

EFEITO DA DECLIVIDADE NOS PARÂMETROS DE DESEMPENHO NA COLHEITA MECANIZADA DO CAFÉ

JOÃO PAULO B. CUNHA¹, FABIO M. DA SILVA², EDNILTON T. ANDRADE³, MURILO M. DE BARROS⁴

¹ Professor Doutor, Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, (21) 26821864, engbarretocunha@gmail.com

² Professor Doutor, Departamento de Engenharia/PPGEA, Universidade Federal de Lavras, (35) 38291464, famsilva@deg.ufla.br

³ Professor Doutor, Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, (35) 38291669, ednilton@deg.ufla.br

⁴ Professor Doutor, Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, (21) 26821864, engmurilo@yahoo.com.br

Apresentado no
XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015
13 a 17 de setembro de 2015- São Pedro- SP, Brasil

RESUMO: A utilização de máquinas na cafeicultura moderna é um processo relativamente novo, e a determinação dos parâmetros de desempenho de forma adequada é um desafio. O conhecimento da influencia de determinadas variáveis que influenciam no desempenho operacional podem gerar modelos que permitam estimar de maneira precisa esses parâmetros possibilitando assim a otimização e o gerenciamento das operações mecanizadas. Uma dessas ferramentas é o uso da metodologia de superfície de resposta (MSR), que permite verificar a influencia de diferentes variáveis independentes e a resposta gerada permite alcançar um valor ótimo. O presente estudo teve como objetivo verificar a influência da velocidade, comprimento médio da linha de plantio e declividade das áreas nos parâmetros de desempenho operacional na colheita mecanizada de café, utilizando a MSR. Os resultados mostraram que a declividade influencia diretamente no desempenho operacional da colheita mecanizada de café, e os modelos gerados e sua interação com a velocidade operacional e comprimento das ruas do talhão mostraram-se satisfatórios.

PALAVRAS-CHAVE: Mecanização, eficiência de campo, erro médio, modelagem.

EFFECT OF DECLIVITY IN PERFORMANCE PARAMETERS IN MECHANICAL HARVEST COFFEE

ABSTRACT: The use of machines in modern coffee crop is relatively a new process, and the determination of appropriately performance parameters is a challenge. Knowledge of the influence of certain variables that influence the operating performance can generate models to estimate precisely these parameters thus enabling the optimization and management of the mechanized operations. One such tool is the use of response surface methodology (RSM), which allows checking the effects of different independent variables and the response generated to allow for a great value. This study aimed to verify the influence of speed, average length of streets and slope in the operational performance parameters in coffee mechanized harvest, using the RSM. The results show that the declivity directly influences the operating performance of mechanical harvesting of coffee, and generated models and their interaction with the operating speed and length of the field of the streets were satisfactory

KEYWORDS: Mechanization, field efficiency, mean error, modeling.

INTRODUÇÃO

A viabilidade das lavouras cafeeiras atualmente depende principalmente da redução dos custos da colheita, que representa entre 30 a 40% dos custos totais de produção. De acordo com Oliveira et al. (2007) a operação de colheita do café é a operação mais complexa e importante pois, o café é um dos poucos produtos agrícolas brasileiros que tem seu preço baseado em parâmetros qualitativos. Dentre os maiores benefícios da colheita mecanizada, a rapidez da operação implica numa maior qualidade do produto e redução de perdas no processo, reduzindo consideravelmente o preço final da saca de café.

Por meio da mecanização dos sistemas produtivos, é possível elevar os níveis de produtividade das culturas, principalmente pelo aumento da capacidade operacional dos sistemas mecanizados em relação às operações manuais. De acordo com Neres et al. (2012), o desempenho operacional de uma máquina agrícola é definido como um complexo conjunto de informações que determinam suas características ao executarem as operações sob determinadas condições, servindo também de base para importantes tomadas de decisão sobre o gerenciamento do maquinário agrícola.

Na agricultura moderna, a utilização de modelos matemáticos passou por um grande desenvolvimento desde o fim da década de 80, o que permitiu analisar as diferentes variáveis que compõem os sistemas agrícolas e os otimizar. O conhecimento gerado e a facilidade de planejamento futuro das atividades com a utilização destas técnicas torna-se uma das principais ferramentas para o uso racional de conjuntos mecanizados. Uma das ferramentas utilizadas para a modelagem de dados são as chamadas superfícies de resposta. De acordo com Myers e Montgomery (1995), a metodologia de superfície de resposta (MSR) é uma coleção de técnicas matemáticas e estatísticas que são utilizadas para modelar e analisar problemas nos quais a resposta de interesse é influenciada por muitas variáveis. A resposta gerada deve alcançar um valor ótimo e a forma de relacionamento entre a variável de resposta e as variáveis independentes são desconhecidas.

De acordo com Freund e Littel (2000), a utilização desses modelos é de grande aplicabilidade prática, pois permitem modelar mais de um fator simultaneamente e testar a interação dos fatores envolvidos no processo. De uma maneira geral essa metodologia já é bastante usada em alguns segmentos, como no estudo de rendimento agrônômico de cultivares e irrigação. Em contrapartida, para o estudo de parâmetros de desempenho em operações mecanizadas, essa metodologia é pouco utilizada. Com base no exposto, o presente estudo foi conduzido com o objetivo de verificar a influência da velocidade, comprimento médio de ruas e declividade das áreas nos parâmetros de desempenho operacional, em diferentes operações mecanizadas na cafeicultura, utilizando a metodologia de superfície de resposta (MSR).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nas Fazendas Conquista e Capoeirinha, localizadas no município de Alfenas, Minas Gerais. Os dados que serviram de base para a modelagem, foram coletados em diferentes talhões nas safras 2012/2013 e 2013/2014, em áreas em que se utilizavam diferentes cultivares de café adaptadas à mecanização, segundo Silva e Carvalho (2011), apresentando declividades de até 20% e solo predominantemente classificado como Latossolo Vermelho. Na operação de colheita mecanizada das áreas estudadas, utilizou-se uma colhedora automotriz da marca Jacto, modelo K3 Millenium, com potência nominal de

61,8 kW (82 cv), apoiada sobre quatro rodados e trabalhando em uma velocidade operacional de 1200 m h⁻¹ e vibração de 950 ciclos por minuto.

Para a obtenção da área total de cada talhão, os comprimentos de cada linha de cultivo dos talhões avaliados, trajeto percorrido pelas máquinas e sua velocidade operacional, foi utilizado um receptor GPS/A-GPS (*Global Positioning System*), o que permitiu acelerar a obtenção da localização, aumentando a funcionalidade do receptor. O armazenamento dos dados coletados em campo pelo receptor foi obtido em uma frequência de um dado a cada cinco segundos. Com base nos dados obtidos pelo receptor, foram gerados bancos de dados e posteriormente armazenados e analisados pelo software CR 7 Campeiro®, o que permitiu a posterior obtenção dos parâmetros de desempenho avaliados no presente estudo. Os parâmetros de desempenho foram calculados por meio de planilha eletrônica, sendo possível a determinação da capacidade de campo efetiva (Cce), o tempo demandado das operações (Td) e a eficiência de campo (Ec).

De acordo com Colaço et al. (2008), para a geração de modelos, são utilizados diferentes métodos. Dentre estes métodos estão, por exemplo, técnicas baseadas em modelos lineares ou não lineares, mínimos quadrados e funções de base radial. Diante desse cenário, no presente estudo, utilizaram-se técnicas baseadas em modelos lineares, por representar melhor o comportamento natural das variáveis a serem estudadas.

Os dados utilizados para a geração dos modelos foram submetidos a uma análise prévia, verificando assim a presença de dados discrepantes, testar a homogeneidade das variâncias e normalidade dos erros (FREUND; LITTELL, 2000). Segundo Mondin (2014), a metodologia de superfície de resposta é um procedimento sequencial, assumindo-se que na maioria das experiências inicia-se analisando modelos lineares para verificar a interação dos fatores. Sendo assim, o modelo genérico proposto para as variáveis respostas capacidade de campo efetiva, eficiência de campo e tempo demandado, está descrito na Equação 1.

$$Z_i = X_i \cdot a + Y_i \cdot b + c \quad (1)$$

Em que:

Z_i - Parâmetro de desempenho estudado;

X_i - Comprimento médio das linhas de plantio (m);

Y_i - Velocidade operacional (km h⁻¹);

a, b, c - Coeficientes da equação.

Os modelos propostos foram gerados realizando-se o estudo da regressão com modelos de primeiro grau por meio do procedimento de ajuste de modelos não lineares, o que permitiu a escolha do modelo que melhor representava as características das variáveis em estudo, ou seja, velocidade operacional, declividade das áreas e comprimento médio das ruas de café.

A significância dos modelos foi obtida por meio da análise de variância, em nível de 5% de significância. Com relação a precisão e acurácia dos modelos gerados foi obtida por meio da determinação dos estimadores, onde segundo Reis et al. (2012), as magnitudes do coeficiente de determinação (R²), do erro médio relativo (p), do erro médio estimado (SE) e do teste do qui-quadrado (x²), foram utilizadas para a verificação do grau de ajuste dos modelos, conforme Almeida et al (2003).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise do efeito da declividade foi realizada para a operação de colheita, pois diferentemente das outras operações mecanizadas que compõem o ciclo produtivo do café,

esta operação é realizada em cima das linhas de plantio dos cafeeiros e não nas linhas de plantio, fazendo com que o efeito da declividade na operação seja realmente verificado.

Conforme a Tabela 1, com base na correlação de Pearson entre a declividade e as variáveis estudadas, é possível observar que a declividade apresentou correlação somente com a velocidade operacional, não sendo significativa a correlação da declividade com o comprimento médio das ruas do talhão. Esse resultado já era esperado, pois em terrenos com declividades maiores a tendência é de redução da velocidade operacional das colhedoras pela própria limitação das máquinas, que possuem centro de gravidade elevado, o que muda a estabilidade e aumenta a necessidade de se operar em velocidades mais baixas.

TABELA 1. Correlação entre a declividade do terreno e: velocidade operacional (Vel. Op); comprimento linhas de plantio (Comp.); capacidade de campo efetiva (Cce); eficiência de campo (Ec) e tempo demandado (Td).

	Vel. Op	Comp.	Cce	Ec	Td
Declividade	-0,503*	0,129 ^{ns}	-0,491*	0,301 ^{ns}	0,496*

*Coeficiente de correlação de Pearson significativo a 1%.

Com relação aos parâmetros de desempenho, observa-se que a capacidade de campo efetiva e o tempo demandado apresentam correlação moderada e significativa, ou seja, à medida que a declividade aumenta a capacidade de campo reduz e seu tempo demandado (Td) aumenta. Não houve efeito significativo da declividade na eficiência de campo, sendo este parâmetro mais relacionado ao comprimento médio das ruas e o tempo médio gasto com manobras de cabeceira.

Diante desse resultado foram determinados os modelos que permitiram verificar o efeito da declividade nos parâmetros de desempenho capacidade de campo efetiva e tempo demandado. Na Tabela 2, observando os modelos gerados e seus estimadores, é possível dizer que os estimadores para os modelos propostos apresentaram valores aceitáveis. No caso do erro médio relativo, ambos os modelos apresentaram valores acima de 10%. Mesmo assim, os modelos apresentaram coeficientes de determinação aceitáveis e que explicam satisfatoriamente a interação dos fatores no parâmetro de desempenho avaliado, ou seja, 85,94 e 76,34% para a capacidade de campo e tempo demandado respectivamente. Tais valores podem ser explicados pela diferença de declividade em diferentes pontos das áreas estudadas, o que acabou elevando os erros nos modelos gerados.

TABELA 2. Modelos propostos para o efeito da declividade nos parâmetros capacidade de campo efetiva e tempo demandado na colheita mecanizada de café

Modelos Propostos	R ²	x ²	SE	P
Cce = 864,6 + 3,207C - 59,66D + 845,9V	85,8	0,480	2,78	5,79
Td = 4,135 - 0,0072C + 0,168D - 1,189V	77,6	0,205	0,45	12,7

Diante dos resultados foram geradas as superfícies de resposta para cada faixa de declividade trabalhada nas áreas. As faixas de declividade das áreas estudadas foram duas, de 5 a 10% e 10 a 15%, consideradas ideais para a operação com esse tipo de colhedora. A Figura 1 mostra as superfícies geradas para a capacidade de campo efetiva em função das faixas de declividade. É possível observar a grande influência da velocidade operacional na capacidade de campo efetiva. As superfícies geradas apresentaram coeficiente de determinação acima de 90%, resultado considerado satisfatório. Em contrapartida na superfície para a faixa de declividade de 10 a 15% o modelo apresentou estimadores considerados fora do padrão, o que explica uma menor acurácia da superfície.

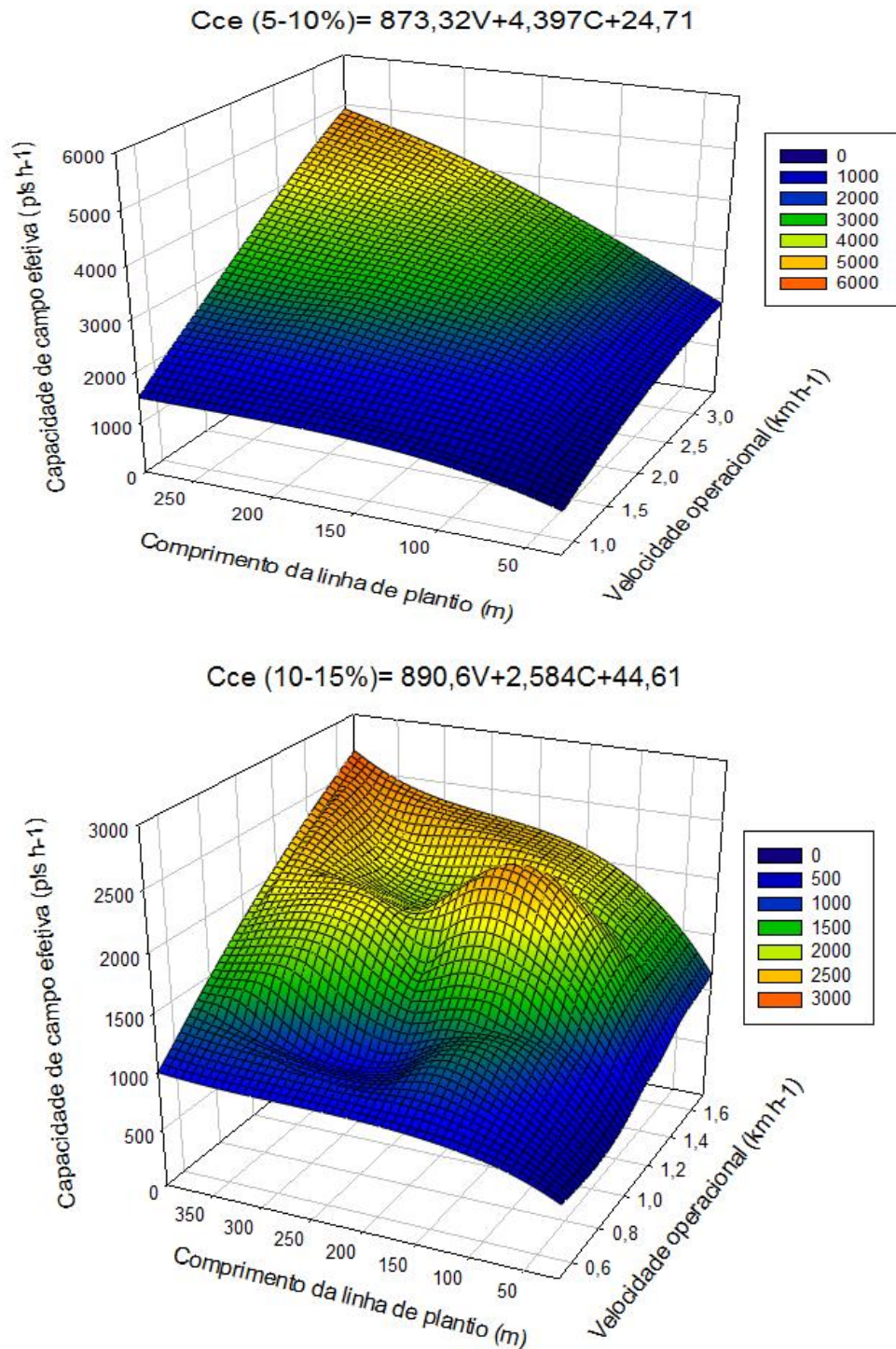


FIGURA 1. Superfícies de resposta da capacidade de campo efetiva para as faixas de declividade avaliadas.

Com relação as superfícies geradas presentes na Figura 2, para o tempo demandado as mesmas apresentaram coeficiente de determinação acima de 85%, resultado considerado satisfatório. Em contrapartida, da mesma forma que a capacidade de campo efetiva, para a faixa de declividade de 10 a 15% o modelo apresentou estimadores considerados fora do padrão, o que explica uma menor acurácia da superfície. Esses resultados indicam que nas áreas em que a declividade se encontrava nessa faixa a máquina estava mais suscetível a

influencia desse fator devido a estar operando perto do limite aceitável, limitando assim sua operação, trabalhando em menores velocidades e conseqüentemente aumentando o tempo gasto por unidade de área.

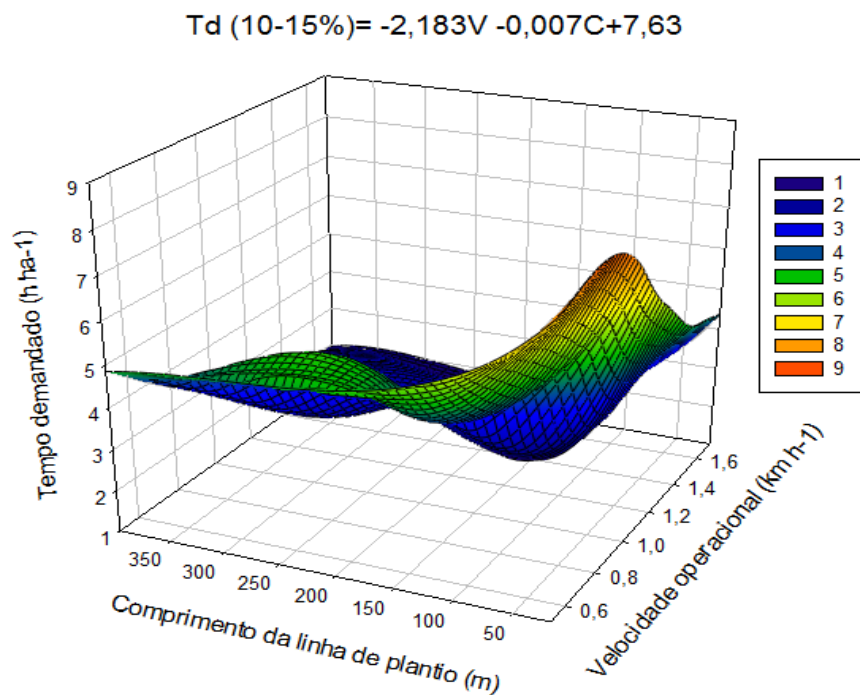
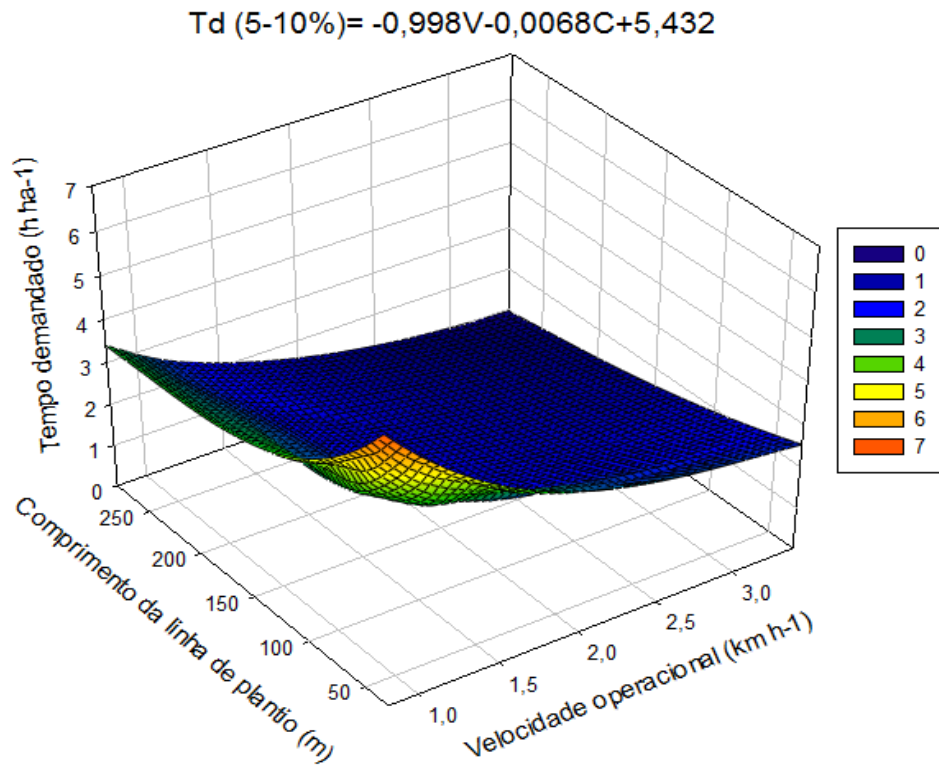


FIGURA 2. Superfícies de resposta do tempo demandado para as faixas de declividade avaliadas.

A declividade é um fator que influencia diretamente no rendimento operacional da colheita, principalmente pela questão do nivelamento da máquina. Trabalhos que abordam o efeito deste parâmetro são bastante explorados na silvicultura e podem servir de comparação com os obtidos no presente estudo pelas similaridades em relação às áreas cultivadas, entre esta atividade e a cafeicultura.

Segundo Leite et al. (2014), a declividade é um fator que influencia diretamente na produtividade de máquinas, observando assim que com a diminuição da declividade do terreno, o rendimento operacional tende a aumentar, chegando a produtividade maiores em 28% quando comparadas a áreas com declividade mais acentuada (BIRRO et al., 2002).

CONCLUSÕES

A declividade influencia diretamente no desempenho operacional da colheita mecanizada de café, e os modelos gerados com sua interação com a velocidade operacional e comprimento das ruas do talhão mostraram-se satisfatórios.

A metodologia de superfície de resposta mostrou-se uma importante ferramenta para verificar o efeito das variáveis nos parâmetros de desempenho, e a escolha dos modelos passou primeiramente pelas características de comportamento das variáveis estudadas.

AGRADECIMENTOS

À Ipanema Coffees, CAPES, UFLA pelo auxílio no desenvolvimento do estudo.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. A. et al. Componentes químicos e estudo da umidade de equilíbrio em vagens de algaroba. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 43-50, jan./jun. 2003.
- BIRRO, M. H. B. et al. Avaliação técnica e econômica da extração de madeira de eucalipto com “track-skidder” em região montanhosa. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 26, n. 5, p. 525-532, set./out. 2002.
- COLAÇO, M. et al. A Response surface method-based hybrid optimizer. *Inverse Problems in Science and Engineering*, Washington, v. 16, n. 6, p. 717-741, Sept. 2008.
- FREUND, R. J.; LITTELL, R. C. *SAS® Sistem for regression*. 4. ed. Cary: SAS Institute, 2000.
- LEITE, E. S. et al. Desempenho do Harvester na colheita de eucalipto em diferentes espaçamentos e declividades. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 1-6, jan./fev. 2014.
- MONDIM, A. F. S. *Metodologia de superfície de resposta: Uma investigação no âmbito da indústria cerâmica e do vidro*. 2014. 109 p. Dissertação (Mestrado em Estatística, Matemática e Computação) - Universidade Aberta, Lisboa, 2014.
- MYERS, R. H.; MONTGOMERY, D. C. *Response surface methodology: process and product optimization using design of experiments*. . 2. ed. New York: Interscience, 1995.
- NERES, J. S. et al. Desempenho operacional de um trator agrícola e suas implicações de uso em alguns atributos físicos de um Latossolo Amarelo em Altamira-PA. *Engenharia Ambiental*, Espírito Santo do Pinhal, v. 9, n. 3, p. 62-77, jul./set. 2012.
- OLIVEIRA, E. et al. Custos operacionais da colheita mecanizada do cafeeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 42, n. 6, p. 827-831, jun. 2007
- SILVA, F. M. da; CARVALHO, G. R. Evolução da mecanização na cafeicultura. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 32, n. 261, p. 52-65, mar./abr. 2011.

REIS, R. C. et al. Cinética de secagem em folhas de manjeriço (*Ocimum ba.silicum* L.) via infravermelho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 16, n. 12, p. 1346–1352, dez. 2012.