia absorve água da atmosfera, o que pode intensificar o processo de dissolução dos grânulos e aumentar o processo de perda de N-NH₃. Neste período, as perdas por volatilização foram reduzidas em 42%, 70%, 80%, 82% e 97% com a aplicação Polyblen Extend[®]-100%, Polyblen Extend[®]-70%, Polyblen Montanha[®]-100%, Polyblen Montanha[®]-70% e Nitrato de amônio, respectivamente.

Essa redução de perdas de N-NH₃ dos Blends em comparação a ureia nos cinco primeiros dias está associada à presença do revestimento e da presença de NBPT. O NBPT quando em contato com o solo é convertido rapidamente a NBPTO (N-(n-butil) fosfórico triamida), tornando-se, assim, capaz de inativar a urease pela substituição das moléculas da água próximas ao seu sítio ativo, ligando-se aos átomos de níquel (KRAJEWSKA, 2009; DAWAR et al., 2011). Dominghetti et al. (2016) relatam redução de 80% de perdas de N por

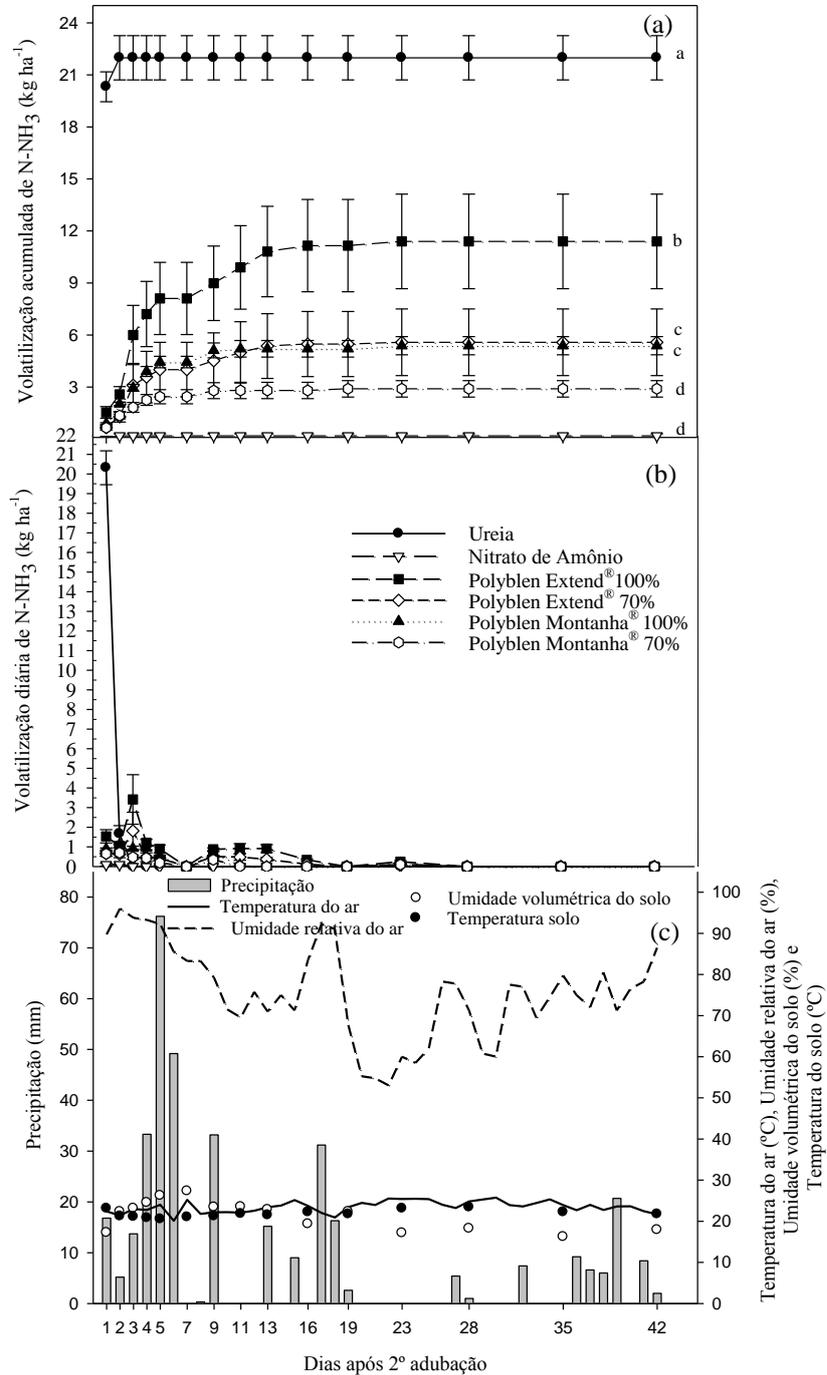
volatilização com o uso de ureia+NBPT quando comparado a ureia convencional, ambos aplicados no no cafeeiro em produção.

A máxima perda diária de N foi no terceiro dia após a aplicação dos tratamentos e o maior valor foi de 19,7 kg ha⁻¹ de N (13,1 % do aplicado) com a aplicação de Ureia. O tratamento Polyblen Extend[®] - 100% teve perda de 19,4 kg ha⁻¹ de N (5,7 % do aplicado). Embora os valores de perdas em kg ha⁻¹ da Ureia convencional e do Polyblen Extend[®]-100% sejam próximos no terceiro dia, vale ressaltar que nesta adubação a dose de N aplicada com o tratamento Polyblen Extend[®]-100% foi de 315 kg ha⁻¹ de N, já no tratamento com Ureia foi de 150 kg ha⁻¹. O nitrato de amônio não promoveu picos de perdas de N por volatilização.

Com a aplicação do Polyblen Montanha[®] a máxima perda diária foi no 42º dia após a adubação, tanto no tratamento com Polyblen Montanha[®]-100% (6,2 kg ha⁻¹ de N), quanto com Polyblen Montanha[®]-70% (3,1 kg ha⁻¹ de N). Esse atraso do Polyblen Montanha[®] no pico máximo de N por volatilização em comparação ao Polyben Extend deve-se a maior espessura da camada de revetimento do grânulo, como já citado.

Após a segunda adubação, a perda acumulada de N-NH₃ (kg ha⁻¹) seguiu a ordem: ureia convencional (21,9 kg ha⁻¹ de N) > Polyblen Extend[®]-100% (11,4 kg ha⁻¹ de N) > Polyblen Extend[®]-70% (5,6 kg ha⁻¹ de N) = Polyblen Montanha[®]-100% (5,39 kg ha⁻¹ de N) > Polyblen Montanha[®]-70% (2,9 kg ha⁻¹ de N) = nitrato de amônio (0,2 kg ha⁻¹ de N) (FIGURA 8a).

Figura 8 - Perdas acumuladas (a) e diárias (b) de N, por volatilização pelos fertilizantes (ureia convencional, nitrato de amônio, Polyblen Extend[®] e Polyblen Montanha[®]), após 2^o aplicação do ano 2015/2016 no cafeeiro, juntamente com os dados climáticos (c).



Na segunda adubação a perda total de N-NH₃ pela Ureia foi de 22 kg ha⁻¹ de N (FIGURA 8a), ou seja, houve uma redução de 46,4 % do N volatilizado pela ureia em comparação a primeira adubação (FIGURA 7a). Essa redução pode estar associada a alta precipitação registrada nos cinco primeiros dias, que foi de 145,2 milímetros (FIGURA 8c).

Na primeira adubação a precipitação acumulada nos cinco primeiros dias foi de 22 milímetros (FIGURA 7c). A precipitação acumulada nos 42 dias após esta adubação foi de 369 milímetros.

Segundo KISSEL et al., (2004), a volatilização da amônia está diretamente relacionada com a precipitação, em que a ureia pode ser incorporada ao solo. Se incorporada ao solo, a amônia encontra barreiras físicas e químicas para atingir a superfície e com isso é reduzida a perda por volatilização (CANTARELLA et al., 2008; PRASERTSAK et al., 2001). Porém a precipitação só é eficaz em reduzir as perdas de N-NH₃, se ocorrer em um período curto após a aplicação da ureia (KISSEL et al., 2004), como ocorreu nos cinco primeiros dias após esta adubação (FIGURA 8c).

As perdas de 5,4 kg ha⁻¹ de N com Polyblen Montanha[®]-100% e de 2,9 kg ha⁻¹ de N com Polyblen Montanha[®]-70% durante o período de avaliações da segunda adubação mostram que o Polyblen Montanha[®] (dose total de N na 1ª adubação) continuou liberando N, mesmo não sendo aplicado nesta adubação. Esse maior período residual em comparação ao Polyblen Extend[®] está relacionado com a maior espessura da camada de S^o + polímeros (FIGURA 1). A camada de S^o + polímeros atuar como barreira de proteção e com isso, o N é liberado gradualmente ao solo.

Segundo Trenkel (2010), o uso de S^o + polímeros como revestimento dos grânulos de ureia reduz o contato da ureia no interior do grânulo revestido com a umidade do solo, proporcionando diminuição na dissolução e nos picos de volatilização de amônia. Os fertilizantes revestidos por enxofre e polímeros normalmente apresentam um padrão sigmoidal de liberação do nitrogênio, que depende, principalmente, da qualidade e espessura do revestimento do grânulo (TRENKEL, 2010).

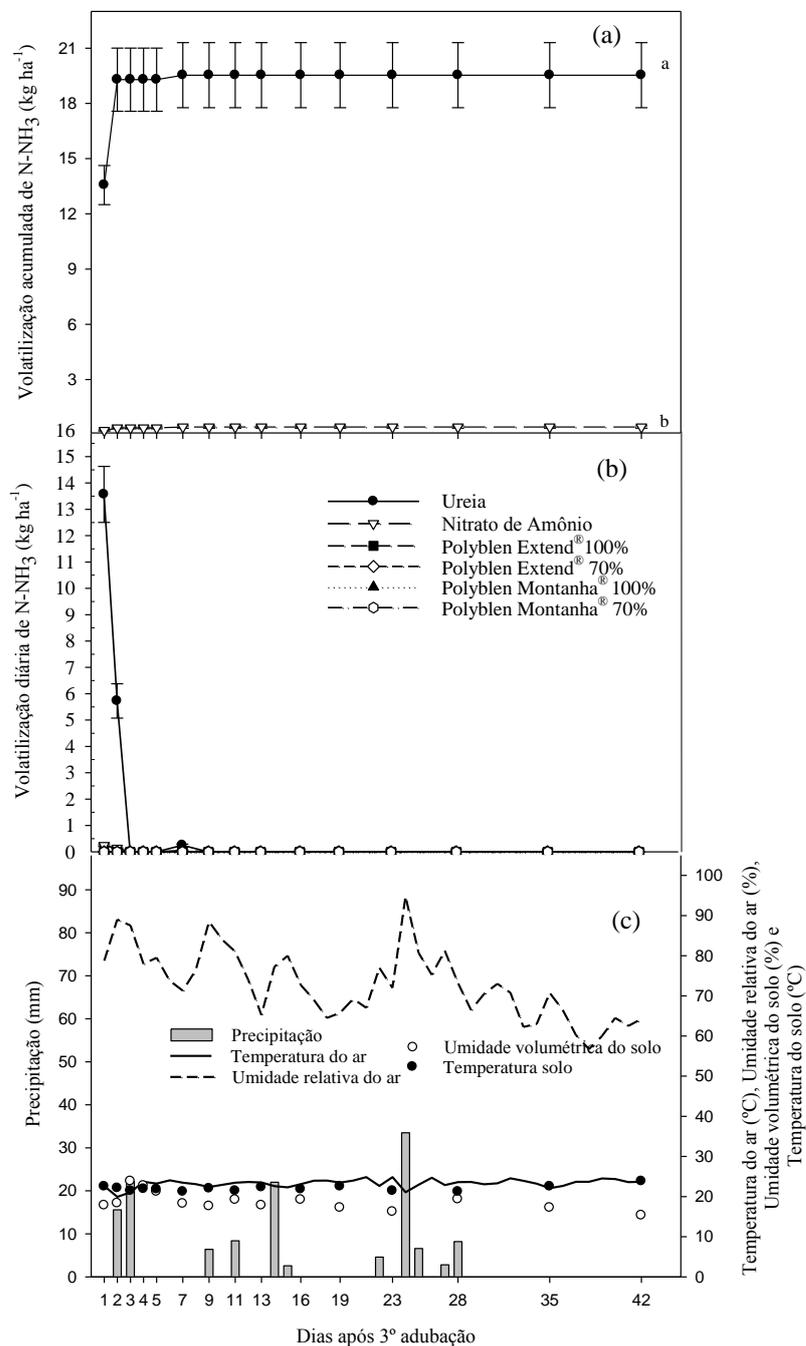
O valor máximo de perda diária de N-NH₃ por volatilização na segunda adubação foi de 20,3 kg ha⁻¹ de N já no primeiro dia após a adubação, com aplicação da ureia convencional (FIGURA 8b). Esse valor equivale a 92% do N volatilizado após aplicação da Ureia nesta adubação. O pico máximo de perda de volatilização pela ureia já no primeiro dia mostra que, possivelmente após a primeira coleta, grande parte da ureia possa ter sido incorporada ao solo. Assim como nas demais adubações, o nitrato de amônio não promoveu picos de perdas de N-NH₃.

O pico máximo de perda diária com a aplicação do Polyblen Extend[®] foi ao terceiro dia. Os valores foram de 3,5 e 1,8 kg ha⁻¹ de N nos tratamentos Polyblen Extend[®]-100% e Polyblen Extend-70%, respectivamente. Isso mostra que mesmo com as precipitações dos primeiros três dias (36 milímetros), este Blend ainda está liberando N. A camada de S^o +

polímeros pode ter contribuído para atrasar o pico de perda de N-NH₃ em comparação a ureia e também evitou com que o fertilizante fosse totalmente incorporado pela água da chuva.

A perda acumulada de N-NH₃ (kg ha⁻¹ de N) por volatilização após 42 dias da terceira adubação do ano 2015/2016 com a ureia foi de 19,5 kg ha⁻¹ de N e de 0,4 kg ha⁻¹ de N com o nitrato de amônio. Os demais tratamentos não tiveram perdas por volatilização (FIGURA 9a).

Figura 9 - Perdas acumuladas (a) e diárias (b) de N, por volatilização pelos fertilizantes (ureia convencional, nitrato de amônio, Polyblen Extend[®] e Polyblen Montanha[®]), após 3^o aplicação do ano 2015/2016 no cafeeiro, juntamente com os dados climáticos (c).



O tratamento com Ureia convencional teve a máxima volatilização diária (13,6 kg ha⁻¹ de N) no primeiro dia após aplicação dos tratamentos (FIGURA 9b).

A precipitação acumulada 42 dias após a terceira adubação foi de 133 milímetros. No primeiro dia após a adubação não houve precipitação. No segundo e no terceiro dia após a adubação houve precipitação de 15,6 e 22,2 milímetros, respectivamente. Essa precipitação pode ter incorporado grande parte dos fertilizantes no solo e com isso reduzir as perdas por volatilização.

A umidade do solo foi de 17,8; 18,3 e 23,8% nos primeiros três dias. No mesmo período, a temperatura média do ar foi de 21,2° C e a do solo foi de: 22,5; 22,1 e 21,4 °C (FIGURA 9c). No primeiro (78,7%), segundo (89,0%) e terceiro (87,0%) dia a umidade relativa do ar se manteve acima da umidade relativa crítica para ureia, que é de 74,3% (MEESSEN; PETERSON, 2000). Segundo Meessen e Peterson (2000), com umidade relativa do ar acima de 74,3%, a ureia absorve a água da atmosfera e dá início ao processo de hidrólise e conseqüente volatilização de N na forma de amônia.

3.4 Perda total de N por Volatilização de amônia (Ano 2014/2015 e 2015/2016)

As perdas totais de N-NH₃ em cada ano (total das três adubações), primeiro ano (2014/2015) e segundo ano (2015/2016), juntamente com o total dos dois anos (total das seis adubações) foram influenciadas significativamente (p≤0,05) pelos fertilizantes nitrogenados aplicados em cobertura na cultura do café (TABELA 4).

Tabela 5 - Perdas de N por volatilização no primeiro ano (2014/2015), segundo ano (2015/2016) e perda acumulada nos dois anos após aplicação dos tratamentos.

Tratamentos	Perdas de N (kg ha ⁻¹ de N)		
	Ano		Total dos dois anos
	2014/2015	2015/2016	
Ureia	83,5 a	82,1 a	165,6 a
Nitrato de amônio	2,0 f	1,8 e	3,8 f
Polyblen Extend [®] -100%	60,5 b	53,7 b	114,2 b
Polyblen Extend [®] - 70%	35,1 d	28,4 c	63,5 d
Polyblen Montanha [®] - 100%	47,2 c	31,8 c	79,0 c
Polyblen Montanha [®] - 70%	24,4 e	19,3 d	43,6 e
Média	80,5	41,6	61,1
CV	5,2	3,8	2,8

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Skott Knott.

A perda acumulada de N-NH₃ em kg ha⁻¹, nas três adubações com os fertilizantes nitrogenados, no primeiro ano (2014/2015) seguiu a ordem decrescente: ureia (83,2 kg de N ha⁻¹) > Polyblen Extend[®] - 100% (60,3 kg de N ha⁻¹) > Polyblen Montanha[®] - 100% (46,8 kg de N ha⁻¹) > Polyblen Extend[®] - 70% (35,1 kg de N ha⁻¹) > Polyblen Montanha[®] - 70% (24,2 kg de N ha⁻¹) > nitrato de amônio (2,0 kg de N ha⁻¹).

No segundo ano (2015/2016), a perda acumulada de N-NH₃ em kg ha⁻¹ (total das três adubações) com os fertilizantes nitrogenados seguiu a ordem decrescente: Ureia (82,1 kg ha⁻¹ de N) > Polyblen Extend[®]-100% (53,7 kg ha⁻¹ de N) > Polyblen Montanha[®]-100% (31,8 kg ha⁻¹ de N) = Polyblen Extend[®]-70% (28,4 kg ha⁻¹ de N) > Polyblen Montanha[®]-70% (19,3 kg ha⁻¹ de N) > nitrato de amônio (1,8 kg ha⁻¹ de N).

Nos dois anos de avaliações, a ureia apresentou as maiores perdas. Essas perdas foram de 83,2 kg ha⁻¹ de N (18,5% do N aplicado) no primeiro ano (2014/2015) e de 82,1 kg ha⁻¹ de N no segundo ano (2015/2016) (18,5% do N aplicado). Nota-se que mesmo com condições climáticas diferentes, de um ano para o outro, tiveram valores bem próximos.

Já com o Polyblen Montanha[®] - 100% as perdas variaram de 47,2 kg de N ha⁻¹ (10,5 % do N aplicado) no ano agrícola 2014/2015 para 31,8 kg de N ha⁻¹ (6,8 % do N aplicado) no ano 2015/2016. Esses valores representam uma redução de 15,5 kg ha⁻¹ de N em perdas por volatilização com o mesmo fertilizante. Essa variação está associada a maior precipitação nos primeiros 42 dias após a aplicação do Polyblen Montanha[®] - 100% no ano 2014/2015 (335,4 mm) em comparação ao ano 2015/2016 (277mm). No ano 2014/2015 houve uma precipitação expressiva de 72 mm no sexto dia após a aplicação do Polyblen Montanha[®] - 100%. Essa maior precipitação pode ter contribuído para degradação do polímero e com isso aumento das perdas de N-NH₃.

Ao final dos dois anos de avaliações da adubação nitrogenada, a perda acumulada de N-NH₃ em kg ha⁻¹, seguiu a ordem decrescente: ureia (165,6 kg de N ha⁻¹) > Polyblen Extend[®] - 100% (114,2 kg de N ha⁻¹) > Polyblen Montanha[®] - 100% (79,0 kg de N ha⁻¹) > Polyblen Extend[®] - 70% (63,5 kg de N ha⁻¹) > Polyblen Montanha[®] - 70% (43,6 kg de N ha⁻¹) > nitrato de amônio (3,8 kg de N ha⁻¹).

Destaca-se a maior perda de N no tratamento com ureia convencional. A perda total acumulada de N-NH₃ com a aplicação da uréia em % de N aplicado foi de 18,3% (165,6 kg de N ha⁻¹), valor que se aproxima do reportado por Fenilli et al., (2007) que foi de 21% do N total aplicado na cultura do café. Os autores utilizaram a dose de 280 kg de N ha⁻¹, parcelada em quatro aplicações de 70 kg de N ha⁻¹. Já Dominghetti et al. (2016), reportaram perdas de

30% de N-NH₃ após aplicação de ureia no cafeeiro (Dose utilizada = 450 kg de N ha⁻¹ parcelada em três aplicações).

As menores perdas de N-NH₃ foram de 3,8 kg ha⁻¹ de N com a aplicação do nitrato de amônio. Esse valor corresponde a 0,4% do N total aplicado. Perdas de 1,0% do N total aplicado (450 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N) na forma nitrato de amônio foram reportados por Dominghetti et al. (2016). Segundo Cantarella (2007), o N na forma de nitrato de amônio (N amoniacal), aplicados em solos com pH inferior a 7,0 (maioria dos solos brasileiros) não favorecem o aumento do pH em torno do grânulo, e com isso não liberam N-NH₃.

A maior perda de N-NH₃ do Polyblen Extend[®] - 100% (dose aplicada: 450 kg de N ha⁻¹) em relação Polyblen Extend[®] - 70% (dose aplicada: 315 kg de N ha⁻¹) e do Polyblen Montanha[®] - 100% (dose aplicada: 450 kg de N ha⁻¹) quando comparado ao Polyblen Montanha[®] -70% (dose aplicada: 315 kg de N ha⁻¹) pode estar associada à maior concentração do fertilizante por área aplicada. Essa maior concentração do fertilizante por área de solo faz com que a urease atue mais intensamente na hidrólise da ureia (VITTI et al., 2007). Estudo que avaliou os parâmetros cinéticos da hidrólise da ureia em solos do sul de Minas Gerais mostrou aumento na taxa de hidrólise da ureia com incremento na concentração do fertilizante, porém não proporcional às doses de N aplicadas (SANTOS et al., 1991).

Na reação de hidrólise, há um consumo de H⁺ do meio, com isso, o pH do solo tende a se manter mais alto no local onde se concentra o fertilizante, o que favorece a volatilização de NH₃, principalmente com o incremento das doses de ureia (VITTI et al., 2007). Doses mais elevadas ou aplicações localizadas (maior concentração de fertilizante por área) tendem a resultar em maiores perdas de N-NH₃ (CANTARELLA, 2007).

Foram reportadas maiores taxas de volatilização de N-NH₃ na maior dose de N aplicada (180 kg de N ha⁻¹) quando comparado a menor dose de N (60 kg de N ha⁻¹) no Centro-Sul do Paraná. Esse aumento na volatilização de N-NH₃ não foi proporcional ao aumento da dose aplicada (ROJAS et al. 2012).

Os blends de ureia estabilizada com NBPT e revestida com S⁰ + polímeros (Polyblen Extend[®] e Polyblen Montanha[®]) promoveram redução na volatilização de amônia em comparação a ureia (sem revestimento). O revestimento com polímeros ocasionou uma diminuição do N volatilizado na forma de amônia por reduzir o contato do nutriente no interior do grânulo com a umidade do ar e do solo. Isso faz com que uma menor concentração de ureia seja hidrolisada de uma só vez, o que diminui o acúmulo de N-NH₄⁺ no solo, reduzindo assim o risco de formação de N-NH₃ (PENG et al., 2015).

A redução do contato do fertilizante com o solo e a atmosfera varia em função da espessura, tipo e qualidade do revestimento, assim como, em função das condições ambientais (temperatura e umidade). Desta forma, a maior espessura do revestimento do Polyblen Montanha[®] em comparação ao Polyblen Extend[®] (FIGURA 1) possibilita maior atraso na dissolução da ureia.

Conforme reportado Detrick et al. (2002) o recobrimento com S^0 deve ter espessura mínima de 40 μm ou 13 a 14 % de S^0 em relação ao peso da mistura da mistura final. Entretanto, devido à variação na distribuição do S^0 pulverizado na forma fundida para recobrimento da ureia os grânulos, ao final do processo de produção, os grânulos de ureia recoberta apresentaram variação na espessura: Fino (< 30 μm), Médio (30 e 50 μm) e Grosso (> 50 μm). Devido essa desuniformidade na espessura da camada de S^0 é necessária adição de um selante ou recobrimento para evitar liberação muito rápida de uma fração da ureia e muito lenta de outra fração com revestimento mais grosso. Esses autores ainda reportaram que diferentes compostos aplicados em proporções variadas promoveram diferença no tempo de liberação do N (temperatura padrão 30 °C): revestimento da ureia (2,4 mm de diâmetro) com 4% de polímeros = 4 a 6 semanas; 12% de polímeros = 12 a 18 semanas; 12% de S^0 = 2 semanas; 10 % de S^0 + 2% de polímeros = 6 semanas; 2% do polímero “a” + 8 % de S^0 + 2% polímero “b” = 14 - 16 semanas.

Além disso, os polímeros podem melhorar as características físicas dos fertilizantes recobertos com S^0 , pois promovem aumento na consistência, resistência à abrasão, atrito e impacto (tendência formação de pó), evitando o rompimento da camada de S^0 durante o manuseio da ureia revestida desde a sua produção até o momento da aplicação. As camadas de polímeros ou resinas também atuam como barreira a entrada de água no grânulo e, conseqüentemente na redução da sua higroscopicidade (CHEN et al., 2011).

3.5 Nitrogênio foliar e Índice Relativo de Clorofila

O teor de N foliar no início do experimento (Início - 2014/2015) não apresentou diferenças entre os tratamentos (TABELA 5)

Tabela 6 - Teor de N (dag kg^{-1}) foliar no início da adubação em cada ano (Início 2014/2015 e Início - 2015/2016), antes da colheita (Colheita- 2014/2015 e Colheita - 2015/2016) e índice relativo de clorofila (IRC) nos anos 2014/2015 e 2015/2016, após aplicação dos tratamentos com fertilizantes nitrogenados.

Tratamentos	Teor de N (dag kg^{-1})				Índice Relativo de Clorofila	
	N- Início 2014/2015	N-Colheita 2014/2015	N-Início 2015/2016	N-Colheita 2015/2016	IRC 2014/2015	IRC 2015/2016
Ureia	3,23 a	3,03 a	3,26 b	3,10 b	74,1 a	71,0 b
Nitrato de Amônio	3,33 a	3,10 a	3,97 a	3,70 a	75,3 a	80,2 a
Polyblen Extend [®] 100%	3,30 a	3,00 a	3,47 b	3,30 b	74,8 a	77,1 a
Polyblen Extend [®] 70%	3,20 a	3,13 a	3,20 b	3,13 b	73,3 a	72,0 b
Polyblen Montanha 100%	3,20 a	3,00 a	3,83 a	3,53 a	74,2 a	78,5 a
Polyblen Montanha 70%	3,16 a	3,00 a	3,40 b	3,16 b	73,3 a	72,7 b
Controle	3,07 a	2,57 b	2,7 c	2,40 c	58,7 b	63,6 c
Média Geral	3,21	2,98	3,40	3,19	72,0	73,6
CV (%)	3,91	6,30	5,01	3,80	5,23	4,12

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Skott Knott.

O valor médio do teor de N foliar antes da adubação no primeiro ano (N-Início 2014/2015) foi de $3,21 \text{ dag kg}^{-1}$. O teor de N foliar antes da colheita nos dois anos (N-Colheita 2014/2015 e Colheita 2015/2016), juntamente com IRC nos dois anos (IRC 2014/2015 e IRC 2015/2016) foram influenciados significativamente ($p \leq 0,05$) pelos fertilizantes nitrogenados aplicados em cobertura no cafeeiro.

No primeiro ano (2014/2015), os tratamentos com fertilizantes convencionais (Nitrato de amônio e Ureia) e Blends (Polyblen Extend[®] 70%, Polyblen Extend[®] 100%, Polyblen Montanha[®] 70%, Polyblen Montanha[®] 100%) promoveram maior teor de N foliar e IRC no momento da colheita quando comparado ao tratamento controle (TABELA 5).

Martins et al. (2014) avaliando o teor de N na folha do milho após a aplicação de ureia convencional e ureia revestida por polímeros também não encontraram diferenças entre as fontes. Os autores avaliaram diferentes condições, modos de aplicação e doses de N.

No controle o teor de N foliar (N-Início = $2,7 \text{ dag kg}^{-1}$) ficou abaixo do adequado recomendado por Malavolta et al. (1997). Segundo os autores, o teor adequado de N para cafeeiro em produção é entre 2,9 e $3,2 \text{ dag kg}^{-1}$. Os demais tratamentos tiveram teores de N folha dentro dos níveis adequados.

O menor valor de índice IRC no tratamento controle pode estar associado ao menor teor de N na folha. Segundo Godoy et al. (2008), o IRC reduz de forma linear com a redução das doses de N no cafeeiro. Os autores avaliaram no período entre o florescimento e a colheita. Os autores relatam que essa diferença de IRC aumenta no período de colheita.

Guimarães et al. (1999), avaliando o IRC em cultivo de tomate, com diferentes doses de N, observaram aumento linear do IRC com o aumento das doses de N. Esse aumento foi de 2,5 unidades a cada 100 kg ha^{-1} de N aplicado.

De acordo com Malavolta et al. (2004), o IRC baseia-se na correlação entre o teor de N na folha e o teor de clorofila. Torres Netto et al. (2005) e Reis et al. (2006) encontraram correlações positivas entre o teor clorofila e o teor de N na folha.

No segundo ano (2015/2016), os tratamentos com Nitrato de amônio e Polyblen Montanha[®] 100% promoveram maior teor de N foliar no início da adubação (Início - 2015/2016) e na colheita (Colheita- 2015/2016). Os menores valores de N foliar foram de $2,7 \text{ dag kg}^{-1}$ no início da adubação (Início-2015/2016) e de $2,4 \text{ dag kg}^{-1}$ no momento da colheita (Colheita- 2015/2016), ambos encontrados no tratamento controle.

O maior teor de N foliar no segundo ano (2015/2016) com aplicação de Nitrato de amônio e Polyblen Montanha[®] 100%, tanto no início da adubação (Início - 2015/2016), quanto na colheita (Colheita- 2015/2016) podem estar associados quantidade de N aplicado e as menores perdas por volatilização de N-NH_3 destas fontes (TABELA 4).

Bernardi et al. (2010), avaliando perdas por volatilização de N-NH_3 e teor de N foliar no milho após aplicação de diferentes fontes nitrogenadas também encontraram maior teor de N nos tratamentos com menores perdas por volatilização. Esses tratamentos foram os com aplicação de sulfato e nitrato de amônio e ureia incorporada a 5 cm de profundidade.

O teor de N com a aplicação de ureia foi de $3,26 \text{ dag kg}^{-1}$ no início da adubação (Início - 2015/2016) e de $3,10 \text{ dag kg}^{-1}$ na colheita (Colheita - 2015/2016). Verifica-se que mesmo com altas perdas por volatilização desta fonte ($165,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de N), o teor de N foliar manteve-se acima de $2,9 \text{ dag kg}^{-1}$, nível crítico recomendado por Malavolta et al. (1997).

Neste ano (2015/2016), os maiores valores de IRC foram encontrados com aplicação do Nitrato de amônio (80,2), Polyblen Montanha[®] 100% (78,5) e do Polyblen Extend[®] 100% (77,1). O menor valor de IRC foi de 63,6 no controle.

Nota-se que o tratamento com aplicação do Polyblen Extend[®] 100% mesmo não apresentando maior teor de N foliar, obteve maior valor de IRC, juntamente com o Nitrato de amônio e Polyblen Montanha[®] 100%. Isso pode estar associado ao valor de N na folha com o Polyblen Extend[®] 100%. Esse valor ($3,3 \text{ dag kg}^{-1}$), mesmo inferior aos valores encontrados nos tratamentos com Nitrato de amônio ($3,7 \text{ dag kg}^{-1}$) e Polyblen Montanha[®] 100% ($3,5 \text{ dag kg}^{-1}$), está dentro da faixa de consumo de luxo de N ($2,9$ e $3,2 \text{ g kg}^{-1}$) considerada por Malavolta et al., (1997). Segundo Godoy et al. (2008), a correlação entre o IRC e o teor de N pode deixar de ocorrer na faixa de consumo de luxo do N pela planta.

3.6 Produtividade, Rendimento e Renda

No primeiro ano (2014/2015), a produtividade não foi influenciada significativamente ($p \leq 0,05$) pelos fertilizantes nitrogenados aplicados em cobertura no cafeeiro (TABELA 7).

Tabela 7 - Produtividade (sacas ha^{-1}) no primeiro (2014/2015) e segundo ano (2015/2016), e média dos dois anos obtida após aplicação dos tratamentos com fertilizantes nitrogenados.

Tratamentos	Produtividade (sacas ha^{-1})		
	Ano		
	2014/2015	2015/2016	Média
Ureia	79,6 a	36,9 c	58,3 b
Nitrato de amônio	83,16 a	48,5 a	65,8 a
Polyblen Extend [®] - 100%	81,1 a	43,5 b	62,3 a
Polyblen Extend [®] - 70%	82,0 a	39,8 c	60,9 a
Polyblen Montanha [®] - 100%	78,9 a	49,8 a	64,3 a
Polyblen Montanha [®] - 70%	81,8 a	44,7 b	63,3 a
Controle	77,1 a	28,5 d	52,8 c
Média	80,5	41,6	61,1
CV	5,2	3,8	2,8

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Skott Knott.

A produtividade média foi de 80,5 sacas ha^{-1} . A não diferença entre os tratamentos com fertilizantes nitrogenados e o tratamento controle pode ser explicado pelos frutos já estarem em processo de formação no início da adubação nitrogenada (21/11/2014). Os frutos colhidos em junho de 2015 já estavam na fase de “chumbinho” no mês de novembro de 2014.

A produtividade no segundo ano (2015/2016) e a média dos dois anos (Ano 2014/2015 e 2015/2016) foi influenciada significativamente ($p \leq 0,05$) pelos fertilizantes nitrogenados aplicados no cafeeiro (TABELA 6). No segundo ano (2015/2016), a produtividade seguiu a seguinte ordem decrescente: Polyblen Montanha[®] - 100% (49,8 sacas ha^{-1}) = Nitrato de amônio (48,5 sacas ha^{-1}) > Polyblen Montanha[®] - 70% (44,7 sacas ha^{-1}) = Polyblen Extend[®] - 100% (43,5 sacas ha^{-1}) > Polyblen Extend[®] - 70% (39,8 sacas ha^{-1}) = Ureia (36,9 sacas ha^{-1}) > Controle (28,5 sacas ha^{-1}).

Os tratamentos que apresentaram as maiores produtividades (Polyblen Montanha[®] - 100% e Nitrato de amônio) foram os que tiveram maiores valores de teor de N foliar (TABELA 5). Miguel et al. (1983), citado Van Raij et al. (1996,) encontraram maiores produções de café arábica quando os teores de N na folha estiveram acima de 3,2 dag kg^{-1} . O

tratamento com menor produtividade foi o controle, que também apresentou o menor teor de N no ano 2015/2016 (teor de N = 2,4 dag kg⁻¹).

Segundo Mendonça (2016), o uso da análise química de N na folha baseia-se na premissa de que existe uma correlação positiva entre o suprimento do nutriente e sua concentração na planta, e que variações nessas concentrações se relacionam com variações na produtividade. Dessa forma, pode haver uma relação direta entre o estado nutricional e a produtividade da planta (MENDOÇA, 2016).

De acordo com Martinez et al. (2003), a amplitude das faixas críticas do N, no cafeeiro em produção, é de 2,9 a 3,8 dag kg⁻¹ para altas produtividades e de 2,4, a 3,1 dag kg⁻¹ para baixa produtividades. Os autores classificaram em três classes de produtividade: alta (mais de 1.800 kg/ha/ano de café beneficiado), média (de 900 a 1.800 kg/ha/ano de café beneficiado) e baixa (menos de 900 kg/ha/ano de café beneficiado). Segundo Matiello (1997), teor de N foliar abaixo de 3,0 dag kg⁻¹ já compromete a produtividade do cafeeiro.

A produtividade média dos dois anos (Ano 2014/2015 e 2015/2016) foi maior com os tratamentos: Nitrato de amônio (65,8 sacas ha⁻¹), Polyblen Montanha[®] - 100% (64,3 sacas ha⁻¹), Polyblen Montanha[®] - 70% (63,3 sacas ha⁻¹), Polyblen Extend[®] - 100% (62,3 sacas ha⁻¹) e com o Polyblen Extend[®] - 70% (60,9 sacas ha⁻¹). A produtividade média desses tratamentos foi de 63 sacas ha⁻¹. Essa produtividade foi superior em 8% em comparação a produtividade média obtida com aplicação da ureia (58,3 sacas ha⁻¹) e em 17% em quando comparado ao tratamento controle (52,8 sacas ha⁻¹).

Martins et al. (2014) ao avaliarem a produtividade do milho após a aplicação de ureia convencional e ureia revestida por polímeros em cobertura, não encontraram diferenças entre as fontes, quando aplicadas durante o período chuvoso. Porém, em outro cultivo, em que os fertilizantes foram aplicados sob uma condição de secagem após a aplicação dos fertilizantes, os autores encontraram maior produtividade de grãos com a aplicação da ureia revestida por polímeros, quando comparado a ureia convencional.

Noellsch et al. (2009) encontraram produtividade superior em 890 kg ha⁻¹ com a aplicação de Blends no milho (Ureia + NBPT e ureia revestida por polímeros) na relação 1:1, quando comparado a aplicação de ureia convencional. Tanto os Blends como a ureia convencional foram aplicados em cobertura.

Paiva et al. (2011), avaliando a aplicação de ureia revestida com enxofre e polímeros encontraram maior produtividade do cafeeiro em comparação ao uso de formulado com nitrogênio na análise de duas safras de forma distinta. No entanto, na média do biênio, também não foram encontradas diferenças significativas entre as fontes nitrogenadas.

O menor valor de produtividade média no controle é devido à falta de aplicação de N. O N desempenha papel primordial que garante o crescimento vegetativo, o florescimento e enchimento dos grãos (MARTINEZ; NEVES 2015). Segundo Mendonça (2016), a exigência nutricional de N no cafeeiro é bastante expressiva e aumenta durante a fase reprodutiva e produtiva.

A menor produtividade do tratamento com aplicação de ureia, quando comparado as demais fontes nitrogenadas está associado às maiores perdas por volatilização por esta fonte ($165,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de N). Em experimento com o cafeeiro, Fernandes e Fraga Júnior (2010) também encontraram menor produtividade com a ureia comum, quando comparada a produtividade com aplicação de nitrato de amônio e ureia revestida com polímero, ambos aplicados na dose de 300 kg ha^{-1} de N. Os autores avaliaram a produtividade em apenas um ano.

Apesar do N foliar no tratamento com Ureia, antes da colheita nos anos 2014/2015 ($3,03 \text{ dag kg}^{-1}$) e 2015/2016 ($3,10 \text{ dag kg}^{-1}$) está dentro do nível crítico (29 e 32 g kg^{-1}) proposto por Malavolta et al., (1997), o valor está próximo do considerado por Matiello (1997) como limite inferior ($3,0 \text{ dag kg}^{-1}$) para afetar a produtividade do cafeeiro.

Na média da produtividade dos dois anos, a aplicação do Polyblen Montanha[®] e do Polyblen Extend[®] em 70% da dose recomendada não diferiu da aplicação com 100% da dose de N. Avaliando a produtividade média do cafeeiro em cinco safras, Fagundes et al. (2015), encontraram maior produtividade com aplicação do Blend (ureia + NBPT e S⁰ + polímeros) em comparação ao formulado convencional (25-00-25) aplicando-se 25% a menos de N.

Os valores de rendimento (litros café da roça/saca de café beneficiado) apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) em cada ano (2015 e 2016) e na média dos dois anos após aplicação dos fertilizantes nitrogenados em cobertura no cafeeiro (TABELA 8).

Tabela 8 - Rendimento (litros café da roça/saca de café beneficiado) no primeiro (2014/2015) e segundo ano (2015/2016), e média dos dois anos obtida após aplicação dos fertilizantes nitrogenados em cobertura no cafeeiro.

Rendimento (litros café da roça/saca de café beneficiado)			
Tratamentos	Ano		Média
	2014/2015	2015/2016	
Ureia	527,4 a	534,8 b	531,2 a
Nitrato de amônio	505,3 b	514,4 d	509,8 b
Polyblen Extend [®] -100%	502,4 b	521,7 c	510,0 b
Polyblen Extend [®] - 70%	496,5 b	527,6 c	512,1 b
Polyblen Montanha [®] - 100%	507,2 b	510,7 d	508,9 b
Polyblen Montanha [®] - 70%	506,6 b	514,6 d	510,4 b
Controle	528,7 a	554,6 a	541,6 a
Média	510,6	525,5	518,0
CV	9,2	7,8	11,37

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Skott Knott.

No primeiro ano (2014/2015), os tratamentos com Nitrato de amônio (505,2 litros café da roça/saca de café beneficiado), Polyblen Extend[®] 100% (502,42 litros café da roça/saca de café beneficiado), Polyblen Extend[®] 70% (496,5 litros café da roça/saca de café beneficiado), Polyblen Montanha[®] 100% (507,2 litros café da roça/saca de café beneficiado) e Polyblen Montanha[®] 70% (506,6 litros café da roça/saca de café beneficiado) apresentaram menores valores de rendimento em comparação aos tratamentos com ureia (527,4 litros café da roça/saca de café beneficiado) e controle (528,7 litros café da roça/saca de café beneficiado).

O rendimento refere-se à quantidade em litros de café da roça para compor uma saca de 60 kg de café beneficiado (BONOMO et al., 2008). Nota-se que quanto menor o valor de rendimento, melhor é a eficiência do café da roça para compor uma saca de 60 kg de café beneficiado (ROTONDANO et al., 2005). Com isso, pode-se afirmar que os tratamentos controle e com aplicação de ureia tiveram menor eficiência em produzir café beneficiado em comparação aos demais tratamentos.

No segundo ano (2015/2016), os menores valores de rendimento foram com a aplicação do Nitrato de amônio (514,4 litros café da roça/saca de café beneficiado), Polyblen Montanha[®] 100% (510,7 litros café da roça/saca de café beneficiado) e Polyblen Montanha[®] 70% (514,6 litros café da roça/saca de café beneficiado). O maior valor foi no tratamento controle (554,6 litros café da roça/saca de café beneficiado).

Na média dos dois anos (Ano 2014/2015 e 2015/2016), o maior valor de rendimento foi encontrado no controle e com aplicação de ureia. O valor médio dos dois tratamentos foi de 536,4 litros café da roça/saca de café beneficiado. Os demais tratamentos tiveram valor

médio de rendimento igual a 510,2 litros café da roça/saca de café beneficiado e não diferiram entre si.

Nota-se que, para o tratamento controle e com aplicação de uréia (maior perda de N por volatilização), foi necessária maior quantidade de litros de café da roça para produzir uma saca de café beneficiado. Na média dos dois anos, os tratamentos controle e com aplicação de ureia precisaram de 5% a mais de café da roça para produzir uma saca de café beneficiado em comparação aos demais tratamentos.

O valor de rendimento está associado ao processo de maturação dos frutos, em que maior percentual de frutos nos estádios seco e passa no momento da colheita possibilitam maior eficiência de rendimento (MELO et al., 2005; LIMA et al., 2008). Uma maior uniformidade na floração acarreta em maior uniformidade de frutos cerejas e conseqüentemente pode melhorar a eficiência de rendimento do cafeeiro (LIMA et al., 2008).

Com isso, a maior quantidade necessária em litros de café da roça para compor uma saca de 60 kg de café beneficiado no controle e com aplicação de ureia pode estar associado a influência do N na planta. No tratamento controle não houve fornecimento de N e a ureia promoveu maior perda de N-NH₃ por volatilização em comparação aos demais fertilizantes.

Segundo Malavolta et al. (2002), o número de flores viáveis depende de vários fatores, entre os quais a destaca-se o estado nutricional do cafeeiro. De acordo com os autores, as exigências minerais das flores e dos frutos devem ser satisfeitas pelo fertilizante e pela mobilização de reservas dos órgãos de residência (como ramos, folhas e raízes). Os autores concluíram também que, a demanda de N na flor do cafeeiro varia de acordo com a cultivar, sendo superior nas do grupo Catuai em comparação as do Mundo Novo.

Os valores de Renda (litros em coco/saca de café beneficiado) não apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) no primeiro (2014/2015) e segundo ano (2015) e na média dos dois anos após a aplicação dos fertilizantes nitrogenados em cobertura no cafeeiro (TABELA 8).

Tabela 9 - Valores de Renda após aplicação dos em cada ano (2015 e 2016) e na média dos dois anos após aplicação dos fertilizantes nitrogenados em cobertura no cafeeiro.

Renda (litros em coco/saca de café beneficiado)			
Tratamentos	Ano		Média
	2014/2015	2015/2016	
Ureia	284,7 a	271,0 a	277,8 a
Nitrato de amônio	282,7 a	267,5 a	275,1 a
Polyblen Extend [®] -100%	271,3 a	274,7 a	273,0 a
Polyblen Extend [®] - 70%	284,6 a	277,9 a	281,2 a
Polyblen Montanha [®] - 100%	270,5 a	282,5 a	276,5 a
Polyblen Montanha [®] - 70%	280,2 a	270,7 a	275,5 a
Controle	281,7 a	277,3 a	279,5 a
Média	279,4	274,5	276,9
CV	6,3	8,4	6,1

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Skott Knott.

Os valores de Renda referem-se à quantidade em litros de café da roça para compor uma saca de 60 kg de café beneficiado. Os valores médios de Renda encontrados foram de 279,4; 274,5 e 276,9 litros em coco/saca de café beneficiado nos anos 2014/2015, 2015/2016 e na media dos dois anos, respectivamente. Esses valores são inferiores aos encontrados por Rotondano et al., (2005), que foi de 336 litros em coco/saca de café beneficiado, avaliando diferentes lâminas de irrigação no cafeeiro. Os autores não encontraram diferenças para renda após as diferentes lâminas de irrigação.

Costa et al. (2013), avaliando a renda do cafeeiro submetido à aplicação de vários fertilizantes minerais e aminoácidos via foliar, também não encontraram diferenças entre os tratamentos. Os autores encontraram valor médio de 118 litros em coco/saca de café beneficiado.

3.7 Índices de eficiência da adubação nitrogenada após os dois anos de cultivo

O índice de eficiência agronômica relativa (IEAR) e a eficiência agronômica (EA) foram influenciados significativamente ($p \leq 0,05$) pelos fertilizantes nitrogenados aplicados em cobertura no cafeeiro após os dois anos (2014/2015 e 2015/2016) de cultivo (TABELA 10).

Tabela 10 - Índice de eficiência agronômica relativa (IEAR) e eficiência agronômica (EA) após aplicação dos tratamentos com fertilizantes nitrogenados aplicados em cobertura no cafeeiro após os dois anos de cultivo.

	IEAR (%)	EA (kg de grãos/ kg de N)
Ureia	100,0 c	0,73 c
Nitrato de amônio	250,7 a	1,73 a
Polyblen Extend [®] -100%	177,8 b	1,27 b
Polyblen Extend [®] - 70%	158,0 b	1,54 a
Polyblen Montanha [®] - 100%	216,3 a	1,53 a
Polyblen Montanha [®] - 70%	193,5 b	1,99 a
Média	182,7	1,47
CV	20,5	19,3

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Skott Knott.

Os tratamentos com Nitrato de amônio e Polyblen Montanha[®] - 100% apresentaram maior valor de IEAR (233,5%). O menor valor de IEAR foi com a aplicação da ureia (100%).

Ainda são escassos os trabalhos que avaliam o IEAR e EA de fontes nitrogenadas para o cafeeiro. Em estudo realizado por Fontoura e Bayer (2009), em que avaliaram o IEAR para diferentes fontes de N, os autores encontraram valores de 104% para o nitrato de amônio e de 122% para a ureia + NBPT após aplicação em cobertura no milho. Zavaschi et al. (2014) avaliaram a aplicação de ureia com polímeros em cobertura no milho e encontraram IEAR de 92%.

Neste estudo, como citado, o Polyblen Montanha[®] - 100% e o nitrato de amônio apresentaram maior valor de IEAR. No entanto, vale destacar que a aplicação do N fornecido pelo Polyblen Montanha[®] foi em dose única, no começo da adubação de cada ano agrícola. Já a aplicação do nitrato de amônio foi parcelada em três vezes, totalizando seis parcelamentos nos dois anos de condução do experimento. Com isso, os resultados mostram que o Polyblen Montanha[®] promoveu mesmo IEAR que o nitrato de amônio ao final dos dois anos de condução do experimento com redução de quatro parcelamentos na adubação nitrogenada do cafeeiro.

Segundo Ke et al. (2017), a aplicação de fertilizantes de eficiência aumentada pode não necessitar de parcelamentos de doses, como recomenda-se para fertilizantes nitrogenados convencionais. E com isso, pode promover menor custo com mão de obra quando comparado a adubação nitrogenada com fertilizantes convencionais, como ureia e nitrato de amônio (AZEEM et al., 2014).

O uso de Blends, como o Polyblen Montanha[®], além de reduzir os custos do uso exclusivo de fertilizantes de liberação controlada, pode criar um ajuste da curva de liberação

do N com a demanda do nutriente pela cultura (TRENKEL, 2010). Segundo Noellsch et al. (2009), o fertilizante convencional (alta solubilidade em água) supre a demanda inicial de N pela cultura e a proporção de liberação controlada (revestida) disponibiliza o N durante o período de tempo mais prolongado.

Para EA, a aplicação de ureia promoveu o menor valor, que foi de 0,73 kg de grãos por kg de N aplicado. Os maiores valores de EA foram de 1,99; 1,76; 1,54 e 1,53 kg de grãos por kg de N aplicado nos tratamentos Polyblen Montanha[®] - 70%, Nitrato de amônio, Polyblen Extend[®] - 70% e Polyblen Montanha[®] - 100%, respectivamente.

Os resultados mostram que o N aplicado com Polyblen Montanha[®] - 70%, Nitrato de amônio, Polyblen Extend[®] - 70% e com Polyblen Montanha[®] - 100% apresentam eficiência agrônômica superior em 133% a ureia convencional.

Noellsch et al. (2009), avaliando a aplicação de Blends no milho (Ureia + NBPT e ureia revestida por polímeros) na relação 1:1, também encontraram maior eficiência de recuperação de N pelas plantas com a aplicação do “Blend”, sendo esta superior em 41% em comparação a ureia convencional.

O Polyblen Extend[®] promoveu maior valor de EA no tratamento com Polyblen Extend[®] - 70%, quando comparado ao Polyblen Extend[®]-100%, ou seja, utilizando 30% a menos de N. Segundo Dobermann (2007), o uso de menores doses de N pode possibilitar maior EA, quando comparado a aplicação de maiores doses.

O maior valor de EA encontrado com a aplicação do nitrato de amônio, que foi semelhante ao Polyblen Montanha[®] na dose 100% e 70% e também ao Polyblen Extend[®] - 70%, mesmo não apresentando liberação de N controlada, pode estar associado ao maior parcelamento das doses de N. Para o tratamento com nitrato de amônio houve maior parcelamento das doses (6 aplicações nos dois anos), quando comparado ao Polyblen Extend[®] (4 aplicações nos dois anos) e ao Polyblen Montanha[®] (2 aplicações nos dois anos).

Além do maior número de parcelamentos, outra desvantagem do nitrato de amônio em comparação ao uso dos Blends pode ser em relação ao custo por unidade de N. Segundo Raij (1991), o nitrato de amônio é um fertilizante que apresenta grande restrição quanto à produção, transporte e estocagem pelos agricultores, o que pode aumentar o custo por unidade de N em comparação aos demais fertilizantes nitrogenados.

4 CONCLUSÕES

Na média dos dois anos de avaliações, a ureia promoveu as maiores perdas por volatilização de $N-NH_3$ quando comparado com os demais fertilizantes nitrogenados aplicados no cafeeiro. O nitrato de amônio promoveu menor perda de N por volatilização. O Polyblen Extend[®] e o Polyblen Montanha[®] reduziram as perdas por volatilização em comparação a ureia. Dentre os Blends, o Polyblen Montanha[®] proporcionou menor perda de $N-NH_3$. O Polyblen Extend[®] e o Polyblen Montanha[®] não apresentaram diferenças para nitrogênio foliar e índice relativo de clorofila quando comparados a ureia, aplicando-se uma dose de N menor em 30%.

A aplicação de nitrato de amônio e dos Blends (Polyblen Extend[®] e Polyblen Montanha[®]) aumentaram a produtividade do cafeeiro em comparação a aplicação de ureia. O Polyblen Extend[®] e o Polyblen Montanha[®] promoveram a mesma produtividade aplicando 100 e 70% da dose recomendada.

O Nitrato de amônio e o Polyblen Montanha[®] - 100% apresentaram maior Índice de Eficiência agrônômica relativa. A ureia promoveu menor eficiência agrônômica entre os fertilizantes nitrogenados.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, C. et al. Macro- and micronutrient-release characteristics of three polymer-coated fertilizers: Theory and measurements. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 176, n. 1, p. 76-88, Feb. 2013.
- ALLEN, R.G. et al. **Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 318p.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS - ANDA. **Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes**. São Paulo, ANDA, 1987-2015.176p.
- AZEEM, B. et al. Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer. **Journal of Controlled Release**, 181:11-21, 2014.
- BERNARDI, A. D. C.; CARDOSO, R. ;OLIVEIRA, P. **Volatilização de amônia, produção de matéria seca e teores foliares de N do azevém adubado com fontes nitrogenadas**. Embrapa Pecuária Sudeste-Circular Técnica, 2010.
- BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 6. ed. Viçosa: UFV, 1995. 657p.
- BONOMO, R. et al. Produtividade de cafeeiros arábica irrigados no cerrado goiano. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.38, n.4, 2008.
- BRUNO, I.P. et al. Fertilizer nitrogen in fertigated Coffee crop: Absorption changes in plant compartments over time. **Field Crop Res.** 124:369-377, 2011.
- BUOI, S.W. et al. **Soil genesis and classification**, sixth ed. Wiley-Blackwell, Ames. 2011.
- CANTARELLA, H. A. et al. Ammonia volatilization from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 4, p. 397-401, jul./ago. 2008.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. p. 375-470. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V. V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2007. 1017p.
- CARELLI, M.L.C.; FAHL, J.I.; RAMALHO, J.D.C. Aspects of nitrogen metabolism in coffee plants. **Braz. J. Plant Physiol.** 18:9-21, 2006.
- CHEN, H.; WAN, L.; FAN, L.; XU, H.; CAO, H. **Water soluble alkyd resin-sulfur coate controlled release fertilizer and preparation thereof**.US Pat. 2011/0072871 A1, 2011.
- CHIEN, S. H., PROCHNOW, L. I., CANTARELLA, H. Recent developments of fertilizer production and use to increase nutrient efficiency and minimize environmental impacts. **Advances in Agronomy**, 102: 261-316, 2009.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. 1999. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação**. Viçosa, MG, Brasil.

- COSTA, R. A., et al. Produtividade e renda do cafeeiro submetido à aplicação de fertilizantes minerais e aminoácidos via foliar. **Enciclopédia Biosfera**. Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9,16; p. 2013.
- CREW, T.E.; PEOPLES, M.B. Can the synchrony of nitrogen supply and crop demand be improved in legume and fertilizer base agroecosystems? A review. **Nutrient Cycling in Agroecosystem**. v.72, p.101-120, 2005.
- DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**. v.31, p.1862-1866, 2007.
- DAWAR, K. et al. Urea hydrolysis and lateral and vertical movement in the soil: effects of urease inhibitor and irrigation. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 47, n. 2, p. 139-146, Feb. 2011.
- DETRICK, J.H.; HARGROVE, G.L. **Polymer-sulfur-polymer coated fertilizers**.US Pat. 6338746 B1, 2002.
- DOBERMANN, A. Nutrient use efficiency: measurement and management. **Fertilizer best management practices**. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2007. p. 1-28.
- DOMINGHETTI, A.W. et al. Nitrogen loss by volatilization of nitrogen fertilizers applied to coffee orchard. **Ciência & Agrotecnologia**, v.40, p.1-11, 2016.
- DU, C. et al. Prediction of nitrate release from polymer-coated fertilizers using an artificial neural network model. **Biosystems Engineering**, v.99, n.4, p. 478-486, 2008.
- DU, C.; ZHOU, J.; SHAVIV, A.: Release Characteristics of Nutrients from Polymer-coated Compound Controlled Release Fertilizers. **Journal of Polymers and Environment**, v.14, n.3, p. 223-230, 2006.
- ENGEL, R.; JONES, C.; WALLANDER, R. Ammonia Volatilization from Urea and Mitigation by NBPT following Surface Application to Cold Soils. **Nutrient Management & Soil & Plant Analysis**: v: 75: n. 6 Nov-Dec, 2011.
- FAGERIA, N.K.; SANTOS, A.B.; MORAES, M.F. Yield, Potassium Uptake, and Use Efficiency in Upland Rice Genotypes. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 41, n. 22, p. 2676-2684, 2010.
- FAGUNDES, A. V. et al. Adubação nitrogenada e potássica com fertilizantes de liberação controlada (Polyblen®) em cafeeiros *Coffea arabica* por cinco safras (2011/2012 a 2015/2016) no sul de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 41, 2015, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: CD-ROM.
- FAN, X.H., LI, Y.C. Nitrogen release from slow-release fertilizers as affect by soil type and temperature. **Soil Science Society American Journal**, V.74, n.5, p.1635-1641, 2010.
- FENILLI, T. A. B. et al. Volatilization of ammonia derived from fertilizer and its reabsorption by coffee plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, London, v. 38, n. 13/14, p. 1741-1751, July 2007.
- FERNANDES, A. L. T.; FRAGA JUNIOR, E. F. Doses de fontes nitrogenadas convencionais e nitrogênio polimerizado na produtividade e maturação do cafeeiro irrigado. **Faculdade de Agronomia e Zootecnia de Uberaba em Revista**, Uberaba, n. 7, p. 37-41, 2010.

FERNANDES, A.L.T.; SANTINATO, R.; FERNANDES, D.R. **Irrigação na cultura do café**. 2. ed. Uberaba: O Lutador, 2008. 476p.

FERNANDES, J.C. et al. Sources and rates of nitrogen fertilizer used in Mombasa guineagrass in the Brazilian Cerrado region. **African Journal of Agricultural Research**, vol. 10. p. 1031-1042. 2015.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.

FONTOURA, S.M.V.; BAYER, C. Adubação nitrogenada para alto rendimento de milho em plantio direto na região centro-sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1721-1732, 2009.

FUNJINUMA, R.; BALSTER, N.J.; NORMAN, J.M. Na improved model of nitrogen release for surface-applied urea controlled-released fertilizer. **Soil Science Society of American Journal**. 73: 2043-2050, 2009.

GODOY, L. J. G. et al. Relative chlorophyll index and nitrogen status of fertigated coffee plants during the crop season. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 32, p.217-226. 2008.

GRANT, C.A. et al. Crop yield and nitrogen concentration with controlled release urea and split applications of nitrogen as compared to non-coated urea applied at seeding. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 127, p. 170-180, 2012.

GUERTAL, E. A. Slow-release Nitrogen Fertilizers in Vegetable Production: A Review. v. 19, n. March, p. 19-22, 2009.

GUIMARÃES, P.T.G. et al. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª Aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG, 1999. p.289-302.

GUIMARÃES, T.G. et al. Teores de clorofila determinados por medidor portátil e sua relação com as formas de nitrogênio em folhas de tomateiro cultivado em dois tipos de solo. **Bragantia**, v.58, p.209-216, 1999.

HARGROVE, W.L. et al. Comparison of a forced-draft technique to ¹⁵N recovery for measuring ammonia volatilization under field conditions. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 51, p.124-128, 1987.

IFA. The International Fertilizer industry Association. **The global “4R” nutrient stewardship framework for developing and delivering fertilizer best management practices**, Paris, 2009. 10p.

JIN, Shuping et al. Preparation and properties of a degradable interpenetrating polymer networks based on starch with water retention, amelioration of soil, and slow release of nitrogen and phosphorus fertilizer. **Journal of applied Polymer Science**. v.128, p. 407-415, 2013.

KE, J. et al. Effects of different controlled-release nitrogen fertilisers on ammonia volatilisation, nitrogen use efficiency and yield of blanket-seedling machine-transplanted rice. **Field Crops Research**, v. 205, p.147-156, 2017.

KISSEL, D. E. et al. Rainfall timing and ammonia loss from urea in a loblolly pine plantation. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 68, n. 5, p. 1744-1750, Sept. 2004.

KRAJEWSKA, B. Ureasas I. functional, catalytic and kinetic properties: a review. **Journal of Molecular Catalysis**, Amsterdam, v. 59, n. 1/3, p. 9-21, July 2009.

LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDÖRFER, G.H.; MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da ureia por sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p. 481-487, 1997.

LARA-CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; BOARETTO, A.E. Efeito do tamanho do grânulo e relação N/S da ureia aplicada em superfície na volatilização de amônia sob diferentes umidades iniciais do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.409-4013, 1992.

LIANG, R.; LIU, M. Preparation and properties of a double-coated slow-release and water-retention urea fertilizer. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 54, n. 4, p. 1392-8, Feb. 2006.

LIMA, L. A. et al. Produtividade e rendimento do cafeeiro nas cinco primeiras safras irrigado por pivô central em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, n.6, 1832-1842. 2008.

MALAVOLTA, E. et al., Repartição de nutrientes nos ramos, folhas e flores decafeeiro. **Pesq. Agropec. Bras.**, 37:1017-1022. 2002.

MALAVOLTA, E. et al. Evaluation of nutritional status of the cotton plant with respect to nitrogen. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.35, p.1007-1019, 2004.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa do Fósforo, 1997. 319 p.

MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa: UFV. 2. ed, 2007. 358p.

MARTINEZ, H. E. P. et al. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 703-713, jun. 2003.

MARTINEZ, H. E. P.; NEVES, J. C. L. **Nutrição Mineral, Calagem, Gessagem e Adubação**. In: SAKIYAMA, N. S.; MARTINEZ, H. E. P.; TOMAZ, M. A.; BORÉM, A. (Eds.). *Café Arábica do Plantio a Colheita*, Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, p.64-103. 2015.

MARTINEZ, H. E. P.; NEVES, Y. P.; ZABINI, A. V. **Produção integrada do cafeeiro: diagnóstico do estado nutricional do cafeeiro**. In: ZAMBOLIM, L. (Ed). *Produção Integrada de Café*. Viçosa: UFV/DFP. p. 397-441. 2003.

MARTINEZ, H.E.P et al. Nutrição mineral do cafeeiro e qualidade da bebida. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 61, Suplemento, p. 838-848, nov/dez, 2014.

MARTINS, I. S.; CAZETTA, J. O.; FUKUDA, A. J. F. Condições, modos de aplicação e doses de ureia revestida por polímeros na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária**

Tropical, Goiânia, v. 44, n. 3, p. 271-279, Sep. 2014.

McINNES, K.J. et al. Field measurements of ammonia loss from surface applications of urea solution to bare soil. **Agron. J.**, 78: 192-196, 1986.

MEDINA, L. C. et al. Nitrogen Release Patterns of a Mixed Controlled-release Fertilizer and Its Components. **HortTechnology**, v. 5, n. September, p. 475-480, 2008.

MEESSEN, J.; PETERSEN, H. **Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry**. Weinheim: Wiley-VCH Verlag, 2000. 36 p.

MELO, B. et al. Desenvolvimento e produtividade de cultivares de cafeeiro submetido à irrigação em diferentes espaçamentos na linha de plantio: safra 2004. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 7., 2005, Araguari. **Anais...** Araguari: UFU, 2005. p. 54-56.

MENDOÇA, L.P. **Curvas de resposta potencial e faixas de suficiência nutricional para café arábica em Minas Gerais**. Viçosa, MG, 2016

MIGUEL, A.E. et al. Doses e parcelamentos de adubação nitrogenada e potássica para a formação e produção do cafeeiro em solo do cerrado In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 10., Poços de Caldas, 1983. **Anais**. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro do café, 1983. P.352-355.

MINOLTA. **Manual for chlorophyll meter SPAD-502**. Osaka, Minolta Radiometric Instruments Division, 1989. 22p.

NOELLSCH, A.J.; MONTOVALLI, P.P.; NELSON, K.A; KITCHEN, N.R. Corn response to conventional and slow-release nitrogen fertilizers across a clay plan landscape. **Agronomy Journal**, v.101, p.607-614, 2009.

NOELLSCH, A.J.; MONTOVALLI, P.P.; NELSON, K.A; KITCHEN, N.R. Corn response to conventional and slow-release nitrogen fertilizers across a clay plan landscape. **Agronomy Journal**, v.101, p. 607-614, 2009.

PAIVA, R. F. et al. Adubação de cafeeiros *Coffea arabica* em produção com fertilizantes de liberação lenta e controlada (Polyblen®) no Sul de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 38., 2011, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: Sbicafé, 2011. p. 120-121.

PENG, X. et al. Laboratory Evaluation of Ammonia Volatilization and Nitrate Leaching following Nitrogen Fertilizer Application on a Coarse-Textured Soil. **Agronomy Journal** v.107, 3, 2015.

PRASERTSAK, P. et al. Fate of urea nitrogen applied to a banana crop in the wet tropics of Queensland. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 59, n. 1, p. 65-73, Jan. 2001.

RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo: Agronômica Ceres, 1991. 343 p.

REIS, A.R. et al. Diagnóstico da exigência em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, v.65, p.163-171, 2006.

ROCHETTE P. et al. Ammonia volatilization and Nitrogen Retention: How deep to incorporate urea? **J Environ Qual**. v.42, p. 1635-42. 2014.

ROJAS, C.A.L et al. Volatilização de amônia da ureia alterada por sistemas de preparo de solo e plantas de cobertura invernais no centro-sul do Paraná. **R. Bras. Ci. Solo**. 36: 261-270. 2012.

ROTONDANO, A. K. F. et al. Desenvolvimento vegetativo, produção e qualidade dos grãos do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sob diferentes lâminas de irrigação. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 21, n. 1, p. 65-75, jan./abr. 2005.

ROY, A.H.; HAMMOND, L.L.. Challenges and opportunities for the fertilizer industry. p. 231-241. In A.R. Mosier et al. (ed.) **Agriculture and the nitrogen cycle**. Island Press, Washington, DC. 2004.

SANTOS, A.R.; VALLE, F.R. & SANTOS, J.A.G. Avaliação de parâmetros cinéticos da hidrólise da uréia em solos do Sul de Minas Gerais. **R. Bras. Ci. Solo**, 15:309-313, 1991.

SANTOS, H.G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

TIMILSENA, Y. P. et al. Enhanced efficiency fertilisers: a review of formulation and nutrient release patterns. **Journal of the science of food and agriculture**, n. February 2014, Jul. 2014.

TORRES NETO, A.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J.G. & BRESSAN SMITH, R.E. Photosynthetic pigments nitrogen, chlorophyll fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Sci. Hortic.**, 104:199-209, 2005.

TRENKEL, M. **Slow- and controlled-release and stabilized fertilizers**: an option for enhancing nutrient efficiency in agriculture. 2nd ed. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2010. 163 p.

VAN RAIJ, B. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1996. 285 p.

VIEIRA, G.H.S et al., Custo da irrigação do cafeeiro em diferentes tipos de equipamento e tamanhos de área, **Engenharia na agricultura**, viçosa - mg, v.19 n.1, 2011.

VITTI, A.C. et al. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada à localização de adubos nitrogenados aplicados sobre os resíduos culturais em canavial sem queima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:491-498, 2007.

ZAVASCHI, E. *et al.* Ammonia volatilization and yield components after application of polymer-coated urea to maize. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1200-1206, 2014.

**ARTIGO 3 - PARÂMETROS DE QUALIDADE DE GRÃOS DE CAFÉ APÓS
APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS E “BLENDS”**

**Artigo redigido conforme a NBR 6022 (ABNT, 2003) e formatado de acordo com o
Manual da UFLA de apresentação de teses e dissertações.**

RESUMO

A ureia é o fertilizante nitrogenado mais aplicado em lavoura cafeeira, porém grande parte do N aplicado é perdido por volatilização. Visando minimizar estas perdas, novas tecnologias têm sido desenvolvidas, entre elas destacam-se os fertilizantes estabilizados e de liberação controlada. O nitrogênio influencia na composição química dos grãos de café principalmente nos teores de cafeína e compostos fenólicos. Neste sentido, foi conduzido um experimento com a cultura do café com o objetivo de avaliar a influência da aplicação de fertilizantes convencionais e “blends” na granulometria e composição química do café. O experimento foi conduzido em uma lavoura comercial de café localizada no município de Lavras-MG nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016. Para aplicação dos tratamentos, adotou-se 100% da dose recomendada = 450 kg de N ha⁻¹ e 70% da dose recomendada = a 315 kg N ha⁻¹. O delineamento foi em blocos casualizados com sete tratamentos, Ureia convencional, Nitrato de Amônio, Polyblen Extend[®] aplicando-se 100% da dose recomendada (Polyblen Extend[®]-100%), Polyblen Extend[®] aplicando-se 70% da dose recomendada (Polyblen Extend[®]-70%), Polyblen Montanha[®] aplicando-se 100% da dose recomendada (Polyblen Montanha[®]-100%), Polyblen Montanha[®] aplicando-se 70% da dose recomendada (Polyblen Montanha[®]-70%) e um tratamento controle, com três repetições. Foram avaliados os seguintes parâmetros: Classificação por peneira e compostos químicos dos grãos de café (cafeína, proteína, açúcares totais, polifenóis, acidez titulável total, pH, lixiviação de potássio e condutividade elétrica). No primeiro ano (2015), a adubação nitrogenada não promoveu diferenças nos parâmetros físicos e químicos de qualidade dos grãos de café. Apenas o teor de Compostos Fenólicos foi menor no tratamento controle. No segundo ano (2016), os tratamentos com nitrato de amônio, Polyblen Montanha[®] 100% e Polyblen Montanha[®] 70% promoveram maior percentual de grãos chato graúdo. O maior teor de proteína nos grãos de café foi encontrado com a aplicação do nitrato de amônio e com o Polyblen Montanha 100%. Os teores de açúcares totais e compostos Fenólicos foram menores no tratamento controle. Já condutividade elétrica e a lixiviação de potássio obtiveram menores valores com aplicação dos fertilizantes nitrogenados. O nitrato de amônio e o Polyblen Montanha[®] 100% promoveram maior acúmulo de N, cafeína, proteína, açúcares totais e compostos fenólicos nos grãos de café. Na média dos dois anos (2015-2016), os tratamentos com nitrato de amônio, Polyblen Montanha[®] 100% e Polyblen Montanha[®] 70% promoveram maior percentual de grãos chato graúdo. O teor de N, proteína, açúcares totais, compostos fenólicos aumentaram com a aplicação dos fertilizantes nitrogenados em comparação tratamento controle. A adubação nitrogenada não promoveu alteração no teor de cafeína. O acúmulo total (2015 e 2016) de N, proteína e compostos fenólicos foram maiores com a aplicação dos fertilizantes nitrogenados, quando comparados aos valores do tratamento controle. O nitrato de amônio, Polyblen Extend[®] 100%, Polyblen Montanha[®] 70% e Polyblen Montanha[®] 100% promoveram maior acúmulo total de cafeína. O nitrato de amônio e o Polyblen Montanha[®] 100% promoveram maior acúmulo de açúcares totais no total dos dois anos.

Palavras-chave: Cafeiro. Parâmetros químicos. Adubação nitrogenada.

QUALITY PARAMETERS OF COFFEE GRAINS AFTER APPLICATION OF NITROGEN FERTILIZERS AND 'BLENDS'

SUMMARY

A ureia Urea is the nitrogen fertilizer more applied in coffee crop, however, much of the N applied is lost by volatilization. In order to minimize these losses, new technologies have been developed, among them stands out the stabilized and controlled release fertilizers. Nitrogen influences in the chemical composition of coffee grains mainly in the caffeine contents and phenolic compounds. At this way, it was conducted an experiment in a coffee crop with the aim of to assess the influence of the application of conventional fertilizers and 'blends' in the granulometry and chemical composition of coffee. The experiment was conducted in a commercial coffee crop located in the city of Lavras - MG in the growing season of 2014/2015 and 2015/2016. For the application of the treatments, it was considered 100% of the recommended dose = 450 Kg of N ha⁻¹ and 70% of the recommended dose = 315 Kg N ha⁻¹. The design was randomized complete blocks with seven treatments, Conventional urea, ammonium nitrate, Polyblen Extend[®] applying 100% of the recommended dose (Polyblen Extend[®]-100%), Polyblen Extend[®] applying 70% of the recommended dose (Polyblen Extend[®]-70%), PolyblenMontanha[®] applying 100% of the recommended dose (Polyblen Montanha[®]-100%), PolyblenMontanha[®] applying 70% of the recommended dose (Polyblen Montanha[®]-70%) and a control treatment, with three repetitions. It was evaluated the following parameters: Classification by sieve and chemical compounds of coffee grains (caffeine, protein, total sugars, polyphenols, total titratable acidity, pH, potassium leaching and electrical conductivity). In the first year (2015), the nitrogen fertilization did not promote differences in the physical and chemical parameters of quality of the coffee grains. Only the content of phenolic compound was lower in the control treatment. In the second year (2016), treatments with ammonium nitrate, PolyblenMontanha 100% and PolyblenMontanha 70% promoted higher percentage of big flat grains. The higher content of protein in the coffee grains was found with the application of ammonium nitrate and PolyblenMontanha 100%. Total sugar content and phenolic compounds were lower in the control treatment. Electrical conductivity and potassium leaching had lower values with application of nitrogen fertilizers. Ammonium nitrate and PolyblenMontanha 100% promoted higher accumulation of N, caffeine, protein, total sugar and phenolic compounds in the coffee grains. On the average of two years (2015-2016), treatments with ammonium nitrate, PolyblenMontanha 100% and PolyblenMontanha 70% promoted higher percentage of big flat grains. N content, protein, total sugar and phenolic compounds increased with application of nitrogen fertilizers in comparison to control treatment. The nitrogen fertilization did not promote changes in the caffeine content. The total accumulation (2015 and 2016) of N, protein and phenolic compounds were higher with application of the nitrogen fertilizers, when compared to values of the control treatment. Ammonium nitrate, Polyblen Extend[®] 100%, PolyblenMontanha 70% and PolyblenMontanha 100% promoted higher total accumulation of caffeine. Ammonium nitrate and PolyblenMontanha 100% promoted higher accumulation of total sugar in the total of two years.

Keywords: Coffee crop. Chemical parameters. Nitrogen fertilization.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de café, em 2016 produziu 51,46 milhões de sacas beneficiadas, estima-se que em 2017 a produção será em torno de 43 à 47 milhões de sacas, esta queda é devida à bialidade negativa. O país também é o maior exportador mundial e alcançou a marca de 31,97 milhões de sacas exportadas em 2016, representando 6,44% das exportações do agronegócio brasileiro (CONAB, 2017). Além disso, o Brasil é o segundo maior consumidor de café no mundo, em 2015 foram consumidos 20,5 milhões de sacas, sendo o consumo per capita 4,90 kg de café torrado ou 6,12 kg de café verde em grão, por habitante ao ano (ABIC, 2015).

A adubação do solo e a nutrição das plantas podem afetar o tamanho do grão e a composição química do fruto de café. Dentre os nutrientes mais utilizados na cafeicultura, o nitrogênio destaca-se como o mais exigido pela planta (BORGES et al., 1999).

As grandes perdas de nitrogênio por volatilização aumentaram as buscas por alternativas que melhorem a eficiência do fertilizante nitrogenado no sistema solo-planta-atmosfera (CHAGAS et al. 2016). Neste sentido, destaca-se a utilização de fertilizantes de liberação lenta ou controlada, que consiste em um nutriente recoberto ou encapsulado por substâncias que o liberem gradativamente, ou possuem aditivos que inibem alguma etapa de transformação do N no solo (TRENKEL, 2010).

A composição química dos grãos de café pode sofrer influência de fatores genéticos ambientais ou culturais e no método de colheita. Já na pós-colheita, podem afetar sua composição o processamento, armazenamento, torra e moagem que interferem diretamente na qualidade da bebida (MENDONÇA et al., 2005). Segundo MARTINEZ et al. (2015), a adubação nitrogenada pode influenciar tanto na produção quanto na composição química do grão de café, interferindo assim na qualidade da bebida.

Spiller (1998), relata que a aplicação de fertilizantes nitrogenados pode aumentar o teor de cafeína em até 40%. Malta et al. (2003), avaliaram o teor de cafeína nos grãos de café após a adubação nitrogenada e encontraram maior teor com o o incremento nas doses de N. Os autores também observaram que os teores de açúcares totais aumentavam de forma quadrática com o aumento das doses de nitrogênio, onde os valores máximos foram encontrados na dose de 173 kg ha⁻¹ de N e 234 kg ha⁻¹ de N com aplicação de sulfato de amônio e calcionamida respectivamente.

Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar os parâmetros físicos (granulometria) e químicos da qualidade de grãos de café após a aplicação de fertilizantes nitrogenados no cafeeiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma lavoura comercial de café (*Coffea arabica*), cultivar catuaí, localizada no município de Lavras- MG, nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016. Entre agosto de 2014 a agosto de 2016, em uma lavoura de café comercial, em Lavras, Minas Gerais.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico, equivalente a um Oxisol na US Soil Taxonomy Classification System (BUOL et al., 2011; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA EMBRAPA, 2013).

Antes de iniciar o experimento, foram coletadas amostras de solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade, antes da aplicação dos tratamentos. Para preparo das análises, as amostras de solo foram passadas em peneiras de 4 mm e secas ao ar. Posteriormente, o solo foi passado em peneira de 2 mm e retiradas sub-amostras para análise química e física de acordo com a metodologia da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais-CFSEMG (1999) (TABELA 1).

Tabela 1 - Análise química e física do LV da área experimental na camada de 0 a 20 cm.

pH	M.O.	P-rem	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	(H+Al)	SB	V
(H ₂ O)	dag/kg	mg/L	-- mg/dm ³ --		----- cmol _c /dm ³ -----					%
6,6	3,2	12,5	5,5	110,0	3,8	1,4	0,0	1,6	5,5	76,8
m	t	T	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Argila	Silte	Areia
%	-- cmol _c /dm ³ --			----- mg/dm ³ -----				----- % -----		
0,0	5,5	7,1	0,3	2,0	24,0	8,8	4,8	55	21	24

P, K, Fe, Zn, Mn, Cu - Extrator Mehlich 1; Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; B - Extrator água quente; P-rem = Fósforo Remanescente

O clima, de acordo com o sistema de classificação Köppen, é classificado como Cwa, com inverno seco e verão chuvoso, com precipitação média anual de cerca de 1530 milímetros e a temperatura média anual de 19,4 ° C (DANTAS, CARVALHO, FERREIRA 2007).

Para aplicação dos tratamentos, adotou-se 100% da dose recomendada = 450 kg de N ha⁻¹ e 70% da dose recomendada = a 315 kg N ha⁻¹ (CFSEMG, 1999). O delineamento foi em blocos casualizados com sete tratamentos: Ureia convencional, nitrato de amônio, Polyblen Extend[®] aplicando-se 100% da dose recomendada (Polyblen Extend[®]-100%), Polyblen Extend[®] aplicando-se 70% da dose recomendada (Polyblen Extend[®]-70%), Polyblen

Montanha[®] aplicando-se 100% da dose recomendada (Polyblen Montanha[®]-100%), Polyblen Montanha[®] aplicando-se 70% da dose recomendada (Polyblen Montanha[®]-70%) e um tratamento controle, com três repetições. As parcelas experimentais foram compostas por 12 plantas.

Em cada ano agrícola (2014/2015 e 2015/2016) os tratamentos com ureia convencional e nitrato de amônio, a dose recomendada foi dividida em três aplicações conforme recomendado para a cultura do café, com intervalo de 50 dias entre cada adubação. Para os tratamentos: Polyblen Extend[®] (100% da dose recomendada) e Polyblen Extend[®] (70% da dose recomendada) dividiram-se em duas aplicações, sendo 70% do N aplicados na primeira adubação e os 30% de N restantes, aplicados na segunda adubação. Já para os tratamentos Polyblen Montanha[®] (100% da dose recomendada) e Polyblen Montanha[®] (70% da dose recomendada), não houve parcelamento da adubação, sendo todo o N aplicado em dose única no início da adubação de cada ano agrícola (2014/2015 e 2015/2016).

As adubações nos dois anos agrícolas foram realizadas nas seguintes datas (TABELA 2):

Tabela 2 - Datas das três adubações em cada ano de condução do experimento.

Ano 1 (2014/2015)		
1º Adubação 22/11/2014	2º Adubação 12/01/2015	3º Adubação 03/03/15
Ano 2 (2015/2016)		
1º Adubação 21/11/2015	2º Adubação 11/01/2016	3º Adubação 02/03/16

Fonte: Dados do autor

Em cada ano agrícola, como adubação de manutenção, aplicou-se 300 kg ha⁻¹ de K₂O e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, utilizando como fontes o cloreto de potássio (60% K₂O) e o superfosfato triplo (46 % de P₂O₅). Adubação com potássio foi parcelada em três aplicações. Os micronutrientes, boro, zinco e cobre foram aplicados via foliar.

Na colheita, os frutos foram coletados manualmente após derriça no pano. Posteriormente foram secados de forma convencional em terreiro de cimento com revolvimentos ao longo do período para secagem uniforme, até os grãos atingirem umidade o intervalo de 11 a 13%, não excedendo o limite de 12,5% (BRASIL, 2003).

Posteriormente os grãos foram beneficiados e realizou-se a classificação por peneira. Pesou-se 100g de grãos de café, que foram colocados sobre um jogo de peneiras dispostas em

ordem decrescente de 19 a 9 para grãos chato e mocas (BRASIL, 2003). Classificaram-se os grãos chatos em: chato graúdo (peneiras 17, 18 e 19), chato médio (peneiras 15 e 16) e chato miúdo (peneiras 14 e menores) e grão moca. Em seguida, realizou-se a pesagem dos grãos retirados de cada peneira. Os resultados foram expressos em porcentagem.

Posteriormente os grãos foram beneficiados e encaminhados para análises químicas no Laboratório de Qualidade de Café Dr. Alcides Carvalho - EPAMIG, em Lavras-MG. As amostras de grãos foram moídas por cerca de um minuto em moinho analítico A11, marca IKA. Após a moagem das amostras, as mesmas foram armazenadas em embalagens plásticas e condicionados em freezer à temperatura aproximada de -18°C , até realização das análises.

A determinação do teor de N nos grãos foi realizada pelo método de Kjeldahl, (BREMNER, 1965). Para a determinação da cafeína nos grãos de café, utilizou-se a metodologia de Li et al (1990). Os resultados foram expressos em porcentagem. O teor de proteína foi determinado conforme os procedimentos da ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC.

Os açúcares totais foram determinados pelo método de Antrona, conforme procedimento descrito por Disch (1962). O extrato foi obtido a partir de 5 g de amostra com volume completado para 50 mL com álcool etílico 95%. Essa solução foi fervida por 30 minutos em chapa elétrica e mantida em repouso por 12 horas. Após o repouso, o extrato foi filtrado e o resíduo lavado com 50 mL de álcool etílico 95%. O sobrenadante foi evaporado em chapa elétrica até atingir aproximadamente 5mL, que foi completado para 50 mL com água destilada. Em tubos de ensaio, 1mL dos extratos diluídos foram pipetados juntamente com 2 mL de antrona (9,10-dihidro-9-oxoantraceno). Os tubos foram fervidos por 8 minutos. Após esfriar à temperatura ambiente, as leituras foram realizadas em espectrofotômetro UV-Vis (Shimadzu) a 620 nm e os resultados foram expressos em porcentagem (%) de açúcar total.

Para determinação dos compostos fenólicos totais, pesou-se 2,0g de amostra e utilizou-se como extrator 50mL de metanol 50% e aquecendo filtrando três vezes e secando a solução próxima a 5 mL. Identificou-se os compostos fenólicos pelo método de Folin Denis, descrito pela (AOAC,1990). Os resultados foram obtidos em porcentagem.

Para a determinação da acidez titulável total pesou-se 2g de amostra e adicionou-se 50mL de água destilada. Foi agitado em agitador orbital durante 1 hora e em seguida filtrado. Retirou-se uma alíquota de 5mL da solução filtrada e adicionou-se junto a um erlenmeyer 50mL de água destilada e fenolftaleína (1%), titulando com NaOH 0,1N segundo metodologia

AOAC (1990) adaptada para café por Carvalho et al.(1994). Os resultados foram expressos em mL de NaOH por 100g de amostra.

O pH foi determinado pelo método descrito pela AOAC (1990). Pesou-se de 2g de amostra e adicionou-se 50 mL de água destilada. Agitou-se em agitador orbital por 1 hora. Em seguida filtrou-se e fez-se a leitura utilizando peagâmetro DIGIMED-DMPH-2.

Para a determinação da condutividade elétrica foram separados 50 grãos de café aleatoriamente. Imergiram-se estes grãos em 75mL de água destilada em copos de plástico. Após o período de 5 horas de embebição, foram realizadas as leituras de condutividade elétrica em condutímetro (Digimed) segundo metodologia de Loeffleret al (1988) adaptada por Prete (1992). Os resultados foram expressos em $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$ de amostra.

Após a leitura de condutividade elétrica, retirou-se uma alíquota e as soluções foram submetidas à determinação da quantidade de potássio lixiviado através de leitura feita em fotômetro de chama Digimed DM-61 conforme metodologia de Prete (1992). Os resultados foram expresso em ppm.

Após a determinação de todos os parâmetros, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Skott Knott ($\alpha = 0,05$). A ANOVA foi realizada após a verificação da normalidade (Shapiro-Wilk'stest) e homogeneidade de variância (Teste de Bartlett) dos dados. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa de análise estatística SISVAR 5.3[®] (FERREIRA, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Parâmetros físicos dos grãos de café

A classificação por peneira (Grão chato graúdo, grão chato médio, grão chato miúdo e grão moca) no primeiro ano (2015) não apresentou diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos com fertilizantes nitrogenados aplicados em cobertura na cultura do café (TABELA 3).

Tabela 3 - Valores de classificação por peneira (%) de grãos de café após aplicação dos tratamentos com fertilizantes nitrogenados nos anos 2015 e 2016.

Tratamentos	Classificação de grãos de café por peneira (%)			
	Chato graúdo	Chato médio	Chato pequeno	Moca
Ano 2015				
Controle	7,02 a	52,54 a	14,57 a	24,79 a
Ureia	9,43 a	47,90 a	15,83 a	25,25 a
Nitrato de Amônio	14,21 a	52,67 a	9,72 a	22,62 a
Polyblen Extend® 70%	10,99 a	52,93 a	13,82 a	21,27 a
Polyblen Extend® 100%	10,50 a	49,87 a	10,65 a	27,15 a
Polyblen Montanha® 70%	12,16 a	56,80 a	11,20 a	18,97 a
Polyblen Montanha® 100%	11,56 a	53,84 a	10,65 a	23,70 a
CV (%)	30,62	6,11	34,65	16,69
Ano 2016				
Controle	5,67 b	35,56 b	28,91 a	28,84 a
Ureia	8,87 b	46,62 a	18,89 b	23,92 a
Nitrato de Amônio	14,66 a	49,59 a	14,60 c	20,42 a
Polyblen Extend® 70%	10,23 b	48,98 a	14,14 c	25,04 a
Polyblen Extend® 100%	8,40 b	49,32 a	12,51 c	28,41 a
Polyblen Montanha® 70%	13,01 a	53,60 a	10,83 c	21,42 a
Polyblen Montanha® 100%	15,48 a	43,55 a	14,19 c	24,92 a
CV (%)	16,31	9,01	15,25	12,27
Média				
Controle	6,37 b	44,0 c	21,7 a	26,8 a
Ureia	9,13 b	47,3 c	17,4 a	24,6 a
Nitrato de Amônio	14,4 a	51,1 b	12,1 b	21,5 a
Polyblen Extend® 70%	10,2 b	50,9 b	13,9 b	23,1 a
Polyblen Extend® 100%	9,47 b	49,6 b	11,9 b	27,8 a
Polyblen Montanha® 70%	12,6 a	55,2 a	11,0 b	20,2 a
Polyblen Montanha® 100%	13,5 a	47,3 c	13,9 b	24,3 a
CV (%)	19,59	4,20	17,73	11,09

As letras iguais não diferem entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade.

Os valores médios em porcentagem foram de 10,8; 52,35 e 12,3 % de grão chato graúdo, grão chato médio e grão chato pequeno, respectivamente. A porcentagem de grão moca foi de 23%. Observou-se que o maior percentual em todos os tratamentos foi de grãos chatos médios.

No ano segundo ano (2016) e na média dois anos (2015-2016) houveram diferenças significativas ($p < 0,05$) para classificação por peneira, em grão chato graúdo, grão chato médio e grão chato pequeno entre os tratamentos com fertilizantes nitrogenados aplicados em cobertura na cultura do café (TABELA 3). A porcentagem de grão moca, assim como na média dos dois anos, também não apresentou diferença significativa entre os tratamentos.

No segundo ano (2016) e na média dos dois anos (2015-2016), os maiores valores de grão chato graúdo foram com aplicação do Polyblen Montanha[®] 100%, Nitrato de Amônio e Polyblen Montanha[®] 70%. Os tratamentos com aplicação de ureia e Polyblen Extend[®] diferiram do tratamento controle.

No segundo ano, os maiores valores foram de 15,5, 14,7 e 13,0% com aplicação do Polyblen Montanha[®] 100%, Nitrato de Amônio e do Polyblen Montanha[®] 70%, respectivamente. Na média dos dois anos, os maiores valores de grão chato graúdo foram de 14,4; 13,5 e 12,6% nos tratamentos com Nitrato de Amônio, Polyblen Montanha[®] 100% e Polyblen Montanha[®] 70%.

Os resultados encontrados na safra 2015/2016 e na média dois anos (2014/2015 e 2015/2016) podem estar associados à falta de aplicação de N no tratamento controle e as perdas de N-NH₃ por volatilização pelas demais fontes nitrogenadas.

Dominghetti et al. (2016) avaliando perdas de N por volatilização após aplicação de fertilizantes nitrogenados encontraram perdas de 31% do N aplicado no tratamento com ureia convencional. Já com o nitrato de amônio as perdas foram de 1% do N aplicado. Segundo Chagas et al. (2016), o Nitrato de amônio e Polyblen Montanha[®] promovem menor perda de N-NH₃ em comparação a ureia e ao Polyblen Extend[®] (CHAGAS et al., 2016).

Laviola et al. (2006) relata que a dose de N influencia no tamanho dos grãos de café. Os autores encontraram maiores percentuais de grãos chato graúdo para cultivar catuaí, com aplicação da dose adequada de N para a lavoura. Os autores utilizaram três doses de N: dose recomendada para a lavoura em produção, 0,4 e 1,4 vezes a dose recomendada. A maior produtividade foi encontrada com a aplicação da maior dose nitrogenada ao final de três safras.

Com relação a porcentagem de grãos chatos médios no segundo ano, somente o tratamento controle diferiu do restante dos tratamentos e proporcionou o menor percentual

(35,56%). Na média dos dois anos, o tratamento com Polyblen Montanha[®] 70% promoveu maior percentual (55,2%).

Já para grãos chatos pequenos, o tratamento controle apresentou maior percentual (28,91%) no ano 2016. Na média dos dois anos, tratamento com ureia (18,89%) e controle promoveram a maior porcentagem de grãos pequenos, os demais tratamentos não apresentam diferença significativa.

A classificação dos cafés por peneiras é importante por indicar maior uniformidade dos grãos quanto à coloração e também presença de defeitos (NASSER et al., 2001; LOPES et al., 2003). Segundo Matiello et al. (2002) a classificação por peneira possibilita uma torração mais uniforme, pois no processo de torração, os grãos maiores são torrados lentamente, enquanto os menores torram rapidamente e podem ficar carbonizados.

3.2 Parâmetros químicos dos grãos de café

O teor de nitrogênio (N) e porcentagem de cafeína (%) nos grãos de café no ano de 2015 não foi influenciado significativamente ($P < 0,05$) após aplicação dos tratamentos com fertilizantes nitrogenados (TABELA 4).

Tabela 4 - Teor de N, Porcentagem de Cafeína (%) e de Proteína (%) nos grãos de café após aplicação de fertilizantes nitrogenados nos anos 2015, 2016 e a média dos dois anos.

Tratamentos	N (dag kg ⁻¹)			Cafeína (%)			Proteína (%)		
	2015	2016	Média	2015	2016	Média	2015	2016	Média
Controle	1,68 a	1,40 d	1,54 b	1,07 a	0,97 a	1,02 a	10,77 b	8,97 d	9,87 b
Ureia	2,06 a	1,93 c	1,99 a	1,29 a	1,19 a	1,24 a	13,18 a	13,33 c	12,76 a
Nitrato de Amônio	2,04 a	2,65 a	2,35 a	1,30 a	1,57 a	1,43 a	13,07 a	17,00 a	15,04 a
Polyblen Extend [®] 70%	2,13 a	2,19 b	2,15 a	1,19 a	1,23 a	1,21 a	13,64 a	14,00 b	13,82 a
Polyblen Extend [®] 100%	2,16 a	2,31 b	2,24 a	1,28 a	1,24 a	1,26 a	13,85 a	14,80 b	14,32 a
Polyblen Montanha [®] 70%	2,07 a	2,32 b	2,19 a	1,31 a	1,39 a	1,35 a	13,24 a	14,87 b	14,05 a
Polyblen Montanha [®] 100%	2,10 a	2,75 a	2,43 a	1,40 a	1,49 a	1,45 a	13,47 a	17,60 a	15,53 a
CV (%)	9,79	5,01	6,14	12,35	16,35	9,3	9,79	5,01	6,14
Média	2,04	2,22	2,13	1,27	1,29	1,28	13,03	14,22	13,63

As letras iguais não diferem entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade.

No ano de 2015, o teor de N, porcentagem de cafeína e de proteína nos grãos de café tiveram valores médios de 2,04 dag kg⁻¹, 1,27% e 13,03%, respectivamente.

Na safra de 2016 e na média dos dois anos o teor de N no grão foi influenciado significativamente ($P < 0,05$) após aplicação dos tratamentos com fertilizantes nitrogenados.

Em 2016 o maior teor de N no grão foi de 2,65 dag kg⁻¹ com a aplicação do nitrato de amônio e de 2,75 dag kg⁻¹ no tratamento com Polyblen Montanha® 100%.

Na média dos dois anos, o teor de N no grão foi menor no tratamento controle (1,54 dag kg⁻¹). Os demais tratamentos não diferiram entre si e apresentou valor médio de 2,21 dag kg⁻¹. Os valores encontrados estão dentro da faixa encontrada por Valarini (2005), que avaliaram teor de N no grão de café em diversas cultivares e encontraram valores que variaram de 1,5 a 2,4 dag kg⁻¹. Segundo Spiller (1998), o N pode representar até 2,6% da composição química dos grãos de café.

Clemente (2010), trabalhando com duas doses de N, uma baixa e uma elevada não encontraram diferenças no teor de N no grão. O resultado foi atribuído a efeito de diluição da cafeína na maior quantidade de frutos produzidos pelas plantas submetidas à maior dose de N, já que as plantas cultivadas com baixo N tiveram produção de frutos 39% inferior.

Clemente et al. (2013), ao avaliarem o crescimento, produção e tamanho de grãos de café decorrentes de doses de N e K em solução nutritiva observaram diferenças nos teores de N no grão com a aplicação de diferentes doses de N (3 e 6 mmol L⁻¹ de N). Os autores encontraram valores de 1,8 e de 3,3 dag kg⁻¹ com a aplicação de 3 e 6 mmol L⁻¹ de N, respectivamente.

Na safra de 2016 e na média dos dois anos a porcentagem de cafeína nos grãos de café não foi influenciada significativamente (P<0,05) após aplicação dos tratamentos com fertilizantes nitrogenados (TABELA 3). Os valores médios foram de 1,29% em 2016 e de 1,28% na média dos dois anos.

Prete (1992) citou limites de porcentagem de cafeína nos grãos de café de 0,6 a 1,5%. Todos os valores encontrados, com exceção do tratamento com aplicação de Nitrato de Amônio (1,57 %) no ano de 2016, apresentaram valores nesta faixa.

Estudos de Souza et al (2010) e Jeska-skowron et al. (2015) mostram que os teores de cafeína variam de acordo com a espécie da planta, tendo o *Coffea arabica* em média 0,7 a 1,6% e o *Coffea canefora* em torno de 1,5 a 4%.

Segundo Franca et al., (2005), as concentrações de cafeína em grãos têm sido positivamente associadas à qualidade do café. De acordo com Farah et al. (2006), a bebida de paladar mole apresentou 1,26 %, enquanto a de paladar duro apresentou 0,96 % de cafeína nos grãos de café.

Malta et al. (2003), avaliando o teor de cafeína em grãos de café após a aplicação de nitrocálcio, sulfato de amônio, uréia e nitrato de amônio nas doses 60; 120 e 360 kg ha de N

no cafeeiro encontraram aumento linear de cafeína com o incremento das doses de N. Entretanto os autores não encontraram diferenças entre as fontes nitrogenadas.

A porcentagem de proteína nos grãos de café foi influenciada significativamente ($P < 0,05$) após aplicação dos tratamentos com fertilizantes nitrogenados na safra 2015, 2016 e na média dos dois anos (TABELA 4).

No ano de 2015, o tratamento controle apresentou o menor teor de proteína (10,77%), diferindo-se estatisticamente dos demais tratamentos. O maior valor foi encontrado com a aplicação dos fertilizantes nitrogenados (13,4%), não diferindo entre si.

Em 2016 houve maior variação nos teores de proteína, de 8,97 a 17,6%. Os tratamentos Polyblen Montanha[®] 100% e Nitrato de Amônio, com valores de 17,6 e 17,0% apresentaram os maiores teores de proteína, ultrapassando os valores citados na literatura por Illy e Vianni (1996), que estabeleceram uma faixa para o café arábica de teores de proteína entre 8,7 a 16%. O menor teor de proteína encontrado foi de 8,9% no tratamento controle.

Na média dos dois anos, a maior porcentagem de proteína foi de 14,18% com a aplicação dos fertilizantes nitrogenados. O menor valor foi de 9,87% no controle. Dentre os fertilizantes nitrogenados não houve diferenças. Isso mostra que a aplicação dos fertilizantes nitrogenados promoveu um aumento de 43% de proteína nos grãos de café ao final dos dois anos de aplicação dos fertilizantes.

O acúmulo de N, cafeína e de proteína não foram influenciados significativamente (0,05) pela aplicação dos fertilizantes nitrogenados no ano de 2015. Já o acúmulo de N, cafeína e de proteína no ano de 2016 e o acumulado total dos dois anos (2015 e 2016) foram influenciados pela aplicação dos fertilizantes nitrogenados (TABELA 5).

Tabela 5 - Acúmulo de N (kg ha^{-1}), Cafeína (kg ha^{-1}) e de Proteína (kg ha^{-1}) nos grãos de café após aplicação de fertilizantes nitrogenados nos anos 2015, 2016 e o total dos dois anos.

Tratamentos	N (kg ha^{-1})			Cafeína (kg ha^{-1})			Proteína (kg ha^{-1})		
	2015	2016	Total	2015	2016	Total	2015	2016	Total
Controle	78,3 a	23,9 e	102,3 b	49,5 a	16,5 c	64,1 c	501,1 a	153,6 e	654,7 b
Ureia	98,3 a	42,6 d	140,9 a	61,8 a	26,3 b	88,1 b	629,4 a	272,6 d	902,0 a
Nitrato de Amônio	101,8 a	77,2 a	179,1 a	64,6 a	45,8 a	110,4 a	651,8 a	494,4 a	1146,2 a
Polyblen Extend [®] 70%	104,8 a	52,3 c	157,3 a	58,7 a	29,4 b	88,2 b	671,8 a	334,5 c	1006,3 a
Polyblen Extend [®] 100%	105,0 a	60,4 b	165,3 a	62,5 a	32,3 b	94,8 a	672,0 a	386,3 b	1058,3 a
Polyblen Montanha [®] 70%	101,6 a	62,3 b	163,9 a	64,2 a	37,2 b	101,4 a	650,4 a	398,7 b	1049,1 a
Polyblen Montanha [®] 100%	99,7 a	82,2 a	181,9 a	66,2 a	44,6 a	110,7 a	638,5 a	526,1 a	1164,6 a
CV (%)	11,6	6,0	7,3	10,6	18,3	8,9	11,3	6,1	7,3
Média	98,5	57,3	155,8	61,1	33,2	94,2	630,7	366,6	997,3

As letras iguais não diferem entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade.

Os valores médios de acúmulo de N, cafeína e proteína nos grãos de café no ano de 2015 foram de 98,5; 61,1 e 630,7 kg ha⁻¹, respectivamente. No segundo ano (2016) após a aplicação dos fertilizantes nitrogenados, o Nitrato de Amônio e o Polyblen Montanha[®] 100% promoveram maior acúmulo de N (79,7 kg ha⁻¹), cafeína (45,2 kg ha⁻¹) e de proteína (510,2 kg ha⁻¹) nos grãos de café.

O acúmulo total (2015-2016) de N e de proteína nos grãos de café foi maior com a aplicação dos fertilizantes nitrogenados, não havendo diferenças entre as fontes utilizadas. O aumento no acúmulo de N e de proteína nos grãos de café com a aplicação dos fertilizantes nitrogenados foi de 61% e de 60% em comparação ao tratamento controle, respectivamente.

O nitrogênio é essencial para a síntese de proteínas e exerce influência direta no metabolismo vegetal (FERNANDES, 2007). As Proteínas são heteropolímeros formados por aminoácidos. As proteínas são de extrema importância para a qualidade do café, pois influencia no aroma, sabor da bebida e atuam diretamente no processo de torração proporcionando o desprendimento de compostos voláteis e não voláteis característicos do café (LOPES, 2000).

Segundo Martinez et al. (2015), altas concentrações de aminoácidos podem ser encontrados em excessivo suprimento de N. O presente estudo corrobora os resultados apresentados por Martinez et al. (2015), cujo acúmulo de proteína nos dois anos aumentou com a aplicação dos fertilizantes nitrogenados, quando comparado ao tratamento controle.

O acúmulo total de cafeína foi maior com a aplicação do Nitrato de amônio (110,4 kg ha⁻¹), Polyblen Montanha[®] 100% (110,7 kg ha⁻¹), Polyblen Montanha[®] 70% (101,4 kg ha⁻¹) e com o Polyblen Extend[®] 100% (94,8 kg ha⁻¹). O menor acúmulo total foi encontrado no tratamento controle (64,1 kg ha⁻¹). Os valores mostram um acúmulo superior em 18% com a aplicação do Nitrato de amônio, Polyblen Montanha[®] 100%, Polyblen Montanha[®] 70% Polyblen Extend[®] 100% em comparação a ureia e de 63%, quando comparado ao controle.

O maior acúmulo total de cafeína nos grãos de café pode estar relacionado com o fornecimento de N por estas fontes. Segundo NUHU (2014), a cafeína é sintetizada a partir de aminoácidos alifáticos ornitina e lisina, e possui quatro átomos de nitrogênio em sua estrutura.

Chagas et al. (2016) avaliando as perdas de N por volatilização de NH₃ após aplicação de ureia convencional, nitrato de amônio, Polyblen Extend[®] e Polyblen Montanha[®] no cafeeiro encontraram menores perdas com a aplicação do nitrato de amônio, Polyblen Extend[®] e Polyblen Montanha[®] em comparação a ureia convencional.

O Teor de açúcares totais (%) nos grãos de café no ano de 2015 não foi influenciado significativamente ($P < 0,05$) após aplicação dos tratamentos com fertilizantes nitrogenados e o valor médio foi de 7,6% (TABELA 6).

Tabela 6 - Teor de açúcares totais (%) e Compostos fenólicos (%) nos grãos de café após aplicação de fertilizantes nitrogenados nos anos 2015, 2016 e a média dos dois anos.

Tratamentos	Açúcares totais (%)			Compostos fenólicos (%)		
	2015	2016	Média	2015	2016	Média
Controle	7,60 a	4,93 b	6,27 b	6,17 b	4,87 c	5,52 b
Ureia	7,05 a	7,61 a	7,33 a	7,17 a	6,41 b	6,79 a
Nitrato de Amônio	7,86 a	8,01 a	7,93 a	6,92 a	7,84 a	7,38 a
Polyblen Extend® 70%	7,70 a	7,93 a	7,81 a	7,32 a	6,48 b	6,90 a
Polyblen Extend® 100%	7,27 a	7,79 a	7,53 a	7,39 a	7,44 a	7,41 a
Polyblen Montanha® 70%	7,62 a	7,91 a	7,77 a	7,33 a	7,37 a	7,35 a
Polyblen Montanha® 100%	8,14 a	8,20 a	8,17 a	7,26 a	7,87 a	7,57 a
CV (%)	5,27	13,17	5,5	6,70	9,51	6,6
Média	7,6	7,48	7,54	7,08	6,9	6,99

As letras iguais não diferem entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade.

No ano de 2016 e na média dos dois anos o teor de açúcares totais (%) foi influenciado significativamente ($P < 0,05$) após aplicação dos tratamentos com fertilizantes nitrogenados. Em 2016 e na média dos dois anos, as menores porcentagens de açúcares totais foram no tratamento controle. Os valores foram de 4,93% em 2016 e de 6,27% na média dos dois anos.

O maior valor médio de açúcares totais com a aplicação dos fertilizantes nitrogenados foi de 7,92% em 2016 e de 7,79% na média dos dois anos. Prete (1992) propôs que a faixa média considerada ideal para os açúcares totais sejam entre 5 a 10%.

Os teores açúcares totais no ano de 2015, 2016 e na média dos dois anos atingiram esta faixa, exceto o tratamento controle do segundo ano (4,93%). Clemente et al. (2010) citam que os cafés de melhores qualidades apresentam teores de açúcares totais próximos 8%.

Malta et al. (2003) observaram que os teores de açúcares totais aumentavam de forma quadrática com o aumento das doses de nitrogênio, porém, verificou-se que os cafeeiros adubados com diferentes fontes de N, apresentavam um limite com o aumento da dose diminuindo a concentração de açúcares totais. A aplicação de sulfato de amônio apresentou limite de 173 kg ha⁻¹ de N, a calcionamida apresentou limite de 234 kg ha⁻¹ de N e nitrato de cálcio apresentou limite de 190 kg ha⁻¹, havendo redução da concentração de açúcares totais.

O teor de Compostos fenólicos (%) nos grãos de café nos anos 2015, 2016 e na média dos dois anos foi influenciado significativamente ($P < 0,05$) após aplicação dos tratamentos

com fertilizantes nitrogenados (TABELA 6). Nos anos de 2015, 2016 e na média dos dois anos, os menores valores foram encontrados no tratamento controle e foram de 6,17; 4,87 e 5,52%, respectivamente.

No ano de 2016, o teor de compostos fenólicos apresentou diferenças entre os tratamentos com aplicação de fertilizantes nitrogenados. Os tratamentos com aplicação de ureia e Polyblen Extend[®] 70% apresentaram valores maiores que os encontrados no tratamento controle e menores do que os tratamentos com aplicação do Polyblen Montanha[®] 100%, Nitrato de Amônio, Polyblen Extend[®] 100% e Polyblen Montanha[®] 70% que foram de 7,87%, 7,84%, 7,44% e 7,37%, respectivamente.

Segundo Martinez et al. (2015), a hipótese que doses elevadas de N podem ativar a rota de síntese da lignina que gera compostos intermediários precursores de ácidos clorogênicos, sendo estes, os principais compostos fenólicos. Este estudo corrobora essa hipótese, pois ao aplicar o nitrato de amônio, Polyblen Montanha[®] e Polyblen Extend[®] (dose de 450 kg ha de N), observa-se um aumento dos teores de polifenóis. Esses fertilizantes apresentam baixas perdas de N por volatilização quando comparado a ureia, e com isso pode ter disponibilizado maior quantidade de N no ano de 2016 (DOMINGHETTI, et al., 2016; CHAGAS, et al., 2016)

Na média dos dois anos (2014 e 2015) não houve diferença entre as fontes nitrogenadas, apenas das fontes em relação ao tratamento controle. O maior teor de compostos fenólicos foi de 7,35% com a aplicação dos fertilizantes nitrogenados e o menor foi de 5,5% no tratamento controle. Os resultados encontrados para os dois anos estudados estão abaixo da média citada por Carvalho et al. (1989), que foi de 9,66%, o que pode resultar em baixa qualidade do produto quando avaliada por este parâmetro.

O acúmulo de açúcares totais e compostos fenólicos não foi influenciado significativamente ($P < 0,05$) pela aplicação dos fertilizantes nitrogenados no ano de 2015 (TABELA 7). No ano de 2016 e o no total dos dois anos houve diferenças significativas.

Tabela 7 - Acúmulo de açúcares totais (kg ha^{-1}) e Compostos fenólicos (kg ha^{-1}) nos grãos de café após aplicação de fertilizantes nitrogenados nos anos 2015, 2016 e a média dos dois anos.

Tratamentos	Açúcares totais (kg ha^{-1})			Compostos fenólicos (kg ha^{-1})		
	2015	2016	Total	2015	2016	Total
Controle	352,5 a	84,3 c	436,8 d	285,3 a	83,0 d	368,3 b
Ureia	336,6 a	168,9 b	505,5 c	342,4 a	141,8 c	484,3 a
Nitrato de Amônio	391,8 a	233,5 a	625,4 a	345,7 a	227,9 a	573,7 a
Polyblen Extend [®] 70%	379,3 a	189,9 b	569,2 b	360,2 a	154,6 c	514,9 a
Polyblen Extend [®] 100%	352,5 a	203,4 b	555,9 b	360,6 a	194,1 b	554,7 a
Polyblen Montanha [®] 70%	373,8 a	212,6 b	586,4 b	360,9 a	197,1 b	558,0 a
Polyblen Montanha [®] 100%	385,4 a	245,1 a	630,5 a	344,4 a	235,3 a	579,4 a
CV (%)	6,7	11,6	5,2	11,35	8,2	8,5
Média	367,4	191,2	558,5	342,7	176,3	519,0

As letras iguais não diferem entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade.

Em 2015 o acúmulo médio de açúcares totais foi de $367,4 \text{ kg ha}^{-1}$ e de Compostos fenólicos foi de $342,7 \text{ kg ha}^{-1}$.

O acúmulo de açúcares totais em 2016 e total (2015 e 2016) foram superiores com a aplicação do Nitrato de Amônio e do Polyblen Montanha[®] 100% em comparação aos demais tratamentos. O valor médio destas duas fontes em 2016 foi de $237,3 \text{ kg ha}^{-1}$ e o total de $627,9 \text{ kg ha}^{-1}$. O menor valor de acúmulo de açúcares totais em 2016 ($84,3 \text{ kg ha}^{-1}$) e total ($436,8 \text{ kg ha}^{-1}$) foi encontrado no tratamento controle.

Segundo Silva et al. (2002), cafés classificados como especiais possuem maiores teores de açúcares totais. De acordo com Saath (2010), o sabor doce detectados em cafés é baseado na presença de açúcares dos grãos de café.

O maior valor de acúmulo de Compostos fenólicos em 2016 foi encontrado com a aplicação do nitrato de amônio e do Polyblen Montanha[®] 100% ($231,6 \text{ kg ha}^{-1}$). O menor valor foi de $83,0 \text{ kg ha}^{-1}$ no tratamento controle. O acúmulo total de Compostos fenólicos (2015-2016) foi maior com a aplicação das fontes nitrogenadas em comparação ao controle, os valores encontrados com as fontes nitrogenadas não diferiram entre si.

Os valores encontrados para os parâmetros de acidez titulável total, condutividade elétrica e lixiviação de potássio no ano de 2015 não foram influenciados estatisticamente ($p \leq 0,05$) pela aplicação dos tratamentos com fertilizantes nitrogenados (TABELA 8).

Tabela 8 - Valores de Acidez Titulável Total (mL de NaOH/100g), pH, Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) e Lixiviação de Potássio (ppm) no ano de 2015.

Tratamentos	Acidez Titulável	pH	Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$)	Lixiviação de Potássio (ppm)
Controle	196,67 a	5,92 a	104,34 a	65,83 a
Ureia	225,00 a	5,13 b	139,80 a	66,80 a
Nitrato de Amônio	203,33 a	5,16 b	105,04 a	49,43 a
Polyblen Extend® 70%	211,67 a	5,09 b	121,63 a	57,84 a
Polyblen Extend® 100%	213,33 a	5,09 b	126,47 a	57,90 a
Polyblen Montanha 70%	226,67 a	5,02 b	116,04 a	59,17 a
Polyblen Montanha 100%	200,00 a	5,10 b	102,01 a	48,14 a
CV	5,52	1,25	18,93	17,56

As letras iguais não diferem entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade.

O valor médio de acidez titulável foi de 211 mL de NaOH/100g. Para o pH (TABELA 8) houve diferença entre o tratamento controle e os fertilizantes nitrogenados. O maior valor foi de 5,9 no tratamento controle. Os demais tratamentos com fertilizantes nitrogenados apresentaram valor médio de 5,1, não diferindo entre si.

Para condutividade elétrica e lixiviação de potássio os valores médios foram de ($116,48 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) e (57,87 ppm) respectivamente. Segundo Carvalho et al. (1994) quanto menor a lixiviação e a condutividade elétrica menor o dano na parece celular do grão.

No ano de 2016 as análises de acidez titulável total e pH não foram influenciados significativamente ($P\leq 0,05$) pela aplicação dos fertilizantes nitrogenados. Já a condutividade elétrica e lixiviação de potássio apresentaram diferenças significativas após aplicação dos tratamentos com fertilizantes nitrogenados e o tratamento controle (TABELA 9).

Tabela 9 - Valores de Acidez Titulável Total (mL de NaOH/100g), pH, Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) e Lixiviação de Potássio (ppm) no ano de 2016.

Tratamentos	Acidez Titulável	pH	Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$)	Lixiviação de Potássio (ppm)
Controle	193,33 a	6,18 a	243,47 a	140,30 a
Ureia	203,33 a	5,98 a	200,10 b	111,03 b
Nitrato de Amônio	203,33 a	5,35 a	196,87 b	101,00 b
Polyblen Extend® 70%	200,00 a	5,96 a	214,97 b	104,83 b
Polyblen Extend® 100%	211,67 a	5,95 a	203,70 b	100,83 b
Polyblen Montanha 70%	210,00 a	5,78 a	186,63 b	101,27 b
Polyblen Montanha 100%	206,67 a	5,41 a	201,43 b	98,57 b
CV	5,52	6,31	16,68	23,45

As letras iguais não diferem entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade.

Apesar de não encontrada diferença significativa, o menor valor de acidez titulável total foi de 193,33 mL de NaOH/100g no tratamento controle.

O pH no ano agrícola 2016 também não apresentou diferença significativa, entretanto o maior valor foi de 6,18 no tratamento controle. Siqueira et al. (2006) cita que a faixa de pH ideal para o *Coffea arabica* L. é de 5,73 a 5,88. O presente estudo teve alguns resultados fora desta faixa de pH podendo ser associado a baixa precisão do peagâmetro utilizado.

Para as análises de condutividade elétrica e lixiviação de potássio os maiores valores foram de 243,47 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ e 140 ppm no tratamento controle.

Prete (1992) encontrou resultados de condutividade elétrica com valores de 84 e 114 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ para os classificados como bebida boa e 119 e 129 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ para classificados bebida média. No presente trabalho, em 2016, os valores foram superiores aos encontrados pelos autores, principalmente no tratamento controle.

Segundo Clemente (2013), a deficiência nutricional torna o café susceptível aos danos mecânicos rompendo a membrana celular ocorrendo maior contato entre as enzimas e os compostos químicos presentes no meio intracelular (íons K) são liberados, consequentemente alterações na qualidade do produto.

4 CONCLUSÕES

Na média dos dois anos (2015-2016), o nitrato de amônio, Polyblen Montanha[®] 100% e Polyblen Montanha[®] 70% promoveram maior percentual de grãos chato graúdo.

Ao final dos dois anos, o nitrato de amônio, Polyblen Extend[®] 100%, Polyblen Montanha[®] 70% e Polyblen Montanha[®] 100% promoveram maior acúmulo de cafeína nos grãos de café. E o nitrato de amônio e o Polyblen Montanha[®] 100% promoveram o maior acúmulo de açúcares totais.

REFERÊNCIAS

- ABIC- Associação Brasileira da Indústria de Café. **Indicadores da Indústria de Café No Brasil**, 2015. Disponível <http://www.abic.com.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=61#1910> Acesso em 10 de maio de 2017.
- ANGÉLICO, C. L. **Qualidade do café (*Coffea arabica* L.) em diferentes estádios de maturação e submetido a cinco tempos de ensacamento antes da secagem**. 2008, 1499p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG.
- AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analyses of the Association of Official Analytical Chemists**. 15.ed. Washington, 1990. 1117p.
- BREMNER, J. M. **Total nitrogen**. In: BLACK, C. A. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 1149-1178.
- BORGES, A.L.; OLIVEIRA, A.M.G.; SOUZA, L.S. Solos, nutrição e adubação da bananeira. In: ALVES, E.J. **Cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais**. Cruz das Almas: Embrapa-CNPMP, p.35-46, 1999.
- BRASIL. Instrução Normativa nº 8, de 11 de Junho de 2003. Regulamento Técnico de Identidade e de Qualidade para a Classificação do Café Beneficiado Grão Cru. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, DF, 13 jun. 2003. Seção 1, p. 22-29.
- CARVALHO V. D. et al. Relação entre classificação do café pela bebida e composição físico-química, química e microflora do grão beneficiado In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 15., 1989, Maringá. **Anais...**Rio de Janeiro: Mec-Ibc, 1989. p.25-26.
- CARVALHO, V. D. et al. Relação entre a composição físico-química e química do grão beneficiado e a qualidade de bebida do café. I - Atividades de polifenoloxidase e peroxidases, índice de coloração de acidez. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 3, p. 449-454, 1994.
- CLEMENTE, J. M. et al. Effect of N and K doses in nutritive solution on growth, production and coffee beans size. **Revista Ceres**, v. 60, n. 2, p. 279-285, 2013
- CHAGAS, S. J. de R.; MALTA, M. R.; PEREIRA, R. G. F. A. Potencial da reação sul de minas gerais para a produção de cafés especiais. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n.3, p. 590-597, 2005
- CHAGAS W. F. T. et al. Ammonia volatilization from blends with stabilized and controlled-released urea in the coffee system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v 40, n. 5, p.497-509, 2016.

CLIFFORD, M. N. Chemical and physical aspects of green coffee and coffee products, In: CLIFFORD, M. N.; WILSON, K. C. **Coffee Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage**. Beckenham (Kent): Croom Helm., cap. 13, p. 305-374, 1985.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Avaliação da Safra Agrícola Cafeeira - 1ª Estimativa - Janeiro/2017**. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_01_17_14_51_54_boletim_cafe_-_janeiro_de_2017.pdf Acesso em: 10 fev. 2017.

DISCHE Z. **General color reactions**. In: Whistler RL, Wolfran ML. *Carbohydrate chemistry*. New York: Academic; 1962. p.477-512.

DOMINGHETTI, A. W. et al. Nitrogen loss by volatilization of nitrogen fertilizers applied to coffee orchard. **Ciência e Agrotecnologia**. v.40, n.2, p.1-11, 2016.

FARAH, A. et al. Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. **Food Chemistry**, v. 98, p.373-380. 2006.

FRANCA, A. S. et al. Physical and chemical attributes of defective crude and roasted coffee beans. **Food Chemistry**, v.90, p.84-89. 2005.

FRANCO, J. A. M.; NETO, A. S. Produção de fertilizantes nitrogenados e suprimentos de matéria-prima. In: YAMADA, T.; STIPP, S. R.; VITTI, G.C. (Ed). **Nitrogênio e Enxofre: na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI, 2007. p.73-107

FERNANDES, F. L., **Efeito de nitrogênio e de potássio na interação entre *Coccus viridis* e *Coffea arabica***. (Mestrado de Fitotecnia). Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, 2007.

FERREIRA. D.F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35. n. 6. p. 1039-1042. 2011.

GOULART, P de F.P.; ALVES, J. D.; MALTA, M.R.; MAGALHÃES, M.M.; PEREIRA R.G.F.A.; MEYER, L.E. Análise comparativa entre lixiviação de potássio, condutividade elétrica, teor de ácido clorogênico e métodos de quantificação da atividade da polifenol oxidase em extratos semipurificados de amostras de café de diferentes padrões de qualidade. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, Especial Café, n.7, p. 78-85, 2003.

GUIMARÃES, P.T.G. et al. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª Aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG, 1999. p.289-302

ILLY, A; VIANI, R. **Espresso coffee: the chemistry of quality**, 2.ed. San Diego: Academic, 1996. p.253

JESZKA-SKOWRON. M.; ZGOLA-GRZESKOWIAK, A.; GRZESKOWIAK T. Analytical methods applied for the characterization and the determination of bioactive compounds in coffee. **European Food Research Technology**, v. 240, p.19-31, 2015.

LAVIOLA, B. G. et al. Influência da adubação na formação de grãos mocas e no tamanho de grãos de café (*Coffea arabica* L.). **Coffee Science**, v. 1, n. 1, p. 36-42, 2007.

LI, S; BERGUER, J; HARTLANS, S. UV Spectrophotometric determination of theobronine and caffeine in cocoa beans. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, V. 232, 1990 p. 409-412

LOEFFLER, T.M.; TEKRONY, D.M.; EGLI, D.B. The bulk conductivity test as an indicator of soybean quality. **Journal of Seed Technology**, Lansing, v. 12, n. 1, p. 37-53, 1988.

LOPES, L. M. V. **Avaliação da qualidade de grãos crus e torrados de cultivares de cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. Lavras: UFLA, 2000, 95p.

LOPES, L. M. V.; PEREIRA, R. G. F. A.; MENDONÇA, J. M. A.; GARCIA, A. W. R. Avaliação de cultivares de *Coffea arabica* L. através da classificação por peneira. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL E WORKSHOP INTERNACIONAL DE CAFÉ & SAÚDE, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2003. p. 220-221

MALTA, M.R.; PEREIRA, R.G.F.A.; CHAGAS, S.J.R. Condutividade elétrica e lixiviação de potássio do exsudato de grãos de café: alguns fatores que podem influenciar essas avaliações. In: V SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., Águas de Lindóia. **Resumos...** Águas de Lindóia, SP. CBP&D/CAFÉ -EMBRAPA/CAFÉ. 2007. CD Rom.

MALTA M. R.; NOGUEIRA F.D.; GUIMARÃES P. T. G. G.; SILVA F. A. M. Composição química, produção e qualidade do café fertilizado com diferentes fontes de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia** 27: 1246-1252. 2003.

MATIELLO, J.B. et al. **Cultura de café no Brasil**: novo manual de recomendações. Rio de Janeiro e Varginha: Fundação PROCAFE, 2002. p.387

MARTINEZ, H. E. P.; CLEMENTE J. M.; LACERDA J. S.; NEVES Y. P.; PEDROSA A.W. Nutrição mineral do cafeeiro e qualidade da bebida. **Revista Ceres**, v. 61, p. 838-848, 2014.

MENDONÇA, L.V.L.; PEREIRA, R.G.F.A.; MENDES A. N.G. Parâmetros bromatológicos de grãos crus e torrados de cultivares de café (*Coffea arabica* L.) **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 2, p. 230-242, 2005.

NASSER, P. P. et al. Influência da separação de café (*Coffea arabica* L.) de acordo com o tamanho sobre o espectro de coloração dos grãos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2001. p. 924-929. CD-ROM.

NUHU, A. A. Bioactive micronutrients in coffee: recent analytical approaches for characterization and quantification. **ISRN nutrition**, 2014.

PEREIRA, R. G.F.A.; BORÉM F. M.; VILLELA, T. C.; Barrios e. b. Avaliação da composição química de cafés (*Coffea arabica* L.) da região de do alto Rio Grande - Sul de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2000, Vitória. **Anais ...** Vitória: IAC, 2000.

PETRE, C. E.C. **Condutividade elétrica do exudado de grãos de café (*Coffea arabica* L.) e sua relação com a qualidade da bebida.** 1992. p.125. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP.

PIMENTA, C.J. **Qualidade do café (*Coffea arabica* L.) originado de frutos colhidos em quatro estádios de maturação** 1995. p.94. Dissertação (Mestrado em Ciências de Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras- MG.

PIMENTA, C. J.; CHAGAS, S. J. R.; COSTA, I. Pectinas e enzimaspectinólíticas em café (*Coffea arabica* L.) colhido em quarto estádios de maturação. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v.24, n.4, p.1079-183, 2000.

PIMENTA, C. J. **Qualidade de Café.** Lavras: UFLA 2003. 304 p.1

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P. T.G.; ALVAREZ V. V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação.** Viçosa-MG: Comissão de Fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.180

SIQUEIRA, H.H.; ABREU, C.M.P. Composição físico-química e qualidade do café submetido a dois tipos de torração e com diferentes formas de processamento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 1, p. 112-117, 2006.

SOUZA, R.M.N.; CANUTO, G.A.B.; DIAS, R. C. E.; BENASSI, M. T. Teores de compostos bioativos em cafés torrados e moídos comerciais. **Química Nova**, v.33, n. 4, p.885-890, 2010.

STIPP, S. R.; PROCHNOW, L. I. **Maximização da eficiência e minimização dos impactos ambientais da adubação nitrogenada.** Informações agronômicas. Piracicaba: IPNI. 2008, p.1-7

TRENKEL, M. E. **Slow and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Efficiency in Agriculture.** Second edition, IFA, Paris, France, October 2010. Copyright 2010 IFA. ISBN 978-2-9523139-7.