

AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES A TAXA VARIÁVEL ADAPTADO À CULTURA CAFEIEIRA

Murilo Machado de Barros¹, Carlos Eduardo Silva Volpato², Flávio Castro Silva³,
Marcos Antonio Zambillo Palma⁴, Roger Toscan Spagnolo⁵

(Recebido: 04 de agosto de 2014; aceito: 05 de novembro de 2014)

RESUMO: Um fator de extrema importância na produção do cafeeiro e das demais culturas é a distribuição de fertilizantes no solo, pois a utilização dessa prática de modo eficiente pode aumentar a produtividade, diminuir os custos de produção e os impactos ambientais. Uma importante ferramenta a ser utilizada é a Agricultura de Precisão, pois fornece subsídios para que se possa realizar a aplicação localizada e racional de fertilizantes, aumentando o gerenciamento das atividades. Objetivou-se, com esta pesquisa, avaliar o desempenho operacional de um sistema de aplicação de fertilizantes à taxa variável e criar parâmetros de avaliação para a cultura do cafeeiro. Foram realizados três tipos de ensaio: o de deposição transversal, com o objetivo de determinar o alcance máximo de distribuição da máquina e observar os efeitos das variações de velocidade e doses; o de deposição longitudinal, com o objetivo de determinar as características de distribuição da máquina, ao longo da linha de deslocamento e analisar o comportamento de aplicação nos dois lados de distribuição, e o de regime de trabalho, com o objetivo de verificar o comportamento de distribuição da máquina, em condições reais de campo. Foi observado que a variação de doses e velocidades não interferiu na precisão de distribuição do sistema. Houve variação na aplicação do sistema entre os lados direito e esquerdo de aplicação. A aplicação do sistema à taxa variável, em condições reais de campo, apresentou erro médio de -3,31%. Portanto, com a metodologia utilizada foi possível avaliar as variáveis presentes na aplicação de fertilizantes na produção do cafeeiro.

Termos para indexação: Cafeicultura, agricultura de precisão, aplicação em doses variáveis.

EVALUATION OF A VARIABLE RATE FERTILIZER APPLICATION SYSTEM ADAPTED TO COFFEE CROP

ABSTRACT: An extremely important factor in the production of coffee and other crops is the distribution of fertilizers on the soil, because the efficient use of this technique may increase productivity, reduces production costs and environmental impacts. Precision Agriculture is an important tool to be used, that aids the achievement of localized and rational application of fertilizers, increasing the management activities. The aim of this research was to evaluate the operational performance of a fertilizer application system at variable rate and to create evaluation parameters for coffee crop. Three types of tests were performed: The Cross-Deposition Test, in order to determine the machine's maximum distribution range and to observe the effects of speed and doses changes; The Longitudinal Deposition Test, in order to determine the machine's distribution characteristics along the displacement line, and analyze the application behavior on both sides of distribution; The Work Regime Test in order to check the distribution behavior of the machine in real field conditions. We observed that the variation of doses and speeds haven't affected the precision of the distribution system. There was variation at the system's application between right and left sides. The system application at variable rate in real field conditions showed a mean error of -3.31%. Therefore, the methodology used is possible to evaluate the variables present in the fertilizers application in coffee production.

Index terms: Coffee tillage, precision agriculture, variable doses application.

1 INTRODUÇÃO

O café ocupa posição de destaque na pauta de exportações do Brasil, e desde o início do século XX é um dos produtos mais representativos da economia brasileira com relevante participação no desenvolvimento nacional, contribuindo para os setores de indústria e serviço, além do próprio setor primário (SEREIA; CAMARA; CINTRA, 2008).

Segundo Bottega et al. (2013), a caracterização da variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos do solo por meio de amostragem é indispensável, quando se usa a agricultura de precisão, uma vez que, nesse sistema de manejo, são aplicadas doses variáveis de insumos, visando atender às necessidades específicas de cada local, reduzindo os impactos ambientais gerados pelas práticas agrícolas e,

¹Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - Departamento de Engenharia - Instituto de Tecnologia - 23890-000 - Seropédica - RJ
egmurilo@yahoo.com.br

²Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Engenharia Agrícola/DEG - Cx P. 3037 - 37200-000 - Lavras -MG
volpato@deg.ufla.br

³Universidade Federal Fluminense/UFF - Departamento de Engenharia Agrícola e Meio Ambiente - 24.210-240 - Niterói - RJ
flavio-ter@vm.uff.br

⁴Universidade Federal da Fronteira do Sul/UFFS - Departamento de Engenharia - 97900-000 - Serro Largo - RS - markospalma@gmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas/UFPEL - Departamento de Engenharia Rural/DER - Cx P. 354 - 96010-900 - Capão do Leão - RS
rogeroscan@yahoo.com.br

além disso, otimizando o processo de produção naquela área.

Neste contexto, uma ferramenta importante a ser utilizada, é a Agricultura de Precisão (AP), pois permite otimizar o uso de insumos e reduzir custos em benefício do meio ambiente e da produção agrícola. As pesquisas com AP na cultura do cafeeiro têm demonstrado variabilidade acentuada de atributos do solo e da produção.

Ferraz et al. (2012) e Silva et al. (2007) caracterizaram a variabilidade espacial de atributos químicos do solo na cultura do cafeeiro, sendo que as variáveis estudadas apresentaram estrutura de dependência espacial. Puderam ainda observar que, com a grande amplitude de variação dos atributos químicos, justifica-se a aplicação diferenciada e localizada de fertilizantes na lavoura cafeeira.

Molin et al. (2010), em um estudo que comparou a aplicação em doses variáveis e fixas na cultura do café, observaram que a área onde foram aplicados fertilizantes em doses variadas apresentou uma produtividade superior em 34%, se comparada àquela onde foram aplicadas doses em taxa fixa. Quanto ao nutriente fósforo foi verificada uma economia de 23%, durante aplicação de doses em taxa variável. No que diz respeito à aplicação do nutriente potássio, houve um aumento na aplicação do nutriente de 13%, se comparada à aplicação de doses em taxa fixa. Ferraz et al. (2011), constataram que a aplicação em taxas variáveis, aplicadas manualmente de fósforo e potássio, comparada ao sistema de aplicação convencional foi mais vantajosa economicamente.

Para que se realize a aplicação em taxas variáveis de forma efetiva é necessário que as máquinas de distribuição de fertilizantes estejam adaptadas às características de cada cultura. Sendo que o desempenho dos distribuidores de fertilizantes e corretivos pode ser afetado por diversos fatores, favorecendo a promoção de diversos trabalhos para a detecção e melhoras dos mesmos.

Umezu e Capelli (2006) desenvolveram um sistema de controle eletrônico, para compensar a variação na rotação de acionamento dos dosadores de fertilizantes sólidos de um equipamento para formulação, dosagem e aplicação de fertilizantes sólidos no sulco, à taxas variáveis, em função da alteração da temperatura do óleo hidráulico. Os testes realizados mostraram que o sistema de controle de rotação implementado foi adequado, mantendo inalterado o comportamento do sistema hidráulico, mesmo na ocorrência de variação da temperatura do óleo hidráulico. Serrano et al.

(2007) realizaram ensaios estáticos e dinâmicos para um distribuidor de adubos centrífugo no âmbito da AP, em que observaram a capacidade dos equipamentos para se autorregular em frente variações na velocidade de avanço e de variações nas doses de aplicação, em função da posição georreferenciada em parcelas.

Garcia, Capelli e Umezu (2012) modelaram e simularam o comportamento dinâmico de um dosador helicoidal de fertilizantes, a fim de utilizá-lo em aplicação a taxas variáveis e reduzir o coeficiente de variação (CV) da aplicação, propondo uma forma de atuação na velocidade angular de acionamento do seu eixo. O modelo permitiu desenvolver estratégias para uma ação efetiva, a fim de reduzir, significativamente, o CV da taxa de aplicação de fertilizantes.

Desse modo, verifica-se a necessidade de pesquisas no desenvolvimento de equipamentos e parâmetros de avaliação específicos para cafeeicultura, pois apesar da AP já ser uma realidade na cultura do cafeeiro, ainda existem poucos trabalhos desenvolvidos com máquinas nessa área.

Objetivou-se, neste trabalho, avaliar o desempenho operacional de um sistema de distribuição de fertilizantes à taxa variável e criar parâmetros de avaliação para a cultura do cafeeiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados na Fazenda Resfriado, município de Lavras, no estado de Minas Gerais, localizada nas coordenadas geográficas de referência 21°14' 43"S e 45° 59'59"W, altitude média de 918 m, em superfície plana.

A máquina adaptada é uma adubadora com acoplamento semimontado, equipada com esteiras, mecanismo dosador volumétrico de abertura variável, distribuidor centrífugo de dois discos horizontais, com aplicação direcionada à linha de plantio através de defletores laterais. Possui um volume de carga de 1,20 m³, largura total de 1,50 m, comprimento de 3,36 m, altura de 1,40 m e bitola de 1,24 m.

O trator agrícola utilizado apresenta as seguintes características: potência máxima de 65 cv a 2200 rpm. Seu sistema hidráulico suporta pressão máxima de 204 kgf.cm⁻² e vazão na bomba do hidráulico de 68,8 L.min⁻¹, e, para o controle do hidráulico, é fornecida uma vazão de 41,5 L.min⁻¹.

O controle de vazão da máquina adubadora distribuidora foi realizado por um controlador eletrônico que possui receptor DGPS submétrico, ou seja, erros de posicionamento espacial inferiores a 1,0 m.

Para a realização dos ensaios foram caracterizadas as condições climáticas de temperatura, velocidade do vento, umidade relativa do ar e também as características físicas do fertilizante, granulometria e ângulo de repouso, de acordo com a norma ISO 5690/1, citada por Mialhe (1996).

Os trabalhos experimentais foram realizados com a velocidade do vento, inferior a $2,0 \text{ m.s}^{-1}$ e a umidade relativa do ar abaixo de 80%. Sendo esses dados obtidos através de um equipamento de monitoração climática eletrônico.

A adubação foi realizada com Superfosfato Simples (P_2O_5), o qual foi submetido à avaliação da granulometria, de acordo com a norma ISO 5690/1, citada por Mialhe (1996). Também foi analisada a densidade e a umidade do fertilizante. Para o cálculo da umidade foi utilizado o método padrão em que o fertilizante permaneceu em estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ até atingir massa constante.

O ensaio de deposição transversal teve como objetivo caracterizar o alcance máximo de distribuição transversal de aplicação, pois lavouras cafeeiras aptas à utilização de máquinas possuem espaçamentos entrelinhas de até $4,0 \text{ m}$; portanto, essa variável deve ser considerada para que o equipamento esteja habilitado a trabalhar em condições reais de campo. Outros objetivos deste ensaio foram as verificações entre dosagens programadas e dosagens observadas e ainda os efeitos das variações das velocidades e das dosagens de aplicação na precisão do sistema.

Inicialmente, foram locadas as bandejas de dimensões de $0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$ e profundidade de $0,30 \text{ m}$, de acordo com a norma ISO 5690/1, citada por Mialhe (1996). As bandejas foram dispostas de modo a cobrir toda a faixa de deposição transversal aplicada pelo equipamento, espaçadas em $2,20 \text{ m}$ na própria linha, formando dois grupos. Cada grupo possui quatro bandejas do lado esquerdo (E1, E2, E3, E4), quatro bandejas do lado direito (D1, D2, D3, D4), e três linhas espaçadas uma da outra em $5,0 \text{ m}$ de distância.

Foram avaliadas três vazões distintas, correspondendo a 300 , 600 , e 1000 kg.ha^{-1} e duas velocidades distintas, correspondendo a $6,5$ e $9,0 \text{ km.h}^{-1}$, que representam as velocidades nas marchas 2B e 3B (reduzidas) com o motor a 1800 rpm , fornecendo a TDP rotação de 540 rpm , sendo que, em todas as doses, foram realizados testes com ambas as velocidades. Adotou-se uma distância de 20 m antes dos coletores para a estabilização do sistema.

Em cada tratamento foram realizadas três repetições, e a cada repetição houve três passagens com aplicação do fertilizante. Depois de realizadas as passagens, o material foi recolhido, e as bandejas que estavam posicionadas, longitudinalmente uma da outra, em relação ao movimento do sistema de aplicação, compuseram uma única amostra. Dessa forma, as três bandejas na mesma posição nas três linhas foram somadas. Após esse processo, as amostras foram enumeradas e pesadas em balança eletrônica, com precisão de $0,01 \text{ g}$.

Para analisar o alcance máximo de distribuição do sistema foram criadas equações de regressão linear, pois como cada bandeja de coleta possui largura de $0,50 \text{ m}$, essa unidade torna-se muito grande para a avaliação, podendo analisar apenas quatro valores de alcance: de $3,2$; $4,2$; $5,2$; $6,2 \text{ m}$. Esses valores representam as distâncias em que foram dispostas as bandejas, em relação à linha central de deposição do fertilizante. Os valores para a criação das equações de regressão linear foram obtidos através do material coletado nas bandejas na ordem de (E4 e D4), na distância de $6,2 \text{ m}$, até a (E1 e D1), na distância de $3,2 \text{ m}$, somando o valor do lado esquerdo com o direito. O valor de cada posição foi somado ao valor da posição anterior, sendo que, na posição (E1 e D1), a amostra continha todo o material depositado em todas as bandejas do lado esquerdo e direito. Essa configuração foi utilizada porque foi considerado que, ao analisar uma distância anterior à outra posição, o material depositado a uma distância posterior à distância da bandeja, seria interceptado pela própria planta do cafeeiro. Assim, obteve-se a média das repetições, gerando seis equações que foram realizadas entre as diferentes doses e diferentes marchas. Considerou-se que o valor da dosagem estimada deveria possuir uma variação aceitável, em relação à dosagem requerida de até 15% para ser aceito. Para tanto, foram calculados os valores que representariam a dosagem aceita e foram inseridos nas equações, obtendo-se os valores de alcance máximo. Com isso, foi calculada a média para a obtenção do valor de alcance máximo médio do sistema.

O efeito das variações de dosagens e das velocidades (mudança de marcha) no alcance máximo foi caracterizado por meio de equações de regressão linear, da mesma forma que as equações anteriores. A única mudança foi que, ao invés de se utilizarem valores médios, foram utilizados os valores de cada repetição, para cada condição. Desse modo, com os valores obtidos pelas equações que estão sob a mesma condição de variação, estimaram-se os valores para

observar o comportamento da variável alcance máximo, em diferentes condições. Para essa análise, foi utilizado o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) em esquema fatorial, e para os valores significativos aplicou-se o teste de Tukey, a 5% de significância, utilizando-se o programa computacional, Sisvar® (FERREIRA, 1999).

A verificação entre as doses programadas e observadas foi realizada pela variação percentual entre programada e observada, através da coleta de todo material depositado nas bandejas, sendo esses valores extrapolados para $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, com vistas à realização de comparações. Com esses valores foi criado um gráfico de dispersão para avaliação visual das variações. Com os dados de variações foram analisados se esses erros variam de acordo com a variação das dosagens e velocidade, utilizando o programa computacional Sisvar® (FERREIRA, 1999), para a realização do (DIC) em esquema fatorial.

O ensaio de distribuição longitudinal teve como finalidade a determinação das características de distribuição do equipamento ao longo da linha de deslocamento da máquina de acordo com Mialhe (1996), e a verificação da dosagem nos dois lados de distribuição. As bandejas foram dispostas em duas linhas simples paralelas, por onde a máquina se deslocava, somando-se doze bandejas de cada lado. As linhas estavam distantes uma da outra em 3,5 m do centro de uma bandeja, ao centro de outra bandeja paralela. Foram realizadas cinco passagens sobre as linhas de bandejas aplicando as doses de 300, 600 e 1000 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Após aplicação, cada amostra foi enumerada e pesada, dividindo-se o valor encontrado pelo número de passagens.

Com os dados obtidos por pesagem do material, calculou-se a frequência relativa (em porcentagem), tomando por base o maior valor obtido. Os dados foram expressos na forma de gráfico cartesiano, cuja ordenada representa a porcentagem de produto aplicado, em cada ponto, ao longo da distância percorrida no ensaio.

A verificação da dosagem em relação à variação nos dois lados de aplicação foi analisada por DIC, e para os valores significativos utilizou-se o teste de Tukey, a 5% de probabilidade, utilizando o programa Sisvar® (FERREIRA, 1999).

O ensaio do regime de trabalho teve como objetivo verificar o comportamento do sistema de distribuição, em condições reais de campo. Para isso, foram espalhadas pelo campo 16 pares de lonas com 2,0 m de comprimento, cobrindo os dois lados de distribuição da máquina. Desse modo, as doses eram variadas de acordo com o mapa de recomendação que foi inserido no controlador. O mapa foi criado por uma empresa terceirizada contratada pela fazenda e como pode ser observado na Figura 1 foram representadas as diferentes doses recomendadas para aplicação em taxa variável. Após a aplicação do sistema nos pontos demarcados, o material todo foi coletado, pesado e extrapolado em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para comparação com a dose recomendada. Obtiveram-se os valores de erros por meio de porcentagem do quanto o material coletado diferiu da indicação do mapa.

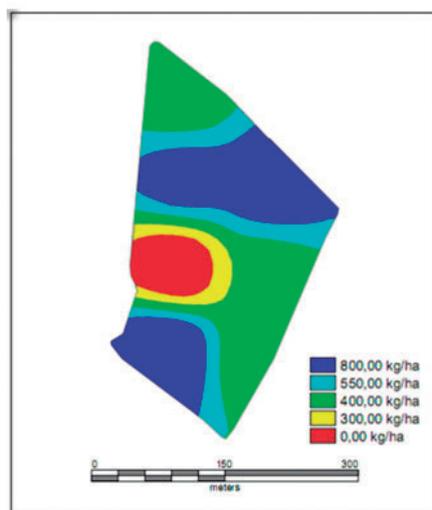


FIGURA 1 - Mapa de recomendação para aplicação de Superfosfato Simples, em taxa variada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da granulometria do Superfosfato Simples durante os ensaios demonstrou que a maior quantidade do material foi classificada como menor ou igual ao diâmetro de 0,250 mm, representando 75,4% da amostra, o que caracteriza o material com pequeno diâmetro médio dos grânulos. Portanto, esse material é muito susceptível à deriva.

O ângulo de repouso do material foi de 46,45°, apresentando característica de escoamento média; de acordo com a Enciclopédia Agrícola Brasileira (1994 apud MIALHE, 1996), materiais que apresentam até 40° para ângulo de repouso apresentam boas características de escoamento e os que apresentam valores acima de 50° são classificados como de baixo índice de escoamento. Sendo assim, o material utilizado é passível de apresentar problemas na deposição da máquina, implicando em variação da dose de aplicação, pois seu valor é muito próximo ao considerado como de baixo escoamento.

A densidade apresentada pelo material foi de 1,17 g.cm⁻³ e a umidade apresentou valores médios de 8,0%, devido à sua alta higroscopicidade.

O resumo da análise de variância dos dados referentes às avaliações de distribuição transversal do produto aplicado, encontra-se na Tabela 1. Para a dose nominal, o teste foi significativo ($p < 0,05$) apenas para dose aplicada. Logo, as doses nominais apresentam efeitos diferentes sobre as doses aplicadas e efeitos semelhantes sobre a defasagem e o alcance. Portanto, a variação da dose nominal não interferiu no erro de aplicação do sistema e nem no alcance de distribuição do produto.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados do teste Tukey, a 5% de probabilidade, para a variável resposta Doses Aplicadas. As médias de doses aplicadas obtidas para a dose nominal 1000 kg.ha⁻¹ são significativamente superiores às doses nominais 600 kg.ha⁻¹ e 300 kg.ha⁻¹, sendo que, essa última apresenta a menor média referente às doses aplicadas.

Na Tabela 3, são apresentados os resultados do teste Tukey, a 5% de probabilidade para a variável resposta Alcance.

Para a fonte de variação marchas, o teste foi significativo ($p < 0,05$) apenas para alcance.

TABELA 1 - Resumo da análise de variância dos dados referentes à dose aplicada (kg.ha⁻¹), defasagem (erros da aplicação %) e alcance (m), para o ensaio de distribuição transversal do produto aplicado.

Fonte de Variação	GL	Dose Aplicada	Defasagem	Alcance
Dose nominal	2	59350,234*	0,688 ^{ns}	0,921 ^{ns}
Marchas	1	0,0 ^{ns}	0,797 ^{ns}	15,559*
Dose nominal*Marchas	2	3,302 ^{ns}	1,981 ^{ns}	1,441 ^{ns}
C.V		0,56	0,25	0,38
Média Geral		615,928	2,671	3,649

GL = Grau de Liberdade; * = valor de F calculado significativo a 5%; ^{ns} = valor de F calculado não significativo; C.V. = coeficiente de variação (%).

TABELA 2 - Médias das doses recomendadas para as diferentes doses programadas de Superfosfato Simples (kg.ha⁻¹).

Doses Nominais	Doses Aplicadas
300	292,752 c
600	583,438 b
1000	971,595 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

TABELA 3 - Médias de alcance para as diferentes marchas, na aplicação de Superfosfato Simples (kg.ha⁻¹).

Marchas	Alcance (m)
2B	3,64 b
3B	3,66 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Logo, as marchas apresentam efeitos diferentes sobre o alcance e efeitos semelhantes sobre as doses aplicadas e defasagem. Com a variação da marcha (velocidade), o alcance de aplicação da máquina aumentou em média 0,02 m, de acordo com os resultados do teste Tukey, a 5% de probabilidade. O fato, porém, não contém relação direta com nenhum mecanismo do sistema de aplicação, pois independente da marcha utilizada, a rotação dos discos de distribuição era a mesma. Um fator que pode ter ocorrido no ensaio é a variação da densidade do material, pois o produto possui higroscopicidade alta e pode ter ocorrido variação das condições climáticas, nos dias de ensaio, fazendo com que o material apresentasse maior umidade, provocando aumento na sua densidade. Molin et al. (2010), em um estudo sobre segregação de nutrientes, observaram alteração na formulação quando aplicados com máquinas de distribuição centrífuga, sendo que os produtos que apresentavam maior densidade e tamanho eram lançados pelo distribuidor a maiores distâncias. O valor apresentado da densidade do produto é um valor médio de várias amostras coletadas ao longo dos dias dos ensaios. Os ensaios em que o material possuía maior umidade sofreu menos interferência entre a energia cinética de aplicação com o meio, apresentando maior alcance de distribuição transversal.

Os valores de alcance máximo de aplicação transversal, obtidos por meio das equações de regressão linear são apresentados na Tabela 4.

Os valores de alcance máximo de aplicação transversal de Superfosfato Simples variaram entre 3,63 e 3,67 m, apresentando alcance médio de 3,65m. Com isso, podemos afirmar que a máquina consegue aplicar o produto utilizado

no teste até o seu valor médio de 3,65 m. Após essa distância, a aplicação não estará dentro dos padrões definidos neste trabalho. Outro fator a ser levado em conta é que, áreas onde se utiliza mecanização da cultura do cafeeiro possuem variação de espaçamento entreplantas de até 4,0 m de distância; a máquina, porém, só consegue aplicar até uma distância média de 3,65 m. Além das características físicas do produto utilizado, as características dos discos de distribuição interferem no alcance de distribuição. De acordo com Baio, Molin e Leal (2012), as principais características dos discos, que afetam a distribuição dos produtos, são o formato e o ângulo das aletas, diâmetro, rotação, altura dos discos e o ponto de queda do fluxo sobre os discos. Sendo assim, um ou vários fatores relacionados às características físicas do produto e dos discos inviabilizaram aplicações de até 4,0 m de distância, como requerido no presente trabalho.

A Tabela 5, apresenta os valores de doses recomendadas e das doses efetivamente aplicadas pelo sistema de aplicação à taxa variável.

Todos os valores de aplicação apresentaram subdosagem e variaram de - 0,74 a -3,7 %, obtendo variação média de -2,67%. Serrano et al. (2007), em uma avaliação semelhante para máquina de aplicação à taxa variável, encontraram valores de erros de aplicação na ordem de 5%. Com isso, podemos afirmar que, em uma variação média de -2,67%, o sistema de aplicação à taxa variável pode se considerar preciso. Quanto aos valores encontrados serem sempre menores do que o programado; pode ser uma evidência de deriva, causando perda de coleta do material devido à velocidade dos discos distribuidores.

TABELA 4 - Valores de Alcance Máximo de aplicação transversal de Superfosfato Simples.

Tratamentos	Equações	R ²	Alcance Máximo (m)
300 kg.ha ⁻¹ marcha 1B	$y = -84,076x + 553,18$	0,9944	3,63
300 kg.ha ⁻¹ marcha 2B	$y = -85,683x + 563,79$	0,9966	3,66
600 kg.ha ⁻¹ marcha 1B	$y = -167,41x + 1103,3$	0,9948	3,63
600 kg.ha ⁻¹ marcha 2B	$y = -170,9x + 1122,5$	0,9966	3,66
1000 kg.ha ⁻¹ marcha 1B	$y = -279,98x + 1846,4$	0,9947	3,64
1000 kg.ha ⁻¹ marcha 2B	$y = -282,3x + 1858,0$	0,9975	3,67
Alcance Máximo Médio = 3,65 m			

O resumo da análise de variância dos dados referentes às avaliações de deposição longitudinal do produto aplicado encontra-se na Tabela 6. Para a fonte de variação Lado, o teste foi significativo ($p < 0,05$), em todas as doses programadas. Logo, o lado de aplicação apresenta efeitos diferentes sobre as doses aplicadas.

Na Tabela 7, são apresentados os resultados do teste Tukey, a 5% de probabilidade para a fonte de variação Lado. Os valores médios significativos para a dose de 300 kg.ha⁻¹ apresentou, para o lado direito, média de 80,33 kg.ha⁻¹ e 90,66 kg.ha⁻¹ para o lado esquerdo, apresentando um valor inferior para o lado direito de 12,16%.

Para os valores médios significativos de aplicação entre os lados, na dose de 600 kg.ha⁻¹ verifica-se média de 151,50 kg.ha⁻¹ para o lado direito e 179,83 kg.ha⁻¹ para o lado esquerdo, apresentando uma variação de 18,69% entre os lados.

Os valores médios significativos para a dose de 1000 kg.ha⁻¹ apresentou média de 249,19 kg.ha⁻¹ para o lado direito e 298,31 kg.ha⁻¹ para o lado esquerdo, observando uma variação entre os lados de 19,71%.

Em todas as doses aplicadas, o lado esquerdo apresentou maior aplicação em relação ao lado direito. Werner et al. (2007), observaram, em seu trabalho, que a variação longitudinal da aplicação de seu equipamento variava como se fosse em ciclos, e concluiu que essa variação foi devida à granulometria do produto, que interferiu na fluidez na máquina. Bonotto et al. (2013,) analisaram a deposição longitudinal de três tipos de fertilizantes em diferentes tipos de distribuidores, no qual observaram, para todos os testes, alto valor de coeficiente de variação na deposição dos mesmos e que esses efeitos eram causados pela intermitência da dose ou pulsionamento da mesma, gerando desuniformidade.

Para o produto utilizado foram verificados valores de ângulo de repouso considerados ruins para o escoamento, fazendo com que qualquer imperfeição que haja na angulação da máquina interfira na aplicação, causando variação.

A Figura 2 representa as variações ocorridas na aplicação longitudinal do produto nas doses 300 kg.ha⁻¹, 600 kg.ha⁻¹ e 1000 kg.ha⁻¹, respectivamente. Como se pode observar na Figura abaixo, o comportamento da aplicação ao longo da linha de deslocamento mostra a variação que ocorre entre os coletores, pontuando valores de 0,5m. É importante ressaltar, que o valor de 100% não é a correta aplicação da dose e sim, a maior aplicação que ocorreu no ensaio. A dose em que ocorreu maior variação foi a de 300 kg.ha⁻¹ e o fator que pode ter contribuído para essa discrepância é a baixa velocidade da esteira, pois essa era a menor dose programada. Assim, a máquina poderia estar perto do seu limite inferior de aplicação, levando o sistema a utilizar baixa vazão de óleo e provocando maior vibração no sistema.

Para a análise do ensaio de regime de trabalho é possível observar, na Tabela 8 as diferentes doses de aplicação, de acordo com a prescrição do mapa de recomendação inserido no controlador para Superfosfato Simples, e o quanto foi aplicado efetivamente. Nos 16 pontos de amostra, o valor que apresentou o maior erro na aplicação foi da ordem de -7,82%, sendo que, houve um ponto que não apresentou erro. O ensaio apresentou um erro médio de aplicação de -3,31%. Cerri (2001), em trabalho semelhante, apresentou erros de aplicação, variando entre 3 a -2,9%.

Todos os erros que ocorreram foram de dosagem inferior à esperada, repetindo uma característica dos ensaios anteriores. Esses dados demonstraram que o sistema, de forma geral, apresentou bons resultados na aplicação de Superfosfato Simples, à taxa variável.

TABELA 5 - Doses Recomendadas e Doses efetivamente aplicadas pelo sistema de distribuição à taxa variável de Superfosfato Simples.

Dose Recomendada (kg.ha ⁻¹)	Dose Aplicada (kg.ha ⁻¹)	Erro (%)
300	290,159	-3,28
300	291,429	-2,86
300	292,698	-2,43
300	293,333	-2,22
300	297,778	-0,74
300	291,111	-2,96
600	577,778	-3,70
600	585,397	-2,43
600	582,222	-2,96
600	590,473	-1,59
600	582,222	-2,96
600	582,540	-2,91
1000	972,311	-2,77
1000	976,521	-2,35
1000	974,686	-2,53
1000	964,343	-3,57
1000	972,311	-2,77
1000	969,400	-3,06

TABELA 6 - Resumo da análise de variância dos dados referentes aos lados de aplicação, nas três doses programadas para o ensaio de distribuição longitudinal do produto aplicado.

Doses Programadas (Kg.ha ⁻¹)	F calculado	Coefficiente de Variação (%)
300	26,031*	5,51
600	145,926*	3,37
1000	313,768*	2,48

* = valor de F calculado significativo.

TABELA 7 - Médias das doses aplicadas para os diferentes lados de aplicação de Superfosfato Simples, nas doses programadas de 300, 600 e 1000 kg ha⁻¹.

Lado	Dose Aplicada (kg.ha ⁻¹)		
	300	600	1000
Direito	80,83 b	151,50 b	249,19 b
Esquerdo	90,66 a	179,83 a	298,31 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

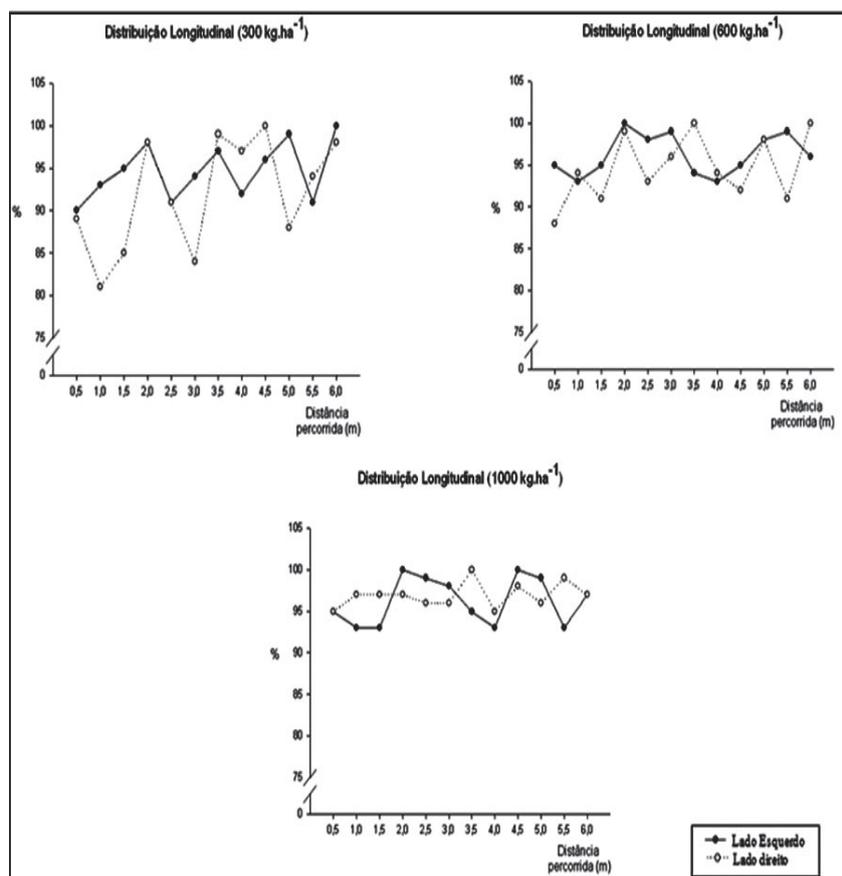


FIGURA 2 - Valores percentuais da aplicação longitudinal, nas doses de 300, 600 e 1000 kg ha⁻¹.

TABELA 8 - Doses Recomendadas e Doses efetivamente aplicadas pelo sistema de distribuição à taxa variável de Superfosfato Simples

Dose Recomendada (kg.ha ⁻¹)	Dose Aplicada (kg.ha ⁻¹)	Erro (%)
400	371	-7,82
550	530	-3,77
800	784	-2,04
300	293	-2,39
0	0	0,00
300	254	-3,30
550	533	-3,19
800	773	-3,49
400	378	-5,82
550	563	-2,31
800	789	-1,39
400	388	-3,09
400	391	-2,30
400	387	-3,36
400	393	-1,78
400	374	-6,95

4 CONCLUSÕES

As variações de doses e velocidades não interferiram na precisão de aplicação do sistema, validando o uso do controlador em diferentes condições de campo.

A aplicação do sistema à taxa variável em condições reais de campo apresentou variação baixa, e pode ser caracterizada como de boa precisão.

Com os métodos utilizados no presente trabalho, é possível avaliar as diferentes variáveis que a cultura do cafeeiro requer, para que se tenha alta qualidade na aplicação de fertilizantes.

5 REFERÊNCIAS

- BAIO, F. H. R.; MOLIN, J. P.; LEAL, A. J. F. Avaliação comparativa da distribuição transversal de adubos sólidos aplicados em culturas anuais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 4, p. 527-536, jul./ago. 2012.
- BONOTTO, J. B. et al. Distribuição longitudinal de fertilizantes por dosadores de semeadoras adubadoras em linhas. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 21, n. 4, p. 368-387, jul. 2013.
- BOTTEGA, E. L. et al. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 1-9, jan. 2013.
- CERRI, D. G. P. **Desenvolvimento de um sistema de aplicação localizada de calcário a taxas variáveis**. 2001. 72 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2001.
- FERRAZ, G. A. E. S. et al. Agricultura de precisão no estudo de atributos químicos do solo e da produtividade de lavoura cafeeira. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 59-67, jan./abr. 2012.
- _____. Viabilidade econômica do sistema de adubação diferenciado comparado ao sistema de adubação convencional em lavoura cafeeira: um estudo de caso. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 5, p. 906-915, out. 2011.
- FERREIRA, D. F. **SISVAR sistema de análise de variância para dados balanceados**. Versão 4.0. Lavras: UFLA, 1999. Software.
- GARCIA, A. P.; CAPPELLI, N. L.; UMEZU, C. K. Auger-type granular fertilizer distributor: mathematical model and dynamic simulation. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 1, p. 151-163, fev. 2012.
- MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas, ensaios & certificação**. São Paulo: Shekinah, 1996. 722 p.
- MOLIN, J. P. et al. Test procedure for variable rate fertilizer on coffee. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 32, n. 4, p. 569-575, out./dez. 2010.
- SEREIA, V. J.; CAMARA, M. R.; CINTRA, M. V. Competitividade internacional do complexo cafeeiro brasileiro e paranaense. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 3, p. 557-578, jul./set. 2008.
- SERRANO, J. M. et al. Avaliação de um distribuidor centrífugo de adubo na perspectiva de utilização em agricultura de precisão. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 30, n. 1, p. 79-86, jan. 2007.
- SILVA, F. M. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade na cultura do café. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 401-407, mar./abr. 2007.
- UMEZU, C. K.; CAPPELLI, N. L. Desenvolvimento e avaliação de um controlador eletrônico para equipamentos de aplicação de insumos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 225-230, mar. 2006.
- WERNER, V. et al. Aplicação de fertilizantes a taxa variável em agricultura de precisão variando a velocidade de deslocamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 6, p. 658-633, nov./dez. 2007.