



JOÃO PAULO BARRETO CUNHA

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA
MECANIZAÇÃO NA CAFEICULTURA**

LAVRAS - MG

2015

JOÃO PAULO BARRETO CUNHA

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA MECANIZAÇÃO DA
CAFEICULTURA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Máquinas e Mecanização Agrícola, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Fabio Moreira da Silva

LAVRAS - MG

2014

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

Cunha, João Paulo Barreto.

Análise Técnica e Econômica da Mecanização na
Cafecultura / João Paulo Barreto Cunha. – Lavras : UFLA,
2015.

102 p.

Tese(doutorado)–Universidade Federal de Lavras, 2014.

Orientador(a): Fabio Moreira da Silva.

Bibliografia.

1. Desempenho operacional. 2. Tempos e movimentos. 3.
Custos operacionais. 4. Mecanização agrícola. I. Universidade
Federal de Lavras. II. Título.

JOÃO PAULO BARRETO CUNHA

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA MECANIZAÇÃO DA
CAFEICULTURA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Máquinas e Mecanização Agrícola, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADO em 15 de dezembro de 2014.

Dr. Ednilton Tavares de Andrade	UFLA
Dr. Virgílio Anastácio Silva	UFLA
Dr. Flávio Castro da Silva	TER/UFF
Dr. Gabriel Araújo de Silva Ferraz	UFLA

Dr. Fábio Moreira da Silva
Orientador

LAVRAS - MG

2014

Aos meus pais Paulo e Fátima, aos meus irmãos e a todos que me incentivaram
das mais variadas formas.

OFEREÇO E DEDICO!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela sua presença, guiando-me nos momentos de dificuldade, iluminando meus caminhos, me fortalecendo para cada batalha que enfrentei na vida.

Aos meus pais, Paulo e Fátima, pelo apoio em todos os momentos dessa trajetória e por estarem sempre ao meu lado me incentivando.

Aos amigos e familiares, em especial aos meus irmãos João Gabriel, Carolina, Natacha e Guilherme, pela força, carinho e amizade.

À minha boneca, parceira, companheira, amor e amuleto Ana Carolina Oliveira.

Ao professor, Dr. Fábio Moreira da Silva, pelos preciosos ensinamentos e pela amizade.

À Universidade Federal de Lavra (UFLA) e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade concedida para a realização do doutorado.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), pela ajuda na concessão de horário especial para a finalização do presente trabalho.

Aos demais professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e do setor de Cafeicultura do Departamento de Agronomia.

A Ipanema Coffees e seus funcionários, em especial aos senhores Igor, Eduardo e Tônico, pela grandiosa ajuda na realização do presente estudo.

Aos amigos da salinha dos oprimidos, pelas risadas, em especial aos amigos Murilo, Flávio, Rogner, Fagner, Vanderson, Vanessa, Rodrigão, Luís Carlos, Gonzaga, Delorme, Felipe, Marcos Gaudério, Ronan, Rose, Marimba e Laís.

Aos demais amigos da UFLA e de Lavras, pela convivência e ajuda em diversos momentos.

O difícil nós fazemos agora, o impossível leva um pouco mais de tempo.

Bem Gurion

Se o problema tem solução, não esquite a cabeça, porque tem solução.
Se o problema não tem solução, não esquite a cabeça, porque não tem solução.

Provérbio chinês

RESUMO GERAL

Dentre as inúmeras atividades agrícolas, a cafeicultura gera lucros desde a época imperial do Brasil. Com a sua evolução para a escala industrial, a adoção de tecnologia se faz cada vez mais presente, a exemplo da mecanização, que atualmente, tornou-se realidade entre os cafeicultores. Inúmeras operações antes realizadas de forma manual passaram a ser mecanizadas, o que permitiu a redução de custos e aumento da praticidade das operações. Estudos relacionados ao melhor aproveitamento do maquinário agrícola utilizado na cafeicultura e seu desempenho operacional ainda são escassos. Existe uma dificuldade em utilizar parâmetros de desempenho adequados à cafeicultura, desde a implantação da cultura até as operações que compõem a colheita mecanizada, devido à diversidade de condições existentes em uma mesma lavoura, em função do porte das plantas, declividade e formato dos talhões, dentre outras características que influenciam diretamente no desempenho das máquinas utilizadas. O presente trabalho tem por objetivos avaliar e determinar parâmetros de desempenho operacional e a viabilidade técnica de diferentes operações mecanizadas realizadas na cultura do café, como o preparo de covas e transplante semimecanizado, que compõem as operações de implantação da cultura, a adubação, aplicação de agroquímicos, manejo de plantas invasoras e poda que compõem as operações de tratos culturais, e a colheita mecanizada, varrição e recolhimento que constituem as operações de colheita do café. Diante do exposto, com relação à determinação e avaliação dos parâmetros de desempenho em máquinas convencionais utilizadas na cafeicultura, os resultados mostram que os parâmetros de desempenho apresentam alta correlação com a velocidade operacional dos conjuntos mecanizados. Na realização da análise técnica e econômica das diferentes operações mecanizadas do ciclo produtivo do café, o estudo mostra que as operações mecanizadas são viáveis, com exceção das operações de levantamento de “café de chão”. A disponibilidade de trabalho dos conjuntos mecanizados avaliados está relacionada com a maior quantidade de tempos perdidos com reparos e manutenção.

Palavras-chave: Desempenho operacional. Custos operacionais. Tempos e movimentos. Velocidade operacional. Mecanização agrícola.

GENERAL ABSTRACT

Among the numerous agricultural activities, coffee generates profit since the imperial period in Brazil. With its evolution to industrial scale, technology adoption is ever more present, such as in the use of mechanization, which currently became reality among coffee producers. Numerous operation, previously performed manually, became mechanized, enabling cost reduction and increase in the practicality of the operations. Studies regarding the better use of agricultural machinery used in coffee production and its operating performance are still scarce. There is difficulty in using performance parameters adequate for coffee culture, from the implementation of the culture to the operations of mechanized harvest, due to the diversity of conditions existent in a single crop, in function of the size of the plants, declivity and form of the plots, among other traits that directly influence machinery performance. The present study aims at evaluating and determining parameters for operating performance and technical feasibility of different mechanized operations performed on coffee culture, such as the preparation of hollows and semi-mechanized transplantation, which comprise the operations for implementing the culture, fertilization, application of agrochemicals, invasive plant management and pruning; and mechanized harvest, sweeping and gathering, which constitute coffee harvesting operations. In light of the exposed, regarding the determination and evaluation of the performance parameters in conventional machinery used in coffee culture, the results show that the performance parameters present high correlation with operational speed of the mechanized sets. In performing the technical and economic analysis of the different mechanized operations of the productive cycle, the study shows that the mechanized operations are feasible, with the exception of the “ground coffee” gathering operation. The availability of works of the mechanized sets evaluated is related to the higher amount of time lost with repairs and maintenance.

Keywords: Operating Performance. Operating costs. Time and motion. Operating speed. Agricultural mechanization.

LISTAS DE ABREVIATURAS

ASAE	American Society of Agricultural Engineers
ASABE	American Society of Agricultural and Biological Engineers
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
Cce	Capacidade de campo efetiva
Cco	Capacidade de campo operacional
Cct	Capacidade de campo teórica
D _m	Disponibilidade mecânica
EC	Eficiência de Campo
E _u	Eficiência de utilização
E _o	Eficiência operacional
FGTS	Fundo de Garantia por Tempo de Serviço
GLR	Grau de Liberdade do Resíduo
INSS	Instituto Nacional do Seguro Social
h ha ⁻¹	Horas por hectare
ha h ⁻¹	Hectare por hora
Km h ⁻¹	Quilômetro por hora
MSR	Modelo de Superfície de Resposta
P	Erro médio relativo
PSI	Programa de Sustentação do Investimento
R ²	Coefficiente de determinação
SE	Erro médio estimado
TD	Tempo Demandado
Y	Valor observado
Y _o	Valor predito
X ²	Qui-quadrado

SUMÁRIO

	CAPÍTULO 1 Introdução Geral	12
1	INTRODUÇÃO	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Mecanização na cafeicultura	14
2.2	Desempenho operacional de conjuntos mecanizados	16
2.3	Estudo de tempos e movimentos	18
2.4	Custos operacionais associados às máquinas agrícolas	20
	REFERÊNCIAS	22
	CAPÍTULO 2 Eficiência de campo em diferentes operações mecanizadas na cafeicultura	26
1	INTRODUÇÃO	28
2	MATERIAL E MÉTODOS	30
2.1	Caracterização da área	30
2.2	Conjuntos mecanizados utilizados	31
2.3	Parâmetros de desempenho determinados	32
2.4	Análise estatística dos dados	35
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4	CONCLUSÕES	48
	REFERÊNCIAS	49
	CAPÍTULO 3 Modelagem dos parâmetros de desempenho em diferentes operações mecanizadas da cafeicultura	51
1	INTRODUÇÃO	53
2	MATERIAL E MÉTODOS	55
2.1	Caracterização da área e operações estudadas	55
2.2	Parâmetros de desempenho avaliados	55
2.3	Determinação dos modelos de superfície de resposta	56
2.4	Determinações dos estimadores dos modelos gerados	57
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
3.1	Análise do efeito da declividade na operação de colheita	68
4	CONCLUSÃO	71
	REFERÊNCIAS	72
	CAPÍTULO 4 Estudo dos tempos e movimentos de diferentes operações mecanizadas na cafeicultura	75
1	INTRODUÇÃO	77
2	MATERIAL E MÉTODOS	79
2.1	Operações mecanizadas avaliadas	79
2.2	Determinação dos tempos de trabalho	80
2.2.1	Caracterização dos tempos de trabalho	80
2.2.2	Disponibilidade mecânica (Dm)	82

2.2.3	Eficiência de utilização (Eu)	82
2.2.4	Eficiência operacional (E _o).....	83
2.3	Custos operacionais	83
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	87
3.1	Análise técnica das operações estudadas	87
3.2	Determinação dos tempos produtivos e improdutivos	88
3.3	Determinação dos custos de produção.....	92
3.4	Estimativa da viabilidade econômica das operações mecanizadas estudadas	96
4	CONCLUSÃO	99
	REFERÊNCIAS	100

CAPÍTULO 1 Introdução Geral

1 INTRODUÇÃO

Tratando-se de um dos principais setores da economia nacional, o agronegócio café apresenta expressiva participação na pauta de exportação, na geração de empregos diretos e na distribuição de renda, sendo um dos principais produtos estratégicos do país.

De uma maneira geral, a história da cafeicultura revela a incessante busca por maiores produtividades. Com sua evolução para a escala industrial, a adoção de tecnologia se fez cada vez mais necessária, sendo o uso da mecanização uma realidade entre os cafeicultores, permitindo redução de custos e possibilitando maiores benefícios para a produção desta *commoditie*.

Na agricultura moderna, cada vez mais se exige o uso racional de todos os meios de produção. As máquinas ocupam um grande espaço nesse conceito, visto que, a mecanização tem como conceitos básicos multiplicar a capacidade produtiva e permitir a obtenção de maior eficiência na produção agrícola.

Dessa forma, com o mercado cada vez mais competitivo, a adequação dos produtores às novidades tecnológicas pode decretar o sucesso da atividade. O produtor adepto à tecnologia considera alguns propósitos como a redução dos custos e o aumento da capacidade operacional dos conjuntos mecanizados utilizados, buscando assim maximizar o uso e a eficiência nas operações.

Basicamente, o desempenho operacional de máquinas agrícolas é o conjunto de informações que determinam atributos na execução de operações sob determinadas condições de trabalho. Estas informações podem conter características operacionais: referentes à qualidade e quantidade de trabalho; e características dinâmicas, referentes à potência requerida e a velocidades

operacionais; e de manejo, referentes às regulagens, reparos e manutenção das máquinas.

Diante deste cenário, um dos grandes problemas para o gerenciamento agrícola das operações na cafeicultura, desde o transplântio até a colheita, é o fato que ainda são raros a utilização de parâmetros de desempenho operacional adequados. Dentro desse contexto, o presente trabalho tem por objetivos avaliar e determinar parâmetros de desempenho operacional das diferentes operações mecanizadas da cultura do café, visando um melhor gerenciamento das atividades mecanizadas.

De forma específica, o presente estudo foi organizado em função da ordem em que os estudos foram realizados, ou seja, primeiramente foi realizada a determinação da eficiência de campo de conjuntos de máquinas convencionais usadas na cafeicultura; em seguida realizou-se a modelagem por meio da metodologia de superfície de resposta dos parâmetros de desempenho operacional obtidos, e posteriormente a análise técnica e econômica das diferentes operações mecanizadas estudadas no presente trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Mecanização na cafeicultura

A mecanização na agricultura iniciou-se com o desenvolvimento de dispositivos mecânicos acionados pelo homem e animais. Posteriormente, com o surgimento dos motores diesel, estes passaram a ser acionados e tracionados por tratores, o que permitiu grande evolução no trabalho do campo.

Vian e Andrade Junior (2010) citam que a mecanização modificou definitivamente a trajetória das técnicas de produção e oferta de produtos agrícolas no mundo, assim como a necessidade de envolvimento de mão de obra na produção agrícola. Dessa maneira, a crescente demanda por mecanização passa pelo uso de equipamentos que utilizam tecnologias cada vez mais avançadas.

Por ser uma cultura de destaque no Brasil, nos últimos anos, a cafeicultura passou por grandes modificações, como a introdução da mecanização em diferentes operações, antes realizadas manualmente. De acordo com Avelar e Silva (2012), a mecanização soma-se a um conjunto de fatores tecnológicos que permitem a condução de lavouras de forma adequada, visando basicamente à qualidade da bebida, altas produtividades e sustentabilidade da produção.

Entre as décadas de 1970 e 1990, houve uma grande renovação dos cafezais, atuando em regiões antes não exploradas, como as regiões de cerrado (ORTEGA; MOURO, 2007). Coincidente nesse período foi detectada a ferrugem do cafeeiro, o que permitiu a abertura dos espaçamentos para a facilidade dos tratamentos fitossanitários realizados por pulverizadores. Diferente da previsão que dava conta do fim da cafeicultura, o avanço na disponibilidade de máquinas vem permitindo o controle de diversas pragas e

doenças e contribui para o crescimento em área e produtividade (CASALE, 2012).

Dentre as atividades mecanizadas no ciclo produtivo do café estão as adubações químicas e orgânicas, o transplântio e preparo das áreas, a pulverização, tratos culturais com desbrota, podas e colheita, englobando operações como arruação, derriça e recolhimento do “café de chão”. Para a realização de tantas operações, segundo Vasconcelos, Silva e Melo (2013), a mecanização tende à modernização utilizando tratores, colhedoras e implementos agrícolas mais eficientes e que proporcionam maior agilidade aos trabalhos a serem realizados.

Segundo Matiello, Almeida e Garcia (2013), com o uso adequado do maquinário, é possível um trabalho em menor tempo, devido ao maior rendimento dos implementos, o que representa uma maior redução dos custos de produção. Em contrapartida, a mecanização não passa simplesmente pela aquisição de máquinas e implementos. Além de operadores treinados, é necessária a combinação correta do maquinário para a propriedade, permitindo investimento racional dos recursos.

Com relação à intensidade de uso da mecanização nos diferentes sistemas de condução de lavoura, Silva et al. (2001) os classificam em: sistemas manual, em que todas as operações, com exceção do transporte são realizadas manualmente; sistema semimecanizado, que consiste na utilização intercalada de serviço manual e mecanizados para a realização de tarefas; sistemas mecanizados ou supermecanizados, em que todas as operações são realizadas mecanicamente em lavouras bem adequadas à mecanização e com relevo favorável.

2.2 Desempenho operacional de conjuntos mecanizados

Em termos agrícolas, a determinação dos parâmetros de desempenho operacional é importante principalmente devido à sazonalidade das etapas produtivas e à vasta gama de operações realizadas, bem como às incertezas em relação ao clima.

De uma maneira geral, o desempenho operacional de uma máquina é expresso em área por unidade de tempo (ha h^{-1}). Segundo Mialhe (1974), a posse das dimensões dos órgãos ativos das máquinas, dos implementos utilizados e a posse do intervalo de tempo considerado para as avaliações permitem a obtenção de três tipos de capacidades: capacidade de campo teórica (Cct), capacidade de campo efetiva (Cce) e capacidade de campo operacional (Cco).

A capacidade de campo teórica é obtida pela utilização completa da largura de trabalho da máquina, ou seja, só é atingida se a máquina trabalhar 100% do tempo à velocidade nominal, utilizando em 100% de sua largura de trabalho nominal (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS, 2001).

Como se trata de uma condição teórica, ou seja, difícil de ser alcançada na prática, tem-se a capacidade de campo efetiva. A mesma representa a capacidade efetivamente demonstrada pela máquina em campo, ou seja, a capacidade medida na operação durante certo intervalo de tempo. Dentro deste contexto, basicamente, a capacidade de campo efetiva (Cce) diferencia-se da capacidade de campo teórica (Cct) devido ao efeito das variações como sobreposições de passadas e velocidades inferiores àquelas que, teoricamente, a máquina poderia desenvolver (SILVA, 2004).

Em relação à capacidade de campo operacional, a mesma primordialmente considera os tempos gastos com manobras e atividades auxiliares à execução das operações. Com isso, as capacidades reais são

inferiores às efetivas, tornando-se assim capacidades potenciais. Dessa forma, a capacidade de campo operacional (Cco) consegue refletir a influência de todos esses parâmetros.

Com relação à capacidade de campo operacional dos conjuntos mecanizados, a mesma tem sido normalmente reconhecida por rendimento operacional. Entretanto essa terminologia deve ser evitada, pois, em mecanização, rendimento operacional é definido como a relação entre as capacidades operacionais de mesma natureza, ou seja, a relação entre a teórica e a de campo (PIACENTINI, 2007).

No caso da eficiência de campo, sua definição e metodologias a definem como um indicador qualitativo de quão bem realizada foi a operação. Hunt (1977) descreve a eficiência de campo como igual à eficiência de tempo, sendo a mesma definida como a razão entre o tempo efetivamente usado e o tempo total disponível, quando são consideradas apenas as operações executadas dentro de campo cultivado, ou seja, apenas as atividades que ocorrem nos talhões. Dessa maneira, a eficiência de campo passa a ser entendida como uma taxa de aproveitamento, ou seja, quanto maior a taxa mais eficiente é o sistema e maior a capacidade das máquinas de realizarem as operações para as quais foram empregadas.

Aumentos da eficiência de campo são alcançados com a diminuição de tempos improdutivos, como a adoção de maiores velocidades operacionais, máquinas de maior largura (WITNEY, 1988; SILVA, 2004); e no caso específico da cafeicultura, áreas mais planas e uniformes, talhões de maior comprimento e regulares, menor tempo em manobras com a adoção de carregadores mais largos.

Dentro deste contexto, é necessário frisar que o desempenho das operações mecanizadas é um dos grandes entraves na cafeicultura, visto que, um dos principais obstáculos é o fato do café ser uma cultura perene apresentando

diferentes portes numa mesma área. Outro fator preponderante para a queda no desempenho das operações e a diversidade de talhões, apresentando diferentes geometrias e tamanhos, influenciando assim diretamente no tempo de manobras.

Nos últimos anos, tem se tornado um dos principais focos de pesquisadores na área de máquinas a determinação desses parâmetros de eficiência e suas análises com a aplicação de modelos de simulação e técnicas de agricultura de precisão. Silveira, Yanai e Kurachi (2006), com o intuito de determinar a capacidade de trabalho e eficiência de campo de máquinas e implementos usados nas operações convencionais de aração, gradagem, semeadura e cultivo da cultura de milho, verificaram que a eficiência média obtida nas determinações realizadas durante a execução das operações foi considerada baixa devido às condições de solo, tamanho de talhões e o uso de velocidades de trabalho aquém das citadas como ideais para cada operação.

2.3 Estudo de tempos e movimentos

O trabalho é sistematicamente estudado por diferentes áreas, e o estudo de tempos tem por objetivo determinar o tempo gasto por um funcionário ou máquina, devidamente treinado ou operada, trabalhando em ritmo normal para executar uma atividade específica (estudo de tempos) e desenvolver e padronizar o sistema e o método de trabalho preferido (estudo de movimentos), servindo de base para identificação de gargalos no processo produtivo (BARNES, 1977).

De uma maneira geral, esse tipo de estudo auxilia no trabalho operacional e são usados no equacionamento do processo geral de solução de problemas. Segundo Fenner (2002), esse tipo de estudo é empregado no planejamento, controle e racionalização das operações podendo resultar em aumento de rentabilidade o qual se manifesta através do aumento da produtividade ou pela redução dos custos de produção.

Mialhe (1974) cita que os estudos de tempos apresentam como objetivos principais: desenvolver o método adequado ou preferido, usualmente aquele de menor custo e padronizar este sistema e método, ou seja, determinar o tempo gasto por uma pessoa ou máquina, trabalhando num ritmo normal, para executar uma tarefa, procurando sempre a melhor técnica para a maximização dos resultados e redução da ociosidade.

A importância dos estudos de tempos e movimentos se dá em vários aspectos, principalmente quando se relaciona as suas inúmeras aplicações. Este tipo de análise acaba por permitir a decomposição de cada tarefa realizada em um determinado processo a ser estudado, em uma série ordenada de movimentos simples, sendo eliminados os movimentos inúteis e simplificados os movimentos úteis, possibilitando a determinação do tempo médio para a realização de cada tarefa (CHIAVENATO, 2003).

Os estudos de movimentos na mecanização permitem automação, racionalização e padronização destes, por intermédio de adoção de métodos apropriados e específicos (BARNES, 1977). Dessa forma, se faz necessário considerar os equipamentos e o desenvolvimento de processos apropriados para cada caso. A avaliação do ritmo, a determinação das tolerâncias e do tempo padrão para a execução das tarefas, além de diferenças entre operações, sejam elas manuais ou mecanizadas, são determinadas com este tipo de análise.

Malinovsk (1983) cita que a análise dos sistemas em função do estudo de tempos permite que equações sejam ajustadas para estimar rendimentos de máquinas. Este tipo de estudo ainda permite avaliar a utilização de determinada máquina em função da rentabilidade da operação (ROCHA FILHO, 1993).

De acordo com Mello e Sant'Anna (2000), para um planejamento adequado dos insumos, máquinas, ferramentas e mão de obra necessária, há necessidade de se fazer uma análise dos rendimentos operacionais e dos custos das atividades desempenhadas. Além disso, essas informações são importantes

para servir de auxílio na tomada de decisão e gerenciamento da atividade como um todo. Em outros setores agrícolas, como a exploração florestal, a cultura da cana-de-açúcar e grãos, este tipo de estudo já vem sendo utilizado no planejamento e otimização das tarefas. O tempo consumido para cada um dos elementos do ciclo de trabalho permite sua organização reduzindo ao máximo a quantidade de tempos improdutivos, além de deduzir a produtividade e o custo por unidade produzida, em relação a certos fatores considerados relevantes (SEIXAS; BARBOSA; RUMMEL, 2004).

2.4 Custos operacionais associados às máquinas agrícolas

O conceito de custo passa por diferentes linhas de pensamento. Basicamente, ele expressa o somatório de todos os insumos necessários à realização de um serviço ou operação (ALVARENGA; NOVAES, 1999).

Centeno e Kaercher (2010) relatam que os custos referentes à mecanização das operações agrícolas, nas diferentes culturas, representam entre 10 e 30% dos custos totais de produção, demonstrando a importância da escolha do equipamento mais adequado para o processo produtivo. Logo a determinação do custo é uma importante ferramenta de controle e gerenciamento das atividades produtivas e de geração de informações para subsidiar as tomadas de decisões pelos produtores rurais.

No caso dos custos de máquinas e implementos, é utilizado o conceito de custos operacionais. Segundo Harry et al. (1991), esse conceito trata-se do somatório de todos os custos resultantes de sua aquisição e operação. O conhecimento destes custos é uma etapa de fundamental importância para o planejamento e o controle de sua utilização. Sua variação é influenciada, principalmente, pela eficiência operacional e pela jornada de trabalho.

Os custos operacionais de uma máquina agrícola agrupam-se em duas categorias. Os custos fixos ou de propriedade mostram-se constantes durante um

período definido, não dependendo do volume de produção e compostos pela depreciação, juros sobre o capital investido, taxas de seguro e alojamento. Já os custos variáveis, ou custos de utilização, referem-se aos custos que dependem das atividades ou o tempo de utilização da máquina e que compreendem o consumo de combustíveis e lubrificantes, reparos, peças, manutenção e o custo direto de mão de obra (BALASTREIRE, 1990; VASCONCELOS; GARCIA, 2004).

Os custos operacionais de máquinas agrícolas refletem diretamente a relação entre o custo horário do conjunto mecanizado e sua capacidade de trabalho (MILAN, 2004). De uma maneira geral, é por meio deste parâmetro que se consegue realizar a comparação entre diferentes sistemas mecanizados. Portanto, o dispêndio nas operações mecanizadas deve ser planejado de forma racional, e parte do custo é atribuída ao consumo de combustível, mais especificamente de energia, em função da capacidade operacional de produção, obtido pela exigência de tração (TOLEDO et al., 2010).

Devido a diferentes conceitos e metodologias utilizadas para a obtenção dos custos operacionais, muitas vezes é possível verificar uma maior ou menor participação de determinado componente no custo final obtido. Segundo Fairbanks, Larson e Chung (1971), é difícil a estimativa dos custos totais de máquinas em função da extrema variabilidade nas condições e formas de operação em campo.

Em estudo comparando diferentes metodologias para o cálculo de custos operacionais, Jasper e Silva (2013) verificaram que os componentes de custo que mais geraram despesas foram os combustíveis, lubrificantes, mão de obra e juros. Por outro lado, Oliveira et al. (2001) citam que as despesas com reparos e manutenção compõem os mais elevados itens dos custos operacionais, o que pode ser atribuído ao uso intensivo dos tratores agrícolas, o que pode acabar tornando inviável a utilização da máquina.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, A. C.; NOVAES, A. G. **Logística aplicada**: suprimento e distribuição física. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1999.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **ASAE standards 2001**: machinery, equipment, and buildings: operating costs. Ames: American Society of Agricultural Engineers, 2001.

AVELAR, R. C.; SILVA, F. M. Dimensionamento e gerenciamento de frota para propriedades cafeeiras. In: SIMPÓSIO MECANIZAÇÃO DA LAVOURA CAFEIEIRA, 4., 2012, Três Pontas. **Anais...** Três Pontas: Editora da UFLA, 2012. p. 6-15.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas agrícolas**. Barueri: Manole, 1990.

BARNES, R. **Estudo de movimentos e de tempos**: projeto e medida do trabalho. São Paulo: Edgar Blücher, 1977.

CASALE, H. Manejo mecanizado da lavoura cafeeira. In: SIMPÓSIO MECANIZAÇÃO DA LAVOURA CAFEIEIRA, 3., 2012, Lavras. **Anais...** Lavras: Editora da UFLA, 2012. p. 6-11.

CENTENO, A. S.; KAERCHER, D. Custo operacional das máquinas agrícolas. **Agrianual**, São Paulo, v. 15, p. 113-116, 2010.

CHIAVENATO, I. **Introdução à teoria geral da administração**. 7. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

FAIRBANKS, G. E.; LARSON, G. H.; CHUNG, D. S. Cost of using machinery. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 14, n. 1, p. 98-101, Jan./Feb. 1971.

FENNER, P. T. **Métodos de cronometragem e a obtenção de rendimentos para as atividades de colheita de madeira**. Botucatu: Editora da UNESP, 2002.

HARRY, G. G. et al. Análise dos efeitos da eficiência no custo operacional de máquinas florestais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, 1., 1991, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Editora da UFV, 1991. p. 57-75.

HUNT, D. R. **Farm power and machinery management**. 9. ed. Ames: Iowa University Press, 1977.

JASPER, S. P.; SILVA, R. A. P. Estudo comparativo do custo operacional horário da mecanização agrícola utilizando duas metodologias para o estado de São Paulo. **Nucleus**, Ituverava, v. 10, n. 2, p. 119-126, out. 2013.

MALINOVSKI, J. R. Metodologia do custo-hora para máquinas florestais. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, 4., 1983, Curitiba. **Anais....** Curitiba: Editora da UFPR, 1983.

MATIELLO, J. B.; ALMEIDA, S. R.; GARCIA, A. W. R. **Mecanização em cafezais**. Varginha: Procafé, 2013.

MELLO, FILHO, O. A.; SANT'ANNA, C. M. Estudo de tempos e movimentos na desbrota do eucalipto com motorroçadora. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SEGURANÇA NO TRABALHO FLORESTAL E AGRÍCOLA, 2000. **Anais ...** Belo Horizonte: Ergoflor, 2000. p. 182-186.

MIALHE, L. G. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1974.

MILAN, M. **Gestão sistêmica e planejamento de máquinas agrícolas**. 2004. 100 p. Tese (Livre-Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

OLIVEIRA, L. E. K. et al. **Trabalhador na operação e na manutenção de tratores agrícolas: operação de arado de discos reversíveis**. Brasília: Senar, 2001.

ORTEGA, A. C.; MOURO, M. C. Mecanização e emprego na cafeicultura do cerrado mineiro. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 45., 2007. **Anais...** Londrina: Editora da UEL, 2007. p. 1-21.

PERIN, G. F. **Determinação da capacidade e eficiência operacional utilizando técnicas de agricultura de precisão**. 2008. 114 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

PIACENTINI, L. **Software para estimativa do custo operacional da maquinaria agrícola – MAQCONTROL**. 2007. 95 p. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2007.

ROCHA FILHO, H. **Análise de fatores que afetam o desempenho e custo de extração de madeira de eucalipto com caminhão autocarregável**. 1993. 108 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

SEIXAS, F.; BARBOSA, R. F.; RUMMER, R. Tecnologia que protege a saúde do operador. **Revista da madeira**, Curitiba, v.14, n.82, p.68-73, jul. 2004.

SILVA, F. M. et al. **Colheita do café mecanizada e semi-mecanizada**. Lavras: Editora da UFLA, 2001.

SILVA, S. S. S. **Logística aplicada à colheita mecanizada de cereais**. 2004. 148 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

SILVEIRA, G. M. da; YANAI, K.; KURACHI, S. A. H. Determinação da eficiência de campo de conjuntos de máquinas convencionais de preparo do solo, semeadura e cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 220-224, mar. 2006.

TOLEDO, A. et al. Comportamento espacial da demanda energética em semeadura de amendoim em latossolo sob preparo convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 459-467, jun. 2010.

VASCONCELOS, K. S. L.; SILVA, T. J. J.; MELO, S. R. S. Mecanização da agricultura: Demanda por tratores de rodas e máquinas agrícolas nos estados da região nordeste. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, Pernambuco, v. 6, n. 2, p. 207-222, maio/ago. 2013.

VASCONCELOS, M. A. S. de; GARCIA, M. E. **Fundamentos de economia**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2004.

VIAN, C. E. F.; ANDRADE JÚNIOR, A. M. Evolução histórica da indústria de máquinas agrícolas no mundo: origens e tendências. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 48., 2010, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: Universidade Católica Dom Bosco, 2010.

WITNEY, B. D. **Choosing and using farm machines.** Edinburgh: Land Technology, 1988.

CAPÍTULO 2 Eficiência de campo em diferentes operações mecanizadas na cafeicultura

RESUMO

O café é uma cultura de destaque no Brasil, tanto que nos últimos anos, a cafeicultura passou por grandes modificações, com a utilização intensa da mecanização que, tem se tornado uma alternativa viável para grande parte dos produtores, possibilitando aumento da capacidade operacional e redução dos custos de produção. Atualmente em áreas totalmente aptas à mecanização, todas as operações durante o ciclo da cultura são realizadas mecanicamente por diferentes máquinas e implementos. O presente estudo foi conduzido no município de Alfenas - MG, com o objetivo de determinar a capacidade de trabalho e a eficiência de campo de máquinas utilizadas nas diferentes operações da lavoura cafeeira. Os dados de desempenho obtidos foram tratados estatisticamente pela correlação de Pearson (p), o que permitiu determinar a influência da velocidade operacional e comprimento médio das ruas nos parâmetros de desempenho. Com base nos resultados, os parâmetros de desempenho operacional, capacidade de campo efetiva e tempo demandado apresentaram alta correlação com a velocidade operacional dos conjuntos mecanizados. As operações de preparo de covas, enleiramento e recolhimento apresentaram os menores resultados de eficiência de campo, enquanto as demais operações avaliadas apresentaram valores aceitáveis de acordo com os padrões estabelecidos, apresentando valores acima de 70%.

Palavras-chave: Operações agrícolas. Capacidade de trabalho. Desempenho operacional. Coffea Arabica.

CHAPTER 2 Field efficiency in diferent mechanized operations in coffee crop

ABSTRACT

Coffee is a prominent culture in Brazil, so much that in recent years the coffee crop has passed major changes, such as the intensive use of mechanization that has become a viable alternative for most producers, enabling increased capacity and reduction production costs. Currently in areas totally suitable for mechanization, all operations during the crop cycle are performed mechanically by different machines and implements. This study was conducted in Alfenas-MG, in order to determine the work capacity and efficiency of field machines used in different mechanized operations in the coffee crop. The performance data were treated statistically by Pearson correlation (p), wich allowed to determine the influence of operating speed and average length of streets in the performance parameters. Based on the results the parameters of operating performance, effective field capacity and time required were highly correlated as the operating speed of mechanized sets. The pits preparation, raking and gathering showed the worst results of field efficiency, while other operations evaluated showed acceptable values according to established standards, with values above 70%.

Keywords: Agricultural operations. Work capacity. Performance. Coffea arabica.

1 INTRODUÇÃO

O café é um dos principais produtos agrícolas na pauta de exportações brasileiras e grande gerador de receitas (SILVA; REIS, 2001). Por se tratar de uma cultura que apresenta custos de produção elevados, uma das opções da cafeicultura moderna é a otimização dos processos e consequente redução dos custos.

A mecanização vem se desenvolvendo cada vez mais nas diferentes etapas do ciclo produtivo. Em regiões onde as lavouras e topografias são favoráveis, a mecanização nas mais diferentes operações cresce rapidamente a cada dia, e de acordo com Silva, Souza e Silva (2010), trata-se da grande saída para o país continuar com a liderança mundial na produção de café.

Hoje existe no mercado um grande número de máquinas e implementos capazes de executar as diferentes operações nas lavouras cafeeiras, o que facilita a tomada de decisão por parte dos produtores. Informações acerca da capacidade operacional são de grande importância no gerenciamento de sistemas mecanizados agrícolas, auxiliando nas decisões a serem tomadas. A capacidade de uma máquina em desempenhar eficientemente sua função, trabalhando em um ambiente qualquer, é um critério importante que afeta decisões sobre o seu gerenciamento (TAYLOR; SCHROCK; STAGGENBORG, 2002).

Grisso, Jasa e Rolofson (2002) citam que os parâmetros de desempenho são uma importante ferramenta para a tomada de decisões e o gerenciamento das operações mecanizadas. Dessa forma, o desempenho operacional de uma máquina, refere-se a um complexo conjunto de informações que definem seus atributos quando executadas operações sob determinadas condições.

A capacidade operacional de máquinas e implementos agrícolas é a quantidade de trabalho que são capazes de executar numa unidade de tempo, constituindo-se em uma medida da intensidade do trabalho desenvolvido na

execução das operações (MIALHE, 1974). Já o parâmetro eficiência de campo expressa a relação entre a capacidade de campo efetiva de uma máquina pela sua capacidade de campo teórica (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, 2009).

Strickland et al. (2001) citam que estudos relacionados ao desempenho operacional das máquinas em campo podem ser realizados utilizando diferentes equipamentos como cronômetros, pranchetas e mecanismos de gravação, que acaba consumindo muito tempo e necessita de uma pessoa ou uma equipe de campo para apontamentos. Atualmente o uso de dados georreferenciados permite uma aquisição de dados mais rápida e tão precisa quanto aos sistemas de avaliação anteriores.

De acordo com Grisso et al. (2004), os dados georreferenciados assumem papel importante nas operações com máquinas agrícolas, pois permitem a aquisição de dados e informações relativas a características operacionais do equipamento, como velocidade, percursos realizados, etc.

De uma maneira geral, parâmetros de desempenho dos equipamentos utilizados na cafeicultura são de difícil determinação e pouco estudados. De acordo com Silveira, Yanai e Kurachi (2007), diversos fatores influenciam a eficiência de campo de uma máquina agrícola: o método de operação ou padrão de operação no campo, o formato e declividade das áreas, o tamanho do campo, a capacidade de campo teórica de operação, as condições da cultura e as limitações dos sistemas, razão por que eficiências de campo são muito variáveis.

Diante do exposto, os objetivos do presente trabalho foram determinar a capacidade de trabalho e a eficiência de campo de conjuntos mecanizados utilizados nas diferentes operações mecanizadas na cafeicultura desde sua implantação até colheita.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área

O experimento foi conduzido na Fazenda Conquista, localizada no município de Alfenas, Minas Gerais. Trata-se de uma propriedade do grupo Ipanema Coffees, com coordenadas geográficas de 21° 18' 20" S e 45° 55' 24" W. A Fazenda Conquista dedica 79% de seus 1.800 hectares ao cultivo de café, com altitude média de 815 m e relevo bastante plano apresentando 100% das áreas cultivadas de forma mecanizada. O clima que predomina na região estudada é Cwa, tropical de altitude, com precipitação pluviométrica anual média da região de 1.370 mm e temperatura média anual de 20 °C.

Os dados foram coletados em diferentes talhões e em glebas diferentes nas safras 2012/2013 e 2013/2014, em áreas em que se utilizavam diferentes cultivares de café adaptadas à mecanização, o que serviu como base para identificação das áreas.

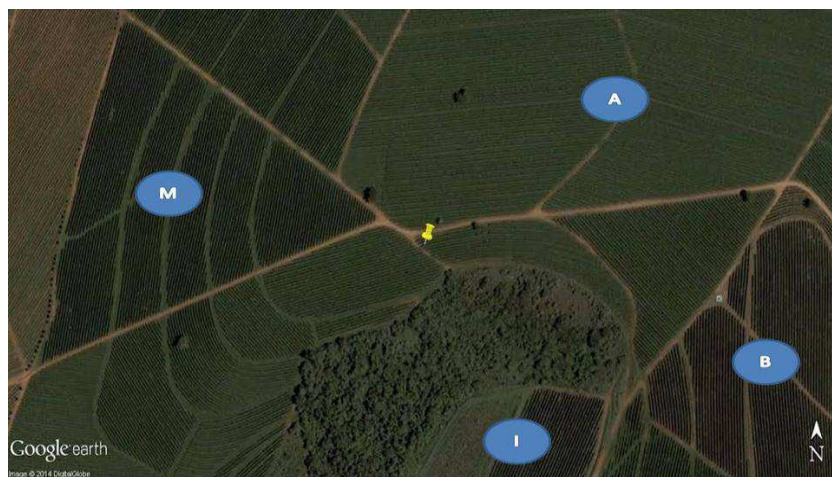


Figura 1 Vista das áreas estudadas pertencentes ao Grupo Ipanema Coffees
Fonte: Alfenas, 2014

As áreas identificadas pela letra (A) apresentam como cultivar Acaiá, com espaçamento entre linhas de 3,5 m e 0,6 m entre plantas; (B) para as áreas cultivadas com Bourbon, com espaçamento entre linhas de 3,8 m e 0,5 m entre plantas; (M) para as áreas cultivadas com a cultivar Mundo Novo, com espaçamento entre linhas de 3,8 m e 0,75 m entre plantas; e (I) áreas cultivadas com cultivar Icatu, com espaçamento entre linhas de 3,8 m e 0,75 m entre plantas.

2.2 Conjuntos mecanizados utilizados

No presente estudo, as operações de implantação da cultura foram constituídas pelo preparo das covas e o transplante semimecanizado das mudas. Na realização das operações descritas, foram utilizados tratores Massey Ferguson, com potência nominal de 55,0 kW (75 cv), dotados de tração dianteira auxiliar, o que permitiu tracionar um batedor de cova da marca Bertanha, com largura de atuação de 1,5 m e uma plataforma de transplante com capacidade de doze caixas de mudas.

Com relação às operações de tratos culturais, foram avaliadas as operações de adubação, aplicação de agroquímicos, manejo de plantas invasoras entre as linhas e a poda do cafeeiro. Foram utilizados tratores Massey Ferguson, com potência nominal de 55,0 kW (75 cv), dotados de tração dianteira auxiliar, o que permitiu tracionar na operação de adubação uma adubadora Minami, modelo 535 D, com capacidade de carga de 2.100 kg; na aplicação de agroquímicos, um atomizador Jacto, modelo ARBUS 2000, com capacidade de 2.000 litros no tanque e defletor vertical; na operação de manejo de invasoras, uma trincha cafeeira DRIA, modelo Driaton 1.600, com largura de trabalho de 1,57 m e dotada de 12 martelos para corte; e na operação de poda,

uma decotadora esqueletadora de cafeeiro, marca MN Aliança, dotada de discos recortados com diâmetro de 800 mm.

Nas operações que constituem a colheita, foram avaliadas não somente a operação de derriça como também as operações complementares, varrição, enleiramento e recolhimento, abordando assim todas as operações mecanizadas anuais de uma lavoura de café. Para a colheita dos frutos, foi utilizada uma colhedora autopropelida Jacto, modelo K3 Millenium, com potência nominal de 61,8 kW (82 cv). No caso das operações complementares, foram utilizados tratores Massey Ferguson, com potência nominal de 55,0 kW (75 cv), dotados de tração dianteira auxiliar, o que permitiu tracionar na operação de varrição e enleiramento um enleirador marca Bertanha, modelo Varre Tudo trabalhando em uma largura de 2,8 m. No caso da operação de recolhimento, utilizou-se uma recolhedora modelo Mogiana 25 C, com largura de recolhimento de 1,2 m e dotada de sistema de compensação de nível. Os equipamentos utilizados em todas as operações citadas apresentam bom estado de conservação e manutenção, apresentando idades entre dois e sete anos de uso.

2.3 Parâmetros de desempenho determinados

Para a obtenção da área total de cada talhão (comprimentos de cada rua dos talhões avaliados, trajeto percorrido pelas máquinas e sua velocidade operacional) foi utilizado um receptor GPS (*Global Positioning System*) /A-GPS, o que permite acelerar a obtenção da localização, aumentando a funcionalidade do receptor. O armazenamento dos dados 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.

Por meio das cadernetas de campo e cronômetro, foi possível determinar os tempos de deslocamento dos conjuntos entre as áreas e tempos gastos com manobras de cabeceira. No caso dos tempos com manobras, foram avaliados e classificados em função do tipo de carreador, ou seja, carreadores principais (largura maior que 6 metros) e carreadores secundários (largura menor que 6 metros).

De posse desses dados, os parâmetros de desempenho foram calculados por meio de planilha eletrônica. Para o cálculo da capacidade de campo teórica (Cct), parâmetro que expressa a capacidade demonstrada pela máquina, utilizou-se a Equação 1, adaptada para a cafeicultura em função da equação descrita por ASAE (AGRICULTURAL MACHINERY MANAGEMENT DATA, 1999) e expressa em número de plantas por unidade de tempo.

$$Cct = \left(\frac{L \cdot V}{10} \right) \cdot St \quad (1)$$

Em que:

Cct - Capacidade de campo teórica, plantas h⁻¹;

L - Largura das entrelinhas, m;

V - Velocidade operacional, km h⁻¹;

St - Estande teórico da área, plantas ha⁻¹.

Para o cálculo da capacidade efetiva (Cce), que expressa a capacidade efetivamente demonstrada pela máquina no campo, ou seja, o número de plantas trabalhadas por unidade de tempo, utilizou-se a Equação 2.

$$C_{ce} = \left[\frac{\left(\frac{l \cdot c}{10000} \right)}{\left(\frac{t + tm}{60} \right)} \right] \cdot S_e \quad (2)$$

Em que:

C_{ct} - Capacidade de campo teórica, plantas h^{-1} ;

l - Largura útil de trabalho do implemento, m;

c - Comprimento efetivo da entrelinha, m;

t - Tempo de operação da máquina na rua, min;

tm - Tempo gasto com a manobra de cabeceira, min;

S_e - Estande efetivo do talhão, plantas ha^{-1} .

Com relação ao tempo demandado (TD) das operações, o mesmo expressa o tempo necessário para realizar a operação em uma determinada área, sendo determinado de acordo com a Equação 3, adaptada de acordo com a proposta por Brandão et al. (2013).

$$T_d = \frac{S_t}{C_{ce}} \quad (3)$$

Em que:

T_d - Tempo demandado, $h \cdot ha^{-1}$;

S_t - Estande teórico do talhão, plantas ha^{-1} .

C_{ce} - Capacidade de campo efetiva, plantas h^{-1} .

A Eficiência de campo foi calculada de acordo com a Equação 4, sendo representada pela razão entre as capacidades de campo teória e a capacidade efetiva de trabalho dos conjuntos mecanizados.

$$Ec = \frac{Cce}{Cct} \cdot 100 \quad (4)$$

Em que:

Ec – Eficiência de campo, %;

Cc_t – Capacidade de campo teórica, plantas ha^{-1} .

Cce - Capacidade de campo efetiva, plantas h^{-1} .

2.4 Análise estatística dos dados

Os dados obtidos no presente estudo foram separados e organizados em planilhas eletrônicas e posteriormente analisados pelo *software* por meio da análise de correlação. Sabendo-se que os fatores velocidade operacional dos conjuntos e comprimento médio das ruas interferem nos parâmetros estudados, calculou-se o coeficiente de correlação de Pearson (ρ) entre as variáveis citadas e os parâmetros de desempenho estudados, ou seja, a capacidade de campo efetiva, eficiência de campo e o tempo demandado.

Segundo Zou, Tuncali e Silverman (2003), para uma classificação ligeiramente diferente: $\rho = 0,1$ até $0,4$ (fraca); $\rho = 0,4$ até $0,6$ (moderado); $\rho = 0,6$ até $0,8$ (forte) e $\rho = 0,8$ até 1 (muito forte). Os autores citam que quanto mais perto de 1 (independente do sinal) maior é o grau de dependência estatística linear entre as variáveis. No outro oposto, quanto mais próximo de zero, menor é a força dessa relação. Tais critérios de classificação foram utilizados no presente estudo.

No caso da avaliação dos tempos de manobras em relação ao tipo de carreador, foi aplicado o teste F a 5% de significância, no qual foi possível determinar se houve diferença significativa entre os tratamentos. Utilizou-se o delineamento de blocos casualizados e vinte repetições, sendo os tratamentos constituídos pelos tipos de carreador encontrados nas áreas. Desta maneira, quando procedente e significativa a diferença entre os tratamentos, os mesmos foram analisados por meio do teste de comparação de média de Scott-Knott a 5% de significância.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela análise da Tabela 1, verificam-se os resultados médios dos parâmetros de desempenho operacionais avaliados nas diferentes operações mecanizadas estudadas.

Tabela 1 Valores médios dos parâmetros de desempenho nas diferentes operações mecanizadas estudadas

1. Preparo de cova					
Talhão	Vel (km h ⁻¹)	Cct (pls h ⁻¹)	Cce (pls h ⁻¹)	Ec (%)	Td (h ha ⁻¹)
M4-02	1,07	1825	770	42,3	5,16
M4-03	1,37	1424	696	48,8	4,60
M4-04	1,08	1445	578	40,0	6,52
Média geral	1,17	1565	681	43,7	5,45
C.V (%)	20,01	14,42	14,18	10,44	18,27
2. Transplântio					
M4-01	1,67	2391	1754	75,2	2,25
M4-02	1,82	2600	1800	71,7	2,22
M4-03	2,00	2851	2145	75,1	1,81
Média geral	1,83	2614	1900	74,0	2,1
C.V (%)	22,74	8,82	11,26	2,74	12,55
3. Adubação					
M8-02	4,02	5359	4069	75,8	0,90
M8-03	4,58	6104	4702	77,0	0,90
M8-07	4,61	6141	4618	75,2	0,80
M8-12	3,63	4845	2561	52,9	1,40
M8-28	3,91	5216	3719	71,2	1,11
M8-29	4,27	5688	3310	58,1	1,09
M8-41	4,44	5919	4406	74,4	0,90
Média geral	4,21	5688	4022	70,2	0,97
C.V (%)	8,70	26,41	31,92	12,27	36,25
4. Aplicações de agroquímicos					
A9-06	2,37	3946	2874	72,8	1,70
A9-07	3,33	5544	4041	73,5	1,22
A9-08	4,84	8069	5345	66,9	0,92
A9-09	4,43	7379	5367	72,9	0,91
A9-10	4,65	7746	5503	71,9	0,91
Média geral	3,92	6908	4865	71,2	1,06
C.V (%)	24,07	30,05	26,28	6,38	31,31

“Tabela 1, conclusão”

5. Manejo de invasoras					
M11-03	4,39	2772	2004	73,3	1,83
M11-04	4,03	2548	1886	74,3	1,87
M11-14	3,39	2140	1778	83,4	2,10
Média geral	3,94	2511	1899	76,7	1,92
C.V (%)	24,39	25,74	20,98	8,79	20,03
6. Colheita					
B20-1	1,903	3806	2214	61,98	2,50
B20-2	1,474	2949	2188	75,97	2,75
B20-5	0,969	2479	1883	75,93	3,60
B20-9	1,24	1937	1149	65,01	2,91
A57-12	0,901	1800	1580	87,33	4,90
Média geral	1,354	2709	1848	71,94	3,31
C.V (%)	47,3	47,3	39,08	23,37	41,01
7. Varrição e enleiramento					
M11-50	1,76	912	466	51,06	5,88
M11-51	1,69	1027	627	61,10	5,62
M11-52	1,33	1163	604	51,95	7,64
M11-54	1,00	822	420	50,98	8,53
Média geral	1,44	967,4	519,1	53,46	7,06
C.V (%)	25,71	17,40	20,54	7,80	21,33
8. Recolhimento					
M11-18	0,93	929	473	52,11	7,82
M11-21	1,04	892	400	46,57	9,16
M11-31	1,18	698	344	49,43	10,24
M11-45	0,84	524	275	52,54	12,79
M11-46	1,09	571	328	58,25	10,76
Média geral	1,01	762,4	383,6	51,95	9,67
C.V (%)	11,46	31,77	24,92	15,38	22,99
9. Poda (Decote)					
I32-11	3,83	5101	4330	85,39	0,89
I32-12	3,49	4657	4354	93,82	0,85
I32-13	3,56	4744	3992	86,28	0,91
Média geral	3,63	4837	4232	88,56	0,88
C.V (%)	32,63	31,90	28,19	7,68	23,18

(Vel) Velocidade operacional; (Cct) Capacidade de campo teórica; (Cce) Capacidade de campo efetiva; (Ec) Eficiência de campo; (Td) Tempo demandado.

A velocidade operacional média do conjunto na operação de preparo de covas e transplântio foram de 1,17 e 1,83 km h⁻¹, respectivamente. Com relação às eficiências de campo, as mesmas apresentaram valores relativamente baixos, explicado pelas baixas velocidades apresentadas. No caso da operação de transplântio, o efeito é contrário, pois de acordo com os dados obtidos, a velocidade operacional se aproximou mais da velocidade nominal do trator para a marcha selecionada 2R -1.500 rpm (2,5 km h⁻¹), reduzindo o tempo demandado e aumentando a eficiência de campo.

No caso das operações de poda, adubação, aplicação de defensivos e manejo de invasoras com a trincha, as velocidades operacionais se aproximaram das desejadas e apresentaram valores médios entre 3,0 e 4,5 km h⁻¹. Os dados obtidos se encontram de acordo com os obtidos por Silveira, Yanai e Kurachi (2007) em trabalho avaliando a velocidade operacional do trator em operações de manejo no cafeeiro.

Para as eficiências de campo das operações de poda, adubação, aplicação de defensivos e manejo de invasoras com a trincha, foram obtidos valores acima de 70%, aceitáveis para as respectivas operações segundo diversos autores como ASABE (AGRICULTURAL MACHINERY MANAGEMENT DATA, 1999) e Molin e Milan (2002).

Analisando a operação de colheita, verificou-se eficiência de campo média de 71,94%, considerada aceitável. Durante as observações, foi verificada uma variação grande entre as velocidades operacionais nos diferentes talhões estudados. Tais resultados mostram que essa variação pode estar relacionada principalmente a fatores como declividade e comprimento médio das entrelinhas do talhão.

A operação de recolhimento apresentou características diferentes em comparação à operação de colheita. A velocidade operacional média do conjunto

apresentou pouca variação, entre 0,84 a 1,18 km h⁻¹. Com relação à eficiência de campo média, a operação apresentou valor de 51,95%.

A operação de varrição e enleiramento apresentou eficiência de campo média de 53,46%. Com relação à variação da velocidade operacional média do conjunto, o comportamento se mostrou semelhante à operação de colheita, variando a sua velocidade operacional média entre 1,0 a 1,76 km h⁻¹. Tais resultados explicam a baixa eficiência, pois a velocidade operacional apresentou-se muito abaixo da velocidade nominal do trator para a marcha selecionada 3R -1.900 rpm (3 km h⁻¹). Outro fato a ser observado é que por se tratar de implementos de grande porte, necessita-se de uma maior potência na tomada de potência (TDP), o que faz com que se reduza a disponibilidade para seu deslocamento, acarretando elevado consumo energético nessas operações.

Diante dos resultados, foi realizada a separação das operações em função da sua época de realização, ou seja, operações de implantação da cultura, tratos culturais e as operações referentes à colheita. Na Tabela 2, observa-se a análise de correlação de Pearson da velocidade operacional e do comprimento médio das entrelinhas do talhão para as operações de implantação da cultura.

Tabela 2 Análise de correlação para a capacidade de campo efetiva (Cce), eficiência de campo (EC) e tempo demandado (TD) nas operações de implantação da cultura

Preparo de cova	Cce (pls h⁻¹)	EC (%)	TD (h ha⁻¹)
Velocidade operacional	0,921*	-	-0,851*
Comprimento entrelinha	-	-	-
Transplântio	Cce (pls h⁻¹)	EC (%)	TD (h ha⁻¹)
Velocidade operacional	0,836*	-	-0,841*
Comprimento entrelinha	-	0,792*	-

*Coeficiente de correlação de Pearson significativo a 1%.

É possível afirmar que a velocidade operacional do conjunto apresentou forte correlação com as variáveis, capacidade de campo efetiva e tempo demandado nas operações de preparo das covas e transplântio. Dessa forma, quanto maior a velocidade operacional do conjunto, maior o aumento na capacidade de campo efetiva e redução no tempo demandado para a realização das tarefas. Já em relação ao comprimento médio da entrelinha, o mesmo apresentou efeito significativo somente na eficiência de campo na operação de transplântio, enquanto para os demais parâmetros não foi significativo.

A análise referente às operações de manejo da lavoura encontra-se na Tabela 3. Com a posse dos dados, verifica-se que a velocidade operacional dos conjuntos apresentou alta correlação com a capacidade de campo efetiva e o tempo demandado em todas as operações estudadas, exceto na operação de poda, em que os valores apresentaram correlação moderada. Para a variável comprimento médio da entrelinha, a mesma apresentou correlação moderada com a eficiência de campo em todas as operações, exceto para a operação de poda que apresentou alta correlação. Pode-se observar também que, para a operação de adubação, o comprimento médio da entrelinha apresentou correlação com a capacidade de campo efetiva e o tempo demandado.

Tabela 3 Análise de correlação para a capacidade de campo efetiva (Cce), eficiência de campo (EC) e tempo demandado (TD) nas operações de tratos culturais

Adubação	Cce (pls h⁻¹)	EC (%)	TD (h ha⁻¹)
Velocidade operacional	0,939*	-	-0,875*
Comprimento entrelinha	0,690*	0,675*	-0,602*
Aplicação de agroquímicos	Cce (pls h⁻¹)	EC (%)	TD (h ha⁻¹)
Velocidade operacional	0,966*	-0,628*	-0,903*
Comprimento entrelinha	-	0,688*	-
Manejo de invasoras	Cce (pls h⁻¹)	EC (%)	TD (h ha⁻¹)
Velocidade operacional	0,930*	-0,640*	-0,913*
Comprimento entrelinha	-	0,865*	-
Poda (Decote)	Cce (pls h⁻¹)	EC (%)	TD (h ha⁻¹)
Velocidade operacional	0,951*	-0,505*	-0,925*
Comprimento entrelinha	-	0,615*	-

*Coeficiente de correlação de Pearson significativo a 1%.

No caso das operações que constituem a colheita do café, verifica-se que a capacidade de campo efetiva apresentou forte correlação com a velocidade operacional dos conjuntos, ou seja, o aumento da velocidade operacional permite maior capacidade de campo efetiva, conforme observado na Tabela 4. No caso da operação de varrição, houve efeito significativo do comprimento de rua na capacidade de campo efetiva, o que permite dizer que esse comportamento já era esperado, visto que, quanto maior o comprimento das entrelinhas do talhão, em mais tempo a operação é realizada em velocidades próximas das ideais.

Tabela 4 Análise de correlação para a capacidade de campo efetiva (Cce), eficiência de campo (EC) e tempo demandado (TD) nas operações de colheita

Colheita	Cce (ha h⁻¹)	EC (%)	TD (h ha⁻¹)
Velocidade operacional	0,787*	-0,478*	-0,638*
Comprimento entrelinha	-	0,781*	-0,446*
Varrição enleiramento	Cce (ha h⁻¹)	EC (%)	TD (h ha⁻¹)
Velocidade operacional	0,924*	-	-0,918*
Comprimento entrelinha	0,787*	-	-0,775*
Recolhimento	Cce (ha h⁻¹)	EC (%)	TD (h ha⁻¹)
Velocidade operacional	0,847*	-0,660*	-0,861*
Comprimento entrelinha	-	0,621*	-

*Coeficiente de correlação de Pearson significativo a 1%.

No caso da eficiência de campo, a mesma apresentou valores de correlação moderados e significativos para a velocidade operacional dos conjuntos nas operações de colheita e de recolhimento, apresentando sinal negativo, ou seja, com o aumento da velocidade, a eficiência diminui, sendo tal fato explicado pelo aumento proporcional do tempo de manobras em relação ao tempo em que a máquina se mantém em operação, reduzindo a eficiência de campo.

Com relação ao efeito do comprimento das entrelinhas na eficiência de campo, nas operações que compõem a colheita, verificam-se coeficientes de correlação moderado para a operação de recolhimento e elevado para a colheita. No caso da operação de varrição, o mesmo não foi significativo. Tais coeficientes mostraram-se positivos, o que explica que a eficiência é maior à medida que as ruas do talhão apresentam tamanhos de ruas maiores. Esse resultado já era esperado, pois a eficiência de campo é obtida também em função do tempo de manobras.

Para a variável tempo demandado, o tamanho de rua apresentou correlação de moderada para as operações de colheita e varrição. Quando analisada em função da velocidade, a mesma apresentou alta correlação com as operações estudadas, permitindo assim observar que todos os valores apresentaram coeficientes negativos, e tal fato explica que quanto maior o tamanho das ruas de café e a velocidade operacional menor o tempo demandado para a realização da operação.

Com base nos resultados expostos, é possível afirmar que a escolha adequada da velocidade operacional dos conjuntos permite o aumento da capacidade de campo efetiva e eficiência operacional e redução do tempo demandado para as tarefas, corroborando com Cortez et al. (2008).

Segundo Ramos et al. (2012), o escalonamento da velocidade, relação entre a velocidade de deslocamento e a rotação do motor, permite uma melhor adequação do trator com o esforço solicitado pelo implemento para a realização de um determinado trabalho. O mesmo autor cita que além de influenciar no desempenho de campo dos conjuntos, a velocidade é um parâmetro que interfere diretamente no consumo energético do trator e na durabilidade de pneus e componentes de transmissão.

No caso da operação de colheita, a escolha da velocidade operacional da colhedora é de grande importância, visto que, afeta diretamente não somente o rendimento operacional do conjunto, ou seja, o tempo gasto por hectare, bem como a sua eficiência de colheita (SILVA; SOUZAS; SILVA, 2010).

Com relação ao efeito da variável comprimento médio das ruas nos parâmetros de desempenho avaliados, é possível afirmar que em todas as operações estudadas a eficiência de campo torna-se maior à medida que o comprimento das ruas aumenta. Tal fato é explicado, segundo Molin e Milan (2002) e Balastreire (1990), pelo menor número de manobras de cabeceira realizadas e o tempo dessas manobras em função dos carregadores, além da

geometria irregular dos talhões, características inerentes à grande parte das áreas de cafeicultura.

Na Tabela 5, são observados os dados referentes aos tempos médios de manobras em função do tipo de carreador utilizado. Houve diferença significativa entre os tratamentos avaliados para as operações de adubação, aplicação de defensivos e as operações que compõem a colheita mecanizada, incluindo as operações de derriça, enleiramento e recolhimento.

Tabela 5 Tempos médios (s) de manobra de cabeceira em função do tipo de carreador

Operação	Tipo de carreador	
	Principal	Secundário
Preparo de cova	19,7 a	24,1 a
Transplântio	53,7 a	68,5 a
Adubação*	23,1 a	31,0 b
Aplicação de agroquímicos*	15,6 a	28,1 b
Manejo de invasoras	19,4 a	28,7 a
Colheita*	78,6 a	102,3 b
Varreção e enleiramento*	47,6 a	54,5 b
Recolhimento*	79,7 a	106,0 b
Poda	19,5 a	21,8 a

* Valores médios seguidos da mesma letra na linha não se diferenciam entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade

Segundo Campos et al. (2010), o tempo está relacionado também ao tipo de equipamento utilizado devido ao seu raio de giro. Observa-se que as operações em que houve diferença significativa são aquelas em que os implementos apresentam tamanhos maiores e/ou são implementos de arrasto, o que fazem com que seu raio de giro aumente.

Mesmo não havendo diferença significativa nas operações de preparo de cova e transplântio, há de se ressaltar a grande diferença dos tempos entre as duas operações. Por serem operações de implantação de cultura, o efeito do

carreador e da vizinhança é mínimo, visto que, não há obstáculos para a realização das manobras. De qualquer forma, tal diferença é verificada pelo fato de que a operação de transplântio é realizada por um implemento de tamanho superior ao batedor de covas. Além disso, um dos grandes problemas na operação do transplântio, e o que explica tais diferenças, é a necessidade de espera do conjunto mecanizado para o posicionamento do pessoal de apoio, o que acarreta maiores tempos de manobras.

No caso da colheita, a diferença no tempo de manobra em função do tipo de carreador já era esperada por se tratar de uma operação que utiliza máquinas autopropelidas de quatro rodas com grande raio de giro (5,72 m). Outro fator que influencia diretamente no tempo de manobras de colhedoras de café é o nivelamento da máquina, etapa realizada toda vez em que a máquina entra na rua para realizar a operação. Campos et al. (2010) citam que o conhecimento das limitações do maquinário utilizado serve de parâmetro para um melhor dimensionamento e sistematização das áreas, permitindo não somente o melhor formato dos talhões a serem trabalhados como o tipo de operação e a locomoção e as manobras necessárias das máquinas em operação.

Com base nos dados obtidos no presente estudo, verifica-se que as operações de preparo de covas, varrição e recolhimento apresentaram os menores resultados de eficiência de campo, ou seja, ficaram abaixo das relatadas por ASAE (AGRICULTURAL MACHINERY MANAGEMENT DATA, 1999), que preconizam eficiência de campo acima de 70%. De qualquer modo esta é a grande dificuldade da mecanização na cafeicultura, pois grande parte das operações mecanizadas realizadas em seu ciclo não apresentam tais valores para uma possível comparação, dificultando assim não somente o dimensionamento dos conjuntos, como a otimização do processo em alguns casos.

Pelo tempo em que os conjuntos operaram, a quantidade de dados que o sistema de GPS e as cadernetas de campo obtiveram, é possível afirmar que o

número total de dados adquirido e processado no presente estudo mostrou-se suficientes para assegurar valores médios confiáveis, permitindo sua utilização nos cálculos da eficiência de campo de máquinas agrícolas utilizadas na cafeicultura.

4 CONCLUSÕES

Nas condições em que o presente trabalho foi realizado, pode-se concluir que:

- a) Os parâmetros de desempenho operacional capacidade de campo efetiva e tempo demandado apresentam alta correlação com a velocidade operacional dos conjuntos mecanizados;
- b) A eficiência de campo torna-se maior à medida que o comprimento das entrelinhas do talhão aumenta, devido ao número reduzido de manobras;
- c) As operações de preparo de covas, enleiramento e recolhimento apresentaram os menores resultados de eficiência de campo devido às baixas velocidades operacionais;
- d) Os valores de eficiência de campo para as operações de poda, adubação, transplântio, colheita, aplicação de agroquímicos e manejo de invasoras mostraram-se aceitáveis de acordo com os padrões estabelecidos, apresentando valores acima de 70%.

REFERÊNCIAS

AGRICULTURAL MACHINERY MANAGEMENT DATA. **ASAE Standards**, Saint Joseph: ASAE, 1999.

ALFENAS. **Google Maps**, Alfenas, 2014. Disponível em: <<http://maps.google.com>>. Acesso em: 27 jun. 2014.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Agricultural machinery management data. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **ASAE Standards 2009**: standards engineering practices data. Saint Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 2009. p. 350-357.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990.

BRANDÃO, F. J. B. et al. Desempenho operacional e produtividade agrícola do crambe nos preparos convencional e reduzido de solo. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 3746-3756, jun. 2013.

CAMPOS, F. H. et al. Talhão inteligente. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, v. 9, n. 103, p. 16-19, dez./jan. 2010.

CORTEZ, J. W. et al. Efeito residual do preparo do solo e velocidade de deslocamento na operação de semeadura da *Crotalaria juncea*. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 3, p. 357-362, jul./set. 2008.

GRISSE, R. D. et al. Field efficiency determination using traffic pattern indices. **Applied Engineering in Agriculture**, Saint Joseph, v. 20, n. 5, p. 563-572, Sept./Oct. 2004.

GRISSE, R. D.; JASA, P. J.; ROLOFSON, D. E. Analysis of traffic patterns and yield monitor data for field efficiency determination. **Applied Engineering in Agriculture**, Saint Joseph, v. 18, n. 2, p. 171-178, Mar./Apr. 2002.

MIALHE, L. G. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1974.

- MOLIN, J. P.; MILAN, M. Trator-implemento: dimensionamento, capacidade operacional e custo. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. (Ed.). **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas Florestais, 2002. p. 409-436.
- RAMOS, C. R. et al. Potência e economia. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, v. 11, n. 120, p. 28-31, jul. 2012.
- SILVA, F. M.; SOUZAS, J. C. S.; SILVA, A. C. Café derramado. **Cultivar Máquinas**, v. 9, n. 1, p. 18-20, abr. 2010.
- SILVA, J. M.; REIS, R. P. Custo de produção do café na região de Lavras - MG: estudo de casos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 6, p. 1287-1294, nov./dez. 2001.
- SILVEIRA, G. M. da; YANAI, K.; KURACHI, S. A. H. Influência da velocidade do trator no controle de plantas daninhas, adubação, pulverização da cultura do café. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 15, n. 3, p. 250-260, jul./set. 2007.
- SILVEIRA, G. M. da; YANAI, K.; KURACHI, S. A. H. Determinação da eficiência de campo de conjuntos de máquinas convencionais de preparo do solo, semeadura e cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 220-224, mar. 2006.
- STRICKLAND, R. M. et al. **Extracting machine performance information from site-specific grain yield data to enhance crop production management practices**. Saint Joseph: ASABE, 2001.
- TAYLOR, R. K.; SCHROCK, M. D.; STAGGENBORG, S. A. **Extracting machinery management information from GPS data**. Saint Joseph: ASAE, 2002.
- ZOU, K. H.; TUNCALI, K.; SILVERMAN, S. G. Correlation and simple linear regression. **Radiology**, Bristol, v. 3, n. 227, p. 617-628, jun. 2003.

CAPÍTULO 3 Modelagem dos parâmetros de desempenho em diferentes operações mecanizadas da cafeicultura

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 influência de determinadas variáveis que atuam 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 influência de diferentes variáveis independentes e a resposta gerada permite alcançar um valor ótimo. O presente estudo teve como objetivos verificar a influência da velocidade, comprimento médio de entrelinhas e a declividade das áreas nos parâmetros de desempenho operacional, em diferentes operações mecanizadas na cafeicultura, utilizando a metodologia de superfície de resposta (MSR). Os resultados mostram que a declividade influencia diretamente no desempenho operacional da colheita mecanizada de café. Os modelos de primeira ordem para os parâmetros de desempenho das operações mecanizadas se mostraram mais ajustados à utilização de modelos quadráticos. A metodologia de superfície de resposta mostrou-se uma importante ferramenta para verificar o efeito das variáveis nos parâmetros de desempenho.

Palavras-chave: Mecanização. Declividade, Erro médio Colheita mecanizada.

CHAPTER 3 Modeling of performance parameters in different mechanized operations in coffee crop

ABSTRACT

The use of machines in modern coffee crop is relatively 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 different mechanized operations in the coffee crop, using the response surface methodology (RSM). The results show that the slope directly influences the operating performance of mechanical harvesting of coffee. The first order models for the performance parameters of the mechanized operations were more adjusted to the use of quadratic models. The response surface methodology was an important tool to check the effect of variables on performance parameters.

Keywords: Mechanization. Slope. Mean error. Mechanical harvesting.

1 INTRODUÇÃO

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 (ERENO, 2008).

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. Diante deste cenário, a utilização dos mesmos permite analisar as diferentes variáveis que compõem os sistemas agrícolas e os otimizar. Segundo Caixeta Filho (2004), 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.

Para Colaço et al. (2008), os modelos de superfície são frequentemente usados na substituição de modelos complexos, a fim de que se obtenha uma correlação entre os dados experimentais e redução dos problemas de otimização.

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. Outra vantagem citada por Li e Liu (2012), referente ao uso das superfícies de resposta, é que, além da interação dos fatores, as mesmas permitem a identificação de regiões ótimas, que favorecem uma melhor identificação e possível alocação de recursos em um determinado processo.

Segundo Custódio, Morais e Muniz (2000), essa ferramenta é utilizada em diferentes áreas de pesquisa, como por exemplo, as ciências agrárias, em que frequentemente acabamos nos deparando com a dificuldade de relacionar a influência das variáveis quantitativas que afetam as variáveis respostas. Os mesmos autores citam que a modelagem utilizando superfícies de resposta já é bastante usada em alguns segmentos como no estudo de rendimento agrônomo 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).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área e operações estudadas

O experimento foi conduzido nas Fazendas Conquista e Capoeirinha, localizadas no município de Alfenas, Minas Gerais. O clima que predomina na região estudada é Cwa, tropical de altitude, com precipitação pluviométrica anual média da região de 1.370 mm e temperatura média anual de 20 °C.

Os dados foram coletados em diferentes talhões, em diferentes glebas, 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 (SANTOS, 2013).

Como base de dados para a realização do presente estudo, foram utilizados os parâmetros de desempenho das operações mecanizadas realizadas durante o ciclo produtivo das lavouras estudadas, ou seja, as operações de preparo das covas e transplântio, adubação, poda do cafeeiro, manejo de invasoras com trincha cafeeira, aplicação de agroquímicos e as operações de colheita mecanizada do café constituídas pela derriça e colheita com colhedora automotriz, varrição e enleiramento e recolhimento do “café de chão”.

2.2 Parâmetros de desempenho avaliados

Para a obtenção da área total de cada talhão, os comprimentos de cada rua dos talhões avaliados, trajeto percorrido pelas máquinas e sua velocidade operacional, foi utilizado um receptor GPS/A-GPS (*Global Positioning System*), o que permite 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.

Com posse de todos esses dados, os parâmetros de desempenho foram calculados por meio de planilha eletrônica, sendo possível a determinação da capacidade de campo efetiva (C_{ce}), o tempo demandado das operações (T_d) e a eficiência de campo (E_c), de acordo com as equações descritas no Capítulo 2 do presente trabalho.

2.3 Determinação dos modelos de superfície de resposta

Com base nos dados obtidos de cada parâmetro de desempenho nas operações mecanizadas estudadas, escolheu-se o modelo que melhor representava as características das variáveis em estudo, ou seja, velocidade operacional, declividade das áreas e comprimento médio das ruas de café.

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 entrelinhas (m);

Y_i - Velocidade operacional (km h⁻¹);

a, b, c - Coeficientes da equação.

Os modelos propostos foram gerados pelo programa estatístico STATISTICA 7.0 ®, realizando-se o estudo da regressão com modelos de primeiro grau por meio do procedimento de ajuste de modelos não lineares. A significância dos modelos foi obtida por meio da análise de variância, em nível de 5% de significância.

2.4 Determinações dos estimadores dos modelos gerados

Após a obtenção dos modelos propostos, foi realizada a determinação dos estimadores, o que permitiu verificar a acurácia, precisão e viés de cada modelo gerado. 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.

O coeficiente de determinação (R^2) quantifica a qualidade do ajuste, pois fornece uma medida da proporção da variação explicada pela equação de regressão em relação à variação total das respostas, variando de 0 a 100%. Com relação ao erro médio relativo (p), indica o ajuste do modelo proposto. No presente estudo, o erro relativo foi obtido de acordo com a equação descrita por diversos autores como Almeida et al. (2003) e Reis et al. (2012), conforme Equação 2:

$$p = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - Y_o|}{Y} \quad (2)$$

Em que:

p - erro médio relativo (%);

n - número de observações experimentais;

Y - valor observado experimentalmente;

Y_o - valor estimado pelo modelo.

O erro médio estimado dos modelos foi obtido de acordo com a Equação 3, descrita por Reis et al. (2012). O erro médio estimado de um modelo indica o quanto o valor estimado pelo modelo se apresenta distante da verdadeira média.

$$SE = \sqrt{\frac{\sum(Y - Y_o)^2}{GLR}} \quad (3)$$

Em que:

SE - erro médio estimado;

GLR - grau de liberdade do modelo;

Y - valor observado experimentalmente;

Y_o - valor estimado pelo modelo.

Com relação ao teste do qui-quadrado (x^2), o mesmo compara os valores observados na amostra com as previstas pelo modelo, ou seja, não depende da média e da variância, permitindo assim verificar a dispersão de duas variáveis, conforme Equação 4:

$$x^2 = \frac{\Sigma(Y-Y_o)^2}{GLR} \quad (4)$$

Em que:

x^2 = qui-quadrado;

GLR = grau de liberdade do modelo;

Y = valor observado experimentalmente;

Y_o = valor estimado pelo modelo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos resultados obtidos em campo, foi realizada a modelagem da capacidade de campo efetiva, da eficiência de campo e tempo demandado dos conjuntos mecanizados em função da velocidade operacional e o comprimento médio das entrelinhas. Dessa maneira, foi possível investigar a influência das variáveis e sua interação, bem como valores que permitam otimizar os resultados.

Foi possível também determinar equações de primeira ordem para a capacidade de campo efetiva (C_{ce}) para todas as operações mecanizadas estudadas. Na Tabela 1, encontram-se os modelos gerados e seus estimadores. Os modelos gerados para a capacidade de campo efetiva, com 95% de confiança, mostram coeficientes de determinação considerados altos, ou seja, para todos os modelos propostos os valores apresentados foram acima de 80%. É possível observar que dentre as variáveis estudadas, a velocidade operacional foi a que mais influenciou na capacidade de campo efetiva.

Analisando os demais estimadores, observa-se que os valores para o erro médio relativo apresentaram valores considerados aceitáveis. Em contrapartida, os estimadores qui-quadrado e erro médio estimado apresentam valores muito elevados, o que permite dizer que os modelos de superfície gerados para a capacidade de campo efetiva das operações estudadas não representam a interação do comprimento médio das entrelinhas e a velocidade operacional de forma eficiente.

Tabela 1 Equações de primeira ordem obtidas para a capacidade de campo efetiva em função da velocidade operacional e comprimento médio das ruas

	Valores em decimal			
	R ² (%)	x ²	SE	p
(Prep. covas) = 71,14+0,1243C+500,2V	85,5	321,3	56,7	7,39
(Transplântio) = -222,3+7,197C+796,1V	96,5	430,8	65,6	3,08
(Adubação) = -477,6+1,136C+980,9V	88,9	183,3	427,8	10,47
(Aplicação agr.) = -477,6+1,136C+981,1V	98,2	139,4	118,1	1,87
(Manejo inv.) = 123,36+0,455C+401,7V	93,8	534,2	73,1	2,71
(Poda) = 148,44+2,726C+983,8V	94,3	405,5	201,3	3,24
(Colheita) = -14,37+3,126C+962,2V	82,5	289,9	170,1	8,38
(Varrição) = -21,47+0,112C+523,9V	85,6	114,9	0,4	3,79
(Recolhimento) = 31,42+0,324C+182,7V	86,9	141,2	11,9	1,89

(C) Comprimento médio das entrelinhas; (V) Velocidade operacional; (R²) Coeficiente de determinação; (x²) qui-quadrado; (SE) erro médio estimado; (p) erro médio relativo.

Os modelos gerados para o parâmetro eficiência de campo (Ec) e seus estimadores, encontram-se presentes na Tabela 2. Analisando o coeficiente de determinação dos modelos, observa-se que para as operações de transplântio, aplicação de agroquímicos e manejo de invasoras, os modelos gerados mostram coeficientes de determinação considerados satisfatórios, enquanto as operações de colheita, poda e recolhimento mostram-se aceitáveis.

Tabela 2 Equações de primeira ordem obtidas para a eficiência de campo em função da velocidade operacional e comprimento médio das ruas

	Valores em decimal			
	R ² (%)	x ²	SE	p
(Prep. covas) = 46,79+0,0057C -3,519V	5,7	120,9	14,1	5,84
(Transplântio) = 74,47 +0,2408C - 12,476V	97,9	1,66	1,1	5,11
(Adubação) = 63,87+0,0184C+0,2879V	9,6	67,1	8,2	9,54
(Aplicação agr.) = 74,20+0,0265C - 2,410V	90,9	0,87	0,9	0,87
(Manejo inv.) = 79,21 -0,0192C -2,536V	87,7	0,01	2,4	2,63
(Poda) = 90,16+0,0473C -2,906V	62,3	10,4	3,2	2,68
(Colheita) = 64,56+0,115C -9,768V	74,5	68,1	8,3	9,13
(Varrição) = 49,75+0,012C+1,081V	9,7	10,9	3,3	4,38
(Recolhimento) = 56,68+0,039C - 10,643V	75,9	2,61	1,6	2,25

(C) Comprimento médio das entrelinhas; (V) Velocidade operacional; (R²) Coeficiente de determinação; (x²) qui-quadrado; (SE) erro médio estimado; (p) erro médio relativo.

Analisando os modelos gerados para a operação de preparo de covas, adubação e varrição, os coeficientes de determinação obtidos são muito baixos, o que por si só já permite afirmar que os modelos gerados para essas duas operações não explicam a relação entre as duas variáveis estudadas, explicando, em ambos os casos, menos de 10% da interação.

Com relação aos estimadores que indicam o ajustamento do modelo, observa-se que os modelos gerados para as operações de transplântio, aplicação de agroquímicos, manejo de invasoras e recolhimento apresentam coeficientes que garantem o ajustamento dos modelos, tornando-os aptos a serem utilizados para a determinação da eficiência de campo (Ec). Por outro lado, nota-se que as operações de poda e colheita apresentaram valores para o estimador qui-quadrado muito superiores a zero, o que prejudica a utilização dos modelos, pois os mesmos não se mostram precisos.

Diante desses resultados, foram geradas as superfícies de resposta para as operações de transplântio, aplicação de agroquímicos, manejo de invasoras e recolhimento, conforme a Figura 1.

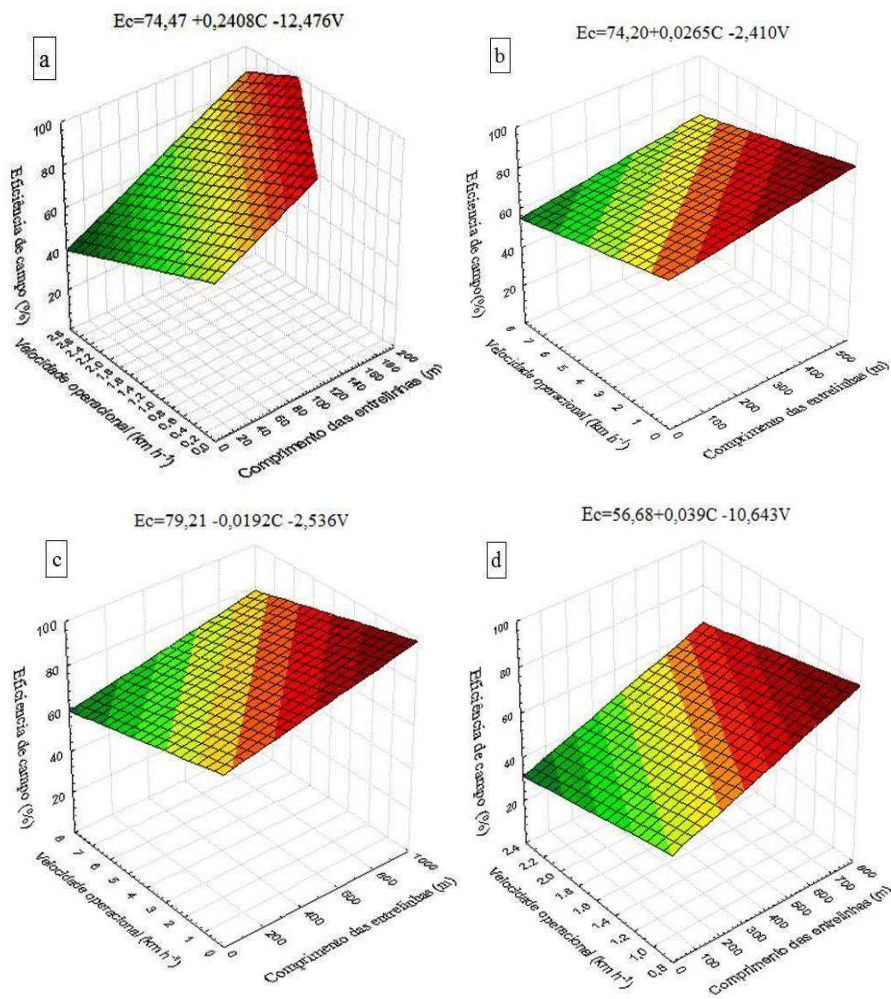


Figura 1 Superfícies de primeira ordem obtidas para eficiência de campo para: a) transplântio; b) aplicação de agroquímicos; c) manejo de invasoras; d) recolhimento.

Analisando as superfícies geradas, observa-se que com o aumento da velocidade dos conjuntos de forma isolada ocorre a tendência de redução da eficiência de campo. No caso da operação de transplante, observa-se uma maior variação na velocidade do conjunto. Percebe-se que o aumento combinado da velocidade com o comprimento das entrelinhas permite a obtenção de maiores eficiências de campo, visto que, com entrelinhas mais compridas há uma menor quantidade de manobras, como visto no capítulo anterior do presente trabalho.

Para o parâmetro de desempenho tempo demandado (T_d), nota-se uma maior influência da variável velocidade operacional em comparação ao comprimento médio das entrelinhas do talhão. De uma maneira geral, os modelos gerados permitem dizer que com o aumento da velocidade operacional o tempo que é demandado para a realização da operação reduz. Na Tabela 3, é possível observar os modelos propostos e seus estimadores.

Tabela 3 Equações de primeira ordem obtidas para o tempo demandado em função da velocidade operacional e comprimento médio das ruas

	Valores decimais			
	R^2	x^2	SE	p
(Prep. covas) = 10,73 -0,0001C -4,297V	73,3	0,51	1,2	5,84
(Transplante) = 4,87-0,0064C -1,1193V	80,1	0,02	0,2	8,25
(Adubação) = 2,139 -0,0001C -0,267V	76,6	0,03	0,2	10,12
(Aplicação agr.) = 2,233 -0,0007C -0,237V	88,5	0,01	0,1	7,16
(Manejo inv.) = 3,562 -0,0003C -0,3750V	88,5	0,02	0,1	5,11
(Poda) = 1,57-0,0005C -0,1644V	89,9	0,01	0,1	3,93
(Colheita) = 6,61 -0,0007C -1,517V	70,3	0,26	0,5	10,38
(Varrição) = 14,73-0,0012C -7,527V	84,5	0,14	0,4	3,11
(Recolhimento) = 17,58 -0,0006C -4,290V	84,7	0,19	0,4	3,79

(C) Comprimento médio das entrelinhas; (V) Velocidade operacional; (R^2) Coeficiente de determinação; (x^2) qui-quadrado; (SE) erro médio estimado; (p) erro médio relativo.

Os modelos gerados para o tempo demandado, com 95% de confiança, mostraram coeficientes de determinação considerados razoáveis, ou seja, para todos os modelos propostos, os valores apresentados foram acima de 70%. Os modelos gerados para as operações de preparo das covas e colheita apresentaram os menores valores para os menores coeficientes de determinação, com valores de 73,3 e 70,3% respectivamente.

Analisando os estimadores de cada modelo, observa-se que o erro médio estimado (SE) e o qui-quadrado (x^2) apresentaram valores próximos a zero para todos os modelos gerados. Tais resultados indicam que os modelos estão ajustados. Segundo Molina Filho et al. (2006), quanto menor for o valor desses estimadores significa uma menor discrepância dos valores observados e obtidos pelo modelo.

Com relação ao erro relativo dos modelos propostos, os mesmos apresentaram valores satisfatórios para todos os parâmetros de desempenho avaliados, com exceção das operações de adubação e colheita. De acordo com Kashani-Nejad, Mortazavi e Safekordi (2007), os valores de p indicam o desvio dos valores observados em relação à curva estimada pelo modelo e, segundo Mohapatra e Rao (2005), valores inferiores a 10% são recomendados para a seleção de modelos, o que limita o uso das superfícies geradas pelos modelos propostos para as duas operações citadas.

Diante dos resultados, foram geradas as superfícies de resposta para o tempo demandado das operações estudadas. As Figuras 2 e 3 apresentam as superfícies para as operações de preparo de covas, transplântio, aplicação de agroquímicos e manejo de invasoras, poda, varrição e recolhimento.

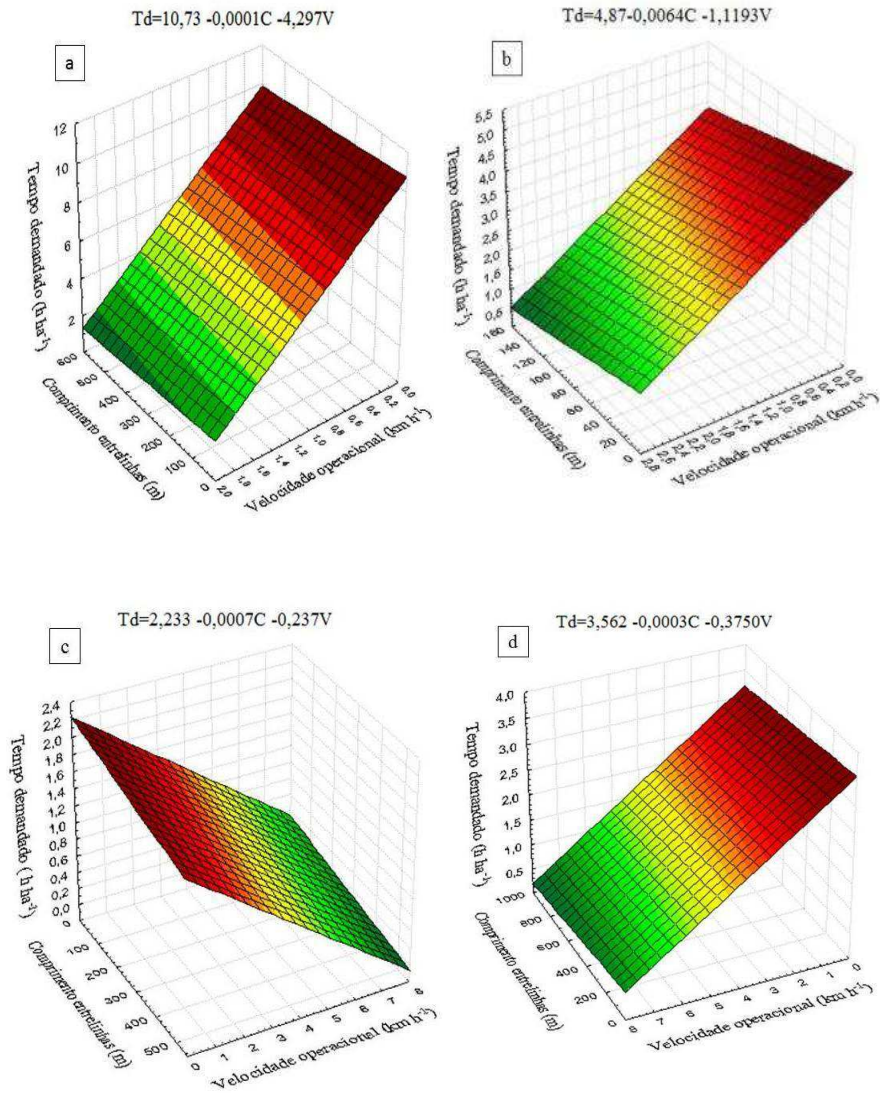


Figura 2 Superfícies de primeira ordem obtidas para tempo demandado para: a) preparo de covas; b) transplântio; c) aplicação de agroquímicos; d) manejo de invasoras

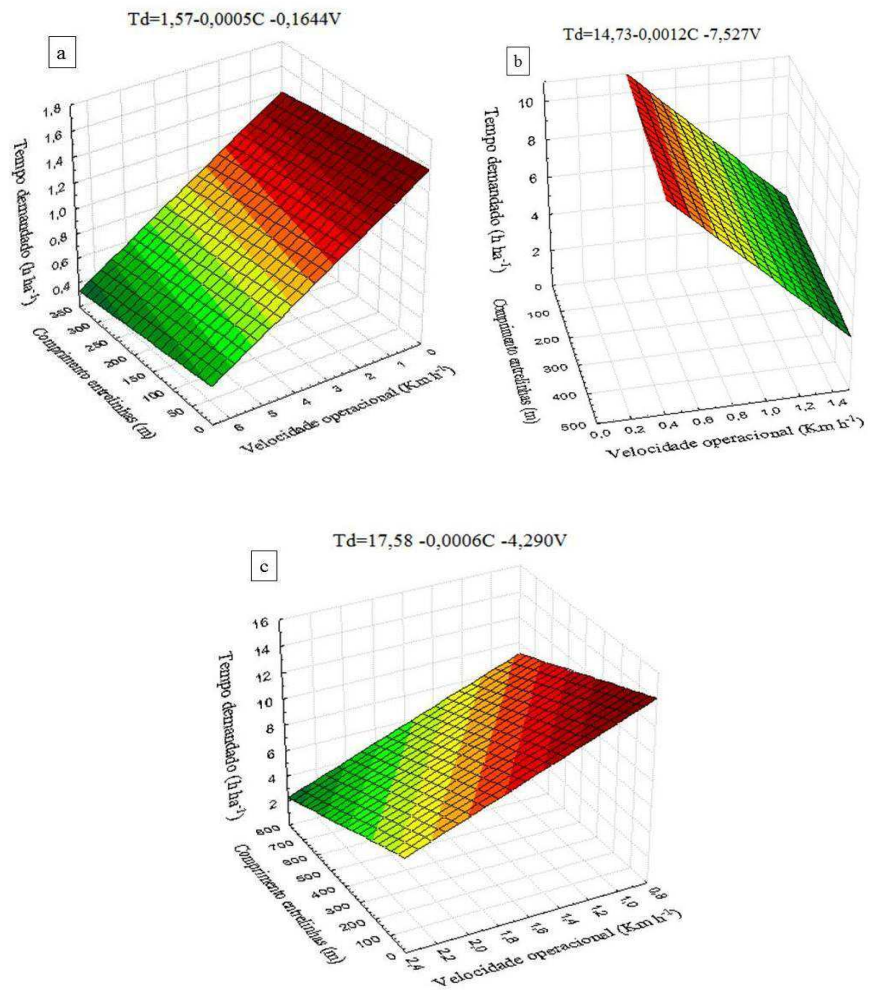


Figura 3 Superfícies de primeira ordem obtidas para tempo demandado para: a) poda; b) varrição e enleiramento; c) recolhimento

Analisando as superfícies geradas, observa-se que a velocidade operacional dos conjuntos é a variável que afeta com maior intensidade com o tempo demandado, fazendo com que seu aumento permita a redução do tempo demandado. Tal resultado é visivelmente verificado mediante a maior inclinação no plano da superfície gerada. Percebe-se que o aumento combinado da velocidade com o comprimento das entrelinhas permite com que as operações sejam realizadas com uma menor quantidade de horas.

3.1 Análise do efeito da declividade na operação de colheita

A análise do efeito da declividade foi realizada somente na 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 cafeeiros e não nas entrelinhas, fazendo com que o efeito da declividade na operação seja realmente verificado.

Conforme a Tabela 4, 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.

Tabela 4 Correlação entre a declividade do terreno e: velocidade operacional (Vel. Op); comprimento entrelinhas (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.

Foram obtidos também modelos que permitem verificar o efeito da declividade nos parâmetros de desempenho capacidade de campo efetiva e tempo demandado. Na Tabela 5, observa-se os modelos gerados e seus estimadores.

Tabela 5 Modelos propostos para o efeito da declividade nos parâmetros capacidade de campo efetiva e tempo demandado na colheita mecanizada de café

	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

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).

De forma geral, observa-se 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.

4 CONCLUSÃO

- a) 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.
- b) Os modelos de superfície gerados permitem dizer que o aumento da velocidade combinado com o maior comprimento das entrelinhas permite a obtenção de menores tempos demandados para a realização da operação nas áreas.
- c) É possível dizer que em todos os parâmetros avaliados a velocidade operacional dos conjuntos é a variável que apresenta maior influência em suas determinações.
- d) 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.

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.
- BRANDÃO, F. J. B. et al. Desempenho operacional e produtividade agrícola do crambe nos preparos convencional e reduzido de solo. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 3746-3756, jun. 2013.
- CAIXETA FILHO, J. V. **Pesquisa operacional: técnicas de otimização** aplicadas a sistemas agroindustriais. São Paulo: Atlas, 2004.
- 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.
- CUSTODIO, T. N.; MORAIS, A. R.; MUNIZ, J. A. Superfície de resposta em experimento com parcelas subdivididas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 4, p. 1008-1023, out./dez. 2000.
- ERENO, L. H. Z. **Estudo comparativo entre a utilização real e a determinada pelo planejamento da mecanização agrícola em empresas rurais de soja e arroz**. 2008. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.
- FREUND, R. J.; LITTELL, R. C. **SAS® Sistem for regression**. 4. ed. Cary: SAS Institute, 2000.
- KASHANI-NEJAD, M. A.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI, A. G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 78, n. 1, p. 98-108, Jan. 2007.
- 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.

- LI, Z.; LIU, Y. Performing response surface analysis using the SAS RSEG procedure. In: MWSUG 2012 Conference, 2012, Minneapolis. **Proceedings**,.. Minneapolis: [s.n.], 2012. p. 01-10. Disponível em: <<http://www.mwsug.org/proceedings/2012/DV/MWSUG-2012-DV02.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2014.
- MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A. Thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 66, n. 4, p. 513-518, Feb. 2005.
- MOLIN, J. P.; MILAN, M. Trator-implemento: dimensionamento, capacidade operacional e custo. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. (Ed.). **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. Cap. 13, p. 409-436.
- MOLINA FILHO, L. et al. Influência da temperatura e da concentração do cloreto de sódio (NaCl) nas isotermas de sorção da carne de tambaqui (*Colossoma macroparum*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 2, p. 453-458, abr./jun. 2006.
- 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.
- REIS, R. C. et al. Cinética de secagem em folhas de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) via infravermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 12, p. 1346–1352, dez. 2012.
- SANTOS, H. G. dos et al.. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2013.
- 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.

SILVEIRA, G. M. da; YANAI, K.; KURACHI, SERGIO A. H. Determinação da eficiência de campo de conjuntos de máquinas convencionais de preparo do solo, semeadura e cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 220-224, mar. 2006.

CAPÍTULO 4 Estudo dos tempos e movimentos de diferentes operações mecanizadas na cafeicultura

RESUMO

Com a adoção da mecanização na cafeicultura, diversas operações antes manuais passaram a ser realizadas por máquinas, o que permitiu aumento da capacidade produtiva e redução dos custos. O conhecimento e aplicação de critérios técnicos e econômicos para obtenção dos custos de produção são de suma importância, pois permitem que os custos estimados apresentem solidez e sejam confiáveis, proporcionando melhor competitividade ao produtor. O trabalho foi conduzido na Fazenda Conquista, no município de Alfenas - MG, em lavouras totalmente aptas e adaptadas à mecanização, com o objetivo de realizar a análise técnica e econômica de diferentes operações mecanizadas. Foram analisados tempos necessários para a realização de diversas operações dos conjuntos mecanizados e também os seus respectivos custos fixos e variáveis. A análise de cada conjunto foi realizada pelo produto de horas totais despendidas em cada operação, em função dos custos de produção. Com base nos dados obtidos, os tempos de reparos e manutenção afetam diretamente a disponibilidade mecânica dos conjuntos mecanizados. A depreciação e os custos com combustível são os principais componentes que compõem os custos fixos e variáveis, respectivamente. As operações de recolhimento e enleiramento do café de chão são as operações com a menor viabilidade técnica e, conseqüentemente, econômica apresentando custos improdutivos superiores aos custos produtivos.

Palavras-chave: Eficiência operacional. Custos operacionais. Viabilidade técnica. Disponibilidade mecânica.

CHAPTER 4 Study of time and movement of different mechanized operations in coffee culture

ABSTRACT

With the adoption of mechanization in coffee, many formerly manual operations are now performed by machines, allowed increased production capacity and reduce costs. The knowledge and application of technical and economic criteria for obtaining production costs are of paramount importance as they allow the estimated costs show strength and are reliable, providing better market competitiveness. With the objective of conduct a technical and economic analysis of different mechanized operations in coffee, work was conducted in Conquista farm in municipality of Alfenas- MG in fully adapted to fit crops and mechanization. Time required to perform various operations mechanized sets and also their respective fixed and variable costs were analyzed. The analysis of each set was performed by the product of total hours spent in each operation, in terms of production costs. Based on data obtained times of repairs and maintenance directly affect the mechanical availability of mechanized sets. The depreciation and fuel costs are the main components that make up the fixed and variable costs, respectively. A redeployment and windrowing coffee ground operations are the worst technical feasibility and hence economical, featuring superior unproductive costs to production costs.

Keywords: Operational efficiency. Operating costs. Technical feasibility. Mechanical availability.

1 INTRODUÇÃO

O café é uma das principais culturas agrícolas do Brasil e com a adoção da mecanização por parte dos produtores, diferentes operações antes onerosas e demoradas realizadas manualmente, passaram a ser realizadas de forma mais rápida e eficiente, aumentando assim a capacidade operacional dos sistemas e redução dos custos.

Segundo Toledo et al. (2010), as operações mecanizadas na agricultura devem ser planejadas de forma racional e a busca de melhores resultados em campo passa por um melhor gerenciamento de todos os conjuntos mecanizados utilizados durante o ciclo produtivo da cultura. Dessa maneira, a determinação e quantificação das variáveis que influenciam o processo produtivo são fatores que possibilitam o sucesso das operações mecanizadas, otimizando e permitindo a viabilidade econômica da atividade (OLIVEIRA JÚNIOR; SEIXAS; BATISTA, 2009).

A otimização dos processos tem se tornado objeto de estudos e desenvolvimento de tecnologias. A decomposição das tarefas, por meio da determinação de tempos com movimentos úteis e inúteis permite obter informações sobre o desempenho e a capacidade de trabalho das máquinas agrícolas, sendo parâmetros de grande importância no gerenciamento de sistemas mecanizados agrícolas, auxiliando na tomada de decisões e visando a máxima eficiência dos sistemas (MOLIN et al., 2006).

Simões e Silva (2010) citam que o estudo de tempos e movimentos tem grande importância como ferramenta de auxílio para o dimensionamento adequado da produção, permitindo identificar os elementos componentes da operação, buscar a melhoria de métodos e posterior fixação do tempo padrão de operação.

Outra ferramenta importante na tomada de decisão é a determinação dos custos de produção. Segundo Whitney (1988), o desempenho econômico de máquinas agrícolas é estimado pelos custos operacionais, os quais se dividem em custos fixos e custos variáveis. Os custos fixos são os custos de longo prazo que não sofrem variação com a intensidade do uso do maquinário, ou seja, depreciação, juros sobre o capital investido além dos custos de seguro e alojamento. Com relação aos custos variáveis, estes são aqueles dependentes do uso, como os combustíveis, lubrificantes, reparos e manutenção e mão de obra (MILAN; CROSSLEY, 1998).

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi realizar uma análise técnica e econômica em diferentes operações mecanizadas na cafeicultura por meio do estudo de tempos e movimentos e da determinação dos custos operacionais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Operações mecanizadas avaliadas

No presente trabalho, foram avaliadas as operações mecanizadas presentes na Figura 1. Dentre elas, destacam-se as de implantação da cultura, constituídas pelo preparo das covas (Figura 1a) e transplântio (Figura 1b), as de manejo da cultura constituídas pela adubação (Figura 1c), poda do cafeeiro (Figura 1d), manejo de invasoras com trincha cafeeira (Figura 1 e) e aplicação de agroquímicos (Figura 1 f); e as operações de colheita constituídas pela derriça com colhedora automotriz (Figura 1 g), varrição e enleiramento (Figura 1 h) e recolhimento (Figura i).



Figura 1 Operações mecanizadas de (a) preparo de covas; (b) transplântio; (c) adubação; (d) poda (decote); (e) manejo invasoras; (f) aplicação de agroquímicos; (g) colheita mecanizada; (h) varrição e enleiramento; (i) recolhimento analisadas no presente estudo

2.2 Determinação dos tempos de trabalho

A determinação dos tempos de trabalho, nas diferentes operações mecanizadas estudadas, foi realizada por meio de um cronômetro digital. Os tempos coletados foram em escala de segundos, o que permitiu a estimativa do tempo gasto na realização das operações, paradas, abastecimentos e deslocamentos. O método adotado para o estudo de tempos e movimentos foi o mesmo adotado por Moreira (2000), o qual possibilita constatar os percentuais dos tempos despendidos nas etapas dos ciclos operacionais e a constituição média das atividades parciais.

A jornada de trabalho adotada foi de oito horas diárias, sendo que a análise envolveu as atividades de campo de cada operação mecanizada a partir do deslocamento dos conjuntos para a área de trabalho, não levando em consideração as atividades realizadas antes do trabalho de campo.

2.2.1 Caracterização dos tempos de trabalho

O número de ciclos operacionais a serem coletados foi estimado pela metodologia de Barnes (1968). Dessa maneira, mediante a um estudo piloto, foi estimado o número de ciclos operacionais para um erro de amostragem admissível fixado em 5%, conforme Equação 1. No presente estudo, considerou-se 290 ciclos para cada operação mecanizada realizada.

$$n \geq \frac{t^2 \cdot (CV)^2}{E^2} \quad (1)$$

Em que:

n - número de ciclos operacionais necessários;

t - valor t student, no nível de probabilidade desejado e (n-1) graus de liberdade;

CV - Coeficiente de Variação (%);

E - Erro admissível (%).

Os tempos mensurados foram separados em: tempo produtivo e tempo improdutivo. O tempo produtivo caracterizou-se pela ação dos conjuntos mecanizados em campo, sendo determinado a partir dos deslocamentos dos conjuntos durante a execução das operações. Os tempos de deslocamento para as operações estudadas foram mensurados a partir do momento em que os conjuntos estavam em regime estável de trabalho.

Para a determinação dos tempos improdutivos, foram considerados o tempo auxiliar, tempo para manobras e tempo para reparos e manutenção. O tempo auxiliar foi composto do horário de almoço dos operadores e suas necessidades fisiológicas, o abastecimento dos implementos das operações de adubação, aplicação de agroquímicos e transplântio como as operações de transbordo na colheita e recolhimento.

O tempo para manobras foi composto pela soma dos tempos de manobra de cada conjunto mecanizado e também pelo tempo de deslocamento dos conjuntos mecanizados desde o abrigo das máquinas até o campo e os deslocamentos referentes à mudança de frente de trabalho dentro das glebas.

Tempos para reparos e manutenção foram obtidos por meio da soma dos tempos para abastecimento de combustíveis de cada trator em sua respectiva operação, do tempo gasto para a lubrificação dos implementos de cada operação mecanizada e o tempo de possíveis reparos realizados “*in loco*” nas áreas estudadas.

A partir dos tempos produtivos e improdutivos que constituíram cada operação estudada, foram consideradas as médias dos tempos gastos e as

mesmas foram utilizadas para a determinação dos rendimentos e capacidades operacionais.

2.2.2 Disponibilidade mecânica (Dm)

A disponibilidade mecânica, segundo Simões, Iamonti e Fenner (2010), foi definida como o percentual do tempo de trabalho, delineado à máquina mecanicamente apta a desenvolver suas operações, o qual consiste em desconsiderar o tempo despendido para efetuar reparos ou manutenção, conforme Equação 2.

$$Dm = \left(\frac{T_{prod}}{T_{prod} + T_{rep}} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

Em que:

Dm - Disponibilidade mecânica (%)

T_{prod} - Tempo produtivo (h)

T_{rep} - Tempo de interrupção para reparos e manutenções (h)

2.2.3 Eficiência de utilização (Eu)

De acordo com Simões e Silva (2012), a eficiência de utilização apresenta equivalência com relação às horas utilizadas e às horas totais, por conseguinte, advém do tempo improdutivo da máquina agrícola, conforme Equação 3.

$$E_u = \left(\frac{T_{prod} + T_{aux}}{T_{prod} + T_{imp}} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

Em que:

E_u - Eficiência de utilização (%);

T_{prod} - Tempo produtivo (h);

T_{aux} - Tempo auxiliar (h);

T_{imp} - Tempo improdutivo (h).

2.2.4 Eficiência operacional (E_o)

Para determinar a percentagem de tempo efetivamente trabalhado, foi determinada a eficiência operacional de acordo com a metodologia proposta por Oliveira, Seixas e Batista (2009), conforme apresentado na Equação 4.

$$E_o = \left(\frac{T_{prod}}{T_{prod} + T_{aux}} \right) \cdot 100 \quad (4)$$

Em que:

E_o - Eficiência operacional (%);

T_{prod} - Tempo produtivo (h);

T_{aux} - Tempo auxiliar (h).

2.3 Custos operacionais

Na Tabela 1, são apresentados os valores iniciais relativos aos equipamentos empregados nas diferentes operações mecanizadas avaliadas, a partir dos quais, foram determinados os custos operacionais. Para a análise do custo horário, foram considerados os custos fixos e variáveis conforme a

metodologia proposta por Silva e Carvalho (2011), em função dos valores de aquisição das máquinas praticados na região de estudo. Uma peculiaridade na atividade cafeeira é que pelo fato das operações realizadas durante o ciclo produtivo não necessitarem de tanta potência por parte dos conjuntos mecanizados em que, na maioria dos casos, as máquinas não terminam em estado de sucata após a depreciação. Dessa forma no presente estudo, o valor mínimo considerado de sucata é de 25% para tratores, 30% para colhedoras e 10% para os implementos utilizados na operação (SILVA et al., 2013).

Tabela 1 Valores iniciais, em reais, das máquinas que compuseram os conjuntos mecanizados empregados nas diferentes operações estudadas

Máquinas e implementos	Valor inicial (R\$)	Vida útil (h)	Horas trab/ano
Trator MF 275	82.500,00	10000	1000
Trato MF 4275	90.500,00	10000	1000
K3 Millennium	575.000,00	10000	1000
Batedor cova Bertanha	7.500,00	2000	385
Plataforma 12 caixas	13.500,00	1500	468
Adubadora 535D	17.500,00	2000	554
Pulverizador Arbus 2000	35.000,00	2000	443
Trincha Driaton 1600	16.000,00	2500	623
Enleirador Varre Tudo	80.000,00	5000	822
Recolhedor Mogiana 25 C	120.000,00	8000	1054
Serra decotadora esqueletadora	23.000,00	2000	507

Os juros representam o valor de remuneração do capital empregado na aquisição da máquina. Atualmente a grande maioria das máquinas é adquirida por meio de financiamentos dentro do Programa de Sustentação do Investimento (PSI) ou “Mais Alimentos”, com amortização entre seis a 10 anos. Dessa forma, no caso das máquinas estudadas, foi utilizada a taxa de financiamento de 4,5%

ao ano – Financiamento de Máquinas e Equipamentos (Finame) - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO, 2014).

No Brasil, não é muito comum fazer o seguro de máquinas agrícolas. Este fato pode levar à falsa impressão de que não é necessário calcular o custo desse seguro. Não se pode esquecer, porém, que se o proprietário não repassa o custo do seguro a uma seguradora, este é bancado pelo mesmo. De acordo com a metodologia proposta para o presente estudo, a taxa tem variado de 0,75% a 2% do custo inicial ao ano, dependendo assim do modelo da máquina e a quantidade de horas trabalhadas, sendo a taxa adotada no presente estudo de 1,5%.

Dentre os custos variáveis, neste estudo, os custos com combustíveis foram obtidos por meio das cadernetas de campo e relatórios das áreas estudadas. Já os custos com lubrificantes foram determinados fazendo-se a relação direta com o custo de combustível em que, segundo Silva et al. (2013), para tratores cafeeiros, foi considerado 8,4% do custo do combustível, enquanto no caso dos implementos utilizados nas operações constituintes do trabalho, considerou-se uma taxa de 10% do custo de combustível.

Os custos com manutenção são os mais difíceis de serem determinados. No caso da manutenção preventiva, aquela que trata de gastos com componentes trocados em intervalos regulares, é fácil de ser computado. Já o custo com manutenção corretiva trata-se de um gargalo na determinação dos custos em operações agrícolas, visto que, depende de outros fatores como histórico de quebras das máquinas, passando a ser algo gerencial, nem sempre observado por parte de alguns produtores. No presente estudo, como referência, foram adotados 50% do valor de aquisição para colhedoras e tratores cafeeiros, e 80% para os implementos utilizados nas diferentes operações mecanizadas que compõem o estudo (SILVA; CARVALHO, 2011).

Os custos referentes à mão de obra para os três sistemas avaliados, levaram em conta o salário, bem como outros benefícios e encargos sociais. Para os encargos sociais, somaram-se os valores de FGTS, INSS, férias, décimo terceiro, abono de férias além de um valor referente à rescisão contratual, totalizando 45,6 % sobre o salário base praticados pelos produtores na região de estudo. Os salários praticados regionalmente no Sul de Minas, em média, são de um salário mínimo para serviços de apoio; um salário mínimo e meio para operadores de trator e dois salários mínimos para operador de colhedora.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise técnica das operações estudadas

Em se tratando de operações mecanizadas, no presente trabalho, foram considerados em todas as operações os tempos para abastecimento de óleo diesel, lubrificação, deslocamento entre as áreas estudadas e almoço dos operadores. Outros tempos determinados considerados como abastecimento de implementos com adubos, defensivos e materiais vegetais foram considerados em função do tipo de operação realizada.

De acordo com a Tabela 2, é possível verificar que a disponibilidade mecânica dos conjuntos nas operações estudadas apresentaram valores acima de 70%. As operações de recolhimento, manejo de invasoras, transplântio e varreção apresentaram os menores valores, o que pode ser explicado pelo maior tempo dispendido com manutenções corretivas, tais como o embuchamento das máquinas, pois são implementos que trabalham em contato direto com o solo ou com material vegetal.

Concomitante a esse resultado, é possível observar que as mesmas operações apresentaram os menores valores para a eficiência de utilização (E_u), visto que se trata de um parâmetro diretamente relacionado à maior quantidade de tempos improdutivos, ou seja, tempos perdidos durante a operação, como reparos e manobras.

Com relação à eficiência operacional (E_o) nas operações mecanizadas estudadas, somente a operação de recolhimento apresentou valor de eficiência de 40,5% abaixo dos padrões aceitáveis descritos por ASAE (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, 2003). Em contra partida, as demais operações estudadas apresentaram valores de eficiência operacional variando entre 51 e 73%, valores iguais ou superiores aos encontrados por

Simões, Silva e Fenner (2011) avaliando o desempenho técnico e econômico de um trator agrícola realizando a operação de irrigação pós-plantio de eucalipto.

A maior eficiência operacional foi encontrada na operação de colheita, apresentando valor de 72,9%. Tais resultados foram obtidos pela maior eficiência de utilização da operação e a menor quantidade de tempos perdidos com abastecimento de combustível, reparos e manutenção durante a operação. Isto permitiu a elevação dos tempos produtivos e a consequente obtenção de valores aceitáveis de eficiência operacional, conforme Molin e Milan (2002), que preconizaram valores entre 70 e 90%.

Tabela 2 Determinação da disponibilidade mecânica (D_m), eficiência de utilização (E_u) e eficiência operacional (E_o) das diferentes operações mecanizadas do café

	D_m (%)	E_u (%)	E_o (%)
Preparo de cova	83,3	72,1	67,8
Transplântio	79,4	64,6	63,9
Apl. Agroquímicos	84,3	76,4	62,1
Adubação	83,9	73,7	61,5
Poda (decote)	86,0	72,3	68,2
Manejo de invasoras	71,8	64,2	62,9
Colheita	89,8	82,6	72,9
Varrição	77,3	59,1	51,0
Recolhimento	71,9	53,8	40,5

3.2 Determinação dos tempos produtivos e improdutivo

Os tempos produtivos e improdutivo, este último, composto pelos tempos auxiliar, de manobras e reparos e manutenção das operações estudadas, foram obtidos em função do tempo médio dispendido dentro de um turno normal de trabalho nas áreas avaliadas. Para efeito de informação, as operações agrícolas avaliadas foram realizadas em turnos de oito, nove e 12 horas diárias.

Pelos valores dos tempos produtivos presentes na Tabela 3, para as operações com turnos de nove horas diárias, a operação de poda apresentou o maior valor. Com relação às operações com turno de 12 horas, o maior valor de horas produtivas foi encontrado na operação de colheita mecanizada do café. Tais resultados são explicados pelo baixo número de paradas forçadas do conjunto durante as operações, devido à necessidade de possíveis reparos, o que faz com que a mesma seja a operação com maior eficiência operacional dentre as avaliadas.

Tabela 3 Determinação dos tempos produtivos, auxiliares, de manobras e reparos e manutenção nas diferentes operações mecanizadas estudadas em horas

	Tempo Produtivo	Tempo improdutivo			Tempo Total
		Aux.	Man.	R+M	
Preparo de cova	4,77	0,99	1,27	0,96	7,99
Transplântio	4,62	1,20	1,41	1,77	9,00
Apl. agroquímicos	5,01	1,86	1,19	0,93	8,99
Adubação	4,95	1,68	1,42	0,95	9,00
Poda (decote)	5,50	0,87	1,76	0,88	9,01
Manejo de invasoras	4,62	1,05	1,52	1,81	9,00
Colheita	8,07	1,84	1,16	0,92	11,99
Varrição	5,33	1,76	3,35	1,56	12,00
Recolhimento	4,19	2,26	3,91	1,64	12,00

Tempo auxiliar (Aux.), tempo de manobras (Man.), Tempo de reparos e manutenção (R+M)

Os tempos auxiliares foram maiores nas operações de pulverização, adubação, colheita, recolhimento e varrição. No caso das operações de aplicação de agroquímicos e adubação, os valores mais altos são explicados pela necessidade de abastecimento dos reservatórios, ou seja, a autonomia de trabalho dos conjuntos. No caso da operação de colheita, o valor é explicado pela necessidade de se utilizar um transbordo na transferência do café colhido nas

áreas e seu posterior transporte ao terreiro, o que faz com que as colhedoras que não possuam reservatórios pulmão fiquem à espera da operação em campo.

As operações de recolhimento e varreção apresentaram tais valores em função de sua baixa capacidade operacional em relação a outras operações estudadas. Tal fato é explicado pela menor velocidade operacional dos conjuntos em que, no caso da operação de recolhimento, há a necessidade do conjunto deslocar-se das áreas de trabalho para a realização do transbordo do material recolhido após a varreção, pois são operações que se completam.

Com base nos dados obtidos, o tempo auxiliar foi o principal contribuinte para um maior tempo improdutivo em metade das operações. O resultado já era esperado pela necessidade de abastecimento ou transferência de café colhido ou recolhido mecanicamente, o que necessita um correto planejamento da atividade como um todo. Tais resultados poderiam ser até melhores com a aproximação dos pontos de apoio em determinadas glebas o que otimizaria o tempo reduzindo-o, visto que, os deslocamentos até os locais de apoio tiveram uma parcela de contribuição relevante para que esses resultados fossem obtidos.

No caso dos tempos de manobras, as operações de recolhimento e varreção apresentaram os maiores valores. Tal resultado é explicado pela necessidade de realizar uma parada no início e fim de cada rua, para a suspensão e abaixamento do implemento, isto pois, são implementos utilizados para recolher café caído no chão, tendo assim a necessidade da correta regulagem da altura dos mecanismos de varreção e recolhimento, para que haja o maior rendimento da operação.

A Figura 2 permite uma melhor compreensão dos dados discutidos, em que se observa a porcentagem de tempos produtivos e improdutivos para cada operação estudada. É possível observar que nas operações de transplante e de manejo de invasoras há uma menor diferença entre os tempos produtivos e

improdutivos (2,6%). Já as operações de varrição e recolhimento apresentaram tempos improdutivos maiores que os tempos produtivos. A operação de colheita apresentou a maior porcentagem de tempos produtivos (67,26%). Dessa maneira, é possível observar que os tempos perdidos com manobras e reparos foram os que mais impactaram nos resultados obtidos para a quantidade de tempo improdutivo nessa operação.

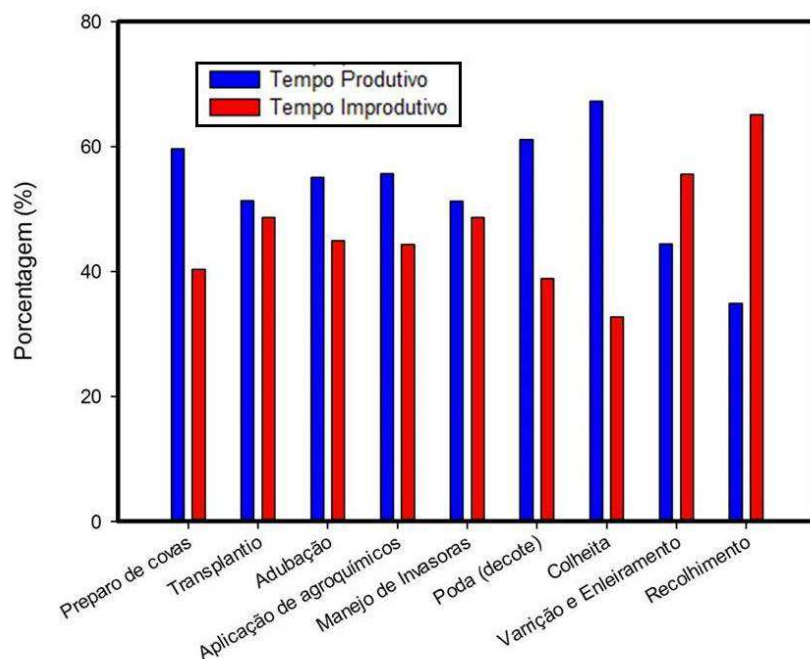


Figura 2 Tempos produtivos e improdutivos das operações mecanizadas

Seixas, Barbosa e Rummer (2004) consideram o estudo de tempos e movimentos uma técnica muito importante no desenvolvimento de operações mecanizadas, pois o tempo consumido para cada um dos elementos do ciclo operacional permite a organização do trabalho e, deduzir a produtividade e o custo por unidade produzida. Sendo assim, todos os estudos realizados com a

utilização dessa técnica podem ser aplicados em diversas áreas, apresentando, assim, a polivalência desses trabalhos para a otimização dos processos, permitindo o melhor gerenciamento das atividades, seleção adequada do número de conjuntos a serem usados e a redução de tempos considerados ociosos.

3.3 Determinação dos custos de produção

Na Tabela 4, é possível observar os custos de produção dos conjuntos avaliados no presente estudo. Os mesmos foram separados em custos fixos e variáveis e dados em função de uma hora de trabalho. De acordo com os resultados, é possível observar que as operações que constituem a colheita mecanizada do café apresentaram custos horários de R\$ 139,06, 83,36 e 73,84 por hora trabalhada nas operações de colheita, recolhimento e varrição respectivamente, constituindo-se das operações com custos mais elevados dentre as estudadas.

Tabela 4 Custos de produção dos conjuntos mecanizados estudados em reais por hora (R\$ h⁻¹)

Operações	Custos Fixos			Custos Variáveis				Custo Total
	Dep.	J	S+A	Comb.	Lub.	RM	MO	
Preparo de cova	9,11	2,80	1,53	24,86	2,53	7,13	8,40	56,36
Transplântio	11,38	3,03	1,67	19,59	2,09	8,75	19,61	66,12
Apl. Agroquímicos	13,30	4,28	2,43	18,23	2,27	10,45	8,40	59,36
Adubação	9,03	3,02	1,72	19,12	2,15	6,66	8,40	50,10
Poda (decote)	14,36	3,44	1,96	13,94	2,56	11,39	8,40	56,05
Manj. Invasoras	8,50	2,96	1,63	23,45	3,20	6,18	8,40	54,32
Colheita	40,25	16,82	8,63	27,84	5,56	28,75	11,21	139,06
Recolhimento	23,87	5,37	3,07	19,39	3,55	19,71	8,40	83,36
Varrição	21,39	4,96	2,82	15,85	2,91	17,51	8,40	73,84

Custos referentes à: Depreciação (Dep.), Juros (J), Seguro e Alojamento (S+A), Combustível (Comb.), Lubrificantes (Lub.), Reparos e Manutenção (RM) e Mão-de-obra (MO).

No que diz respeito à operação de adubação, a mesma apresentou o menor custo horário dentre as operações estudadas. Analisando sob a perspectiva do custo operacional, o cenário permanece o mesmo por se tratar da operação mecanizada com maior capacidade operacional. Segundo Piacentini et al. (2012), o custo operacional expressa a relação do custo horário de determinado conjunto mecanizado e a sua capacidade de trabalho, permitindo o uso racional dos mesmos.

Na Figura 3, são apresentados os valores dos custos horários de produção em função das porcentagens dos custos fixos e variáveis. Em todas as operações avaliadas, os custos variáveis apresentaram-se maiores que os custos fixos. No caso das operações de implantação e manejo da cultura, observa-se uma maior diferença entre os valores dos custos fixos e dos custos variáveis.

No caso das operações de colheita, varrição e recolhimento, ocorreram maiores participações dos custos fixos em comparação às outras operações estudadas. Tais resultados são explicados pela maior participação da depreciação dos conjuntos mecanizados e juros por considerarmos o valor de aquisição de equipamentos novos (RIBEIRO; SAVASTANO JÚNIOR; ABLAS, 1999).

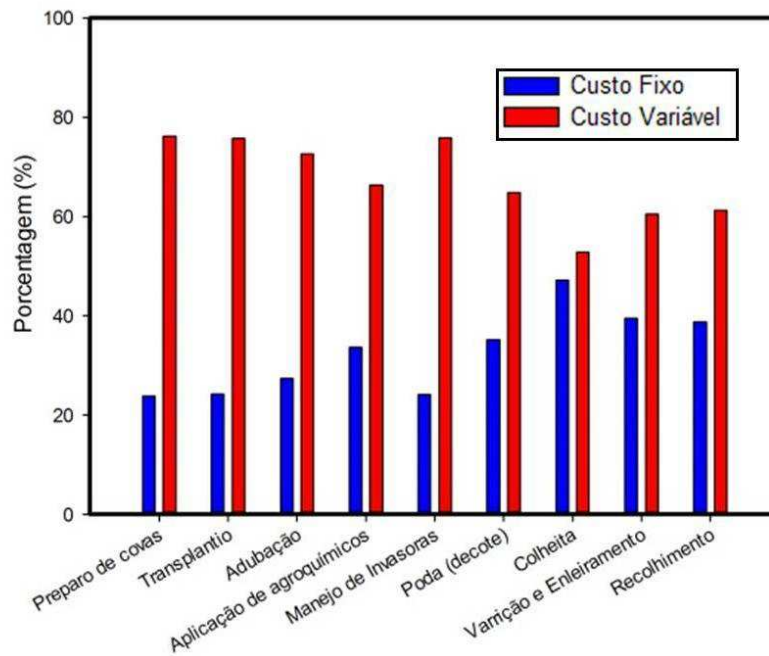


Figura 3 Custos percentuais totais nas diferentes operações mecanizadas estudadas

Analisando o impacto do combustível nos custos variáveis das operações estudadas é possível afirmar que foi o fator que mais impactou no custo horário. Os resultados obtidos corroboram com os encontrados por Simões, Silva e Fenner (2011), que dentro deste contexto, verificaram que o consumo de combustível é um dos itens que mais impactou os custos operacionais, podendo chegar a valores de aproximadamente 30%.

No caso dos custos referentes à mão de obra, observou-se um maior gasto nas operações de colheita e transplântio, fato explicado sobre dois pontos de vista. No caso da colheita, por se tratar de um equipamento com maior grau tecnológico, os operadores recebem em muitos casos não somente um salário maior em comparação aos operadores de trator de operações mecanizadas

rotineiras, como também recebem bonificação sobre a quantidade de café colhido no dia.

Com relação à operação de transplante o resultado é esperado, pois utiliza uma maior quantidade de operários envolvidos na operação. Dessa forma, para a composição dos custos não se deve somente levar em consideração o operador, mas incluir nos custos, o pessoal de apoio (três operários para abastecimento da transplantadora), por se tratar de uma operação semimecanizada diferente de todas as outras avaliadas.

Outro ponto a ser destacado com relação aos custos variáveis é a maior participação do fator reparo e manutenção. No caso das operações mecanizadas de implantação e manejo da cultura, em média, estas apresentaram valores de 11 a 20% do custo variável. Já as operações mecanizadas da colheita apresentaram valores médios superiores, ou seja, entre 21 a 24%.

De acordo com Reis et al. (2005), a manutenção adequada dos equipamentos permite um aumento da eficiência de trabalho devido a menores tempos com interrupções para a correção de eventuais problemas, e seus custos compõem grande fatia dos custos operacionais, o que pode ser atribuído também ao uso intenso das máquinas, servindo de parâmetro para o uso racional ou a troca dos mesmos.

Em todas as operações analisadas, os custos com lubrificantes representaram valores correspondentes até 6%, sendo possível afirmar que é o fator que menos contribuiu para os custos variáveis das máquinas. Os resultados corroboram com os obtidos por Jasper e Silva (2013), avaliando o custo operacional horário de diferentes operações mecanizadas no estado de São Paulo.

3.4 Estimativa da viabilidade econômica das operações mecanizadas estudadas

Na Figura 4, são apresentados os resultados para os custos produtivos e improdutivo anuais para cada operação estudada, considerando a viabilidade das operações em função da associação dos custos com os tempos produtivos e improdutivo obtidos.

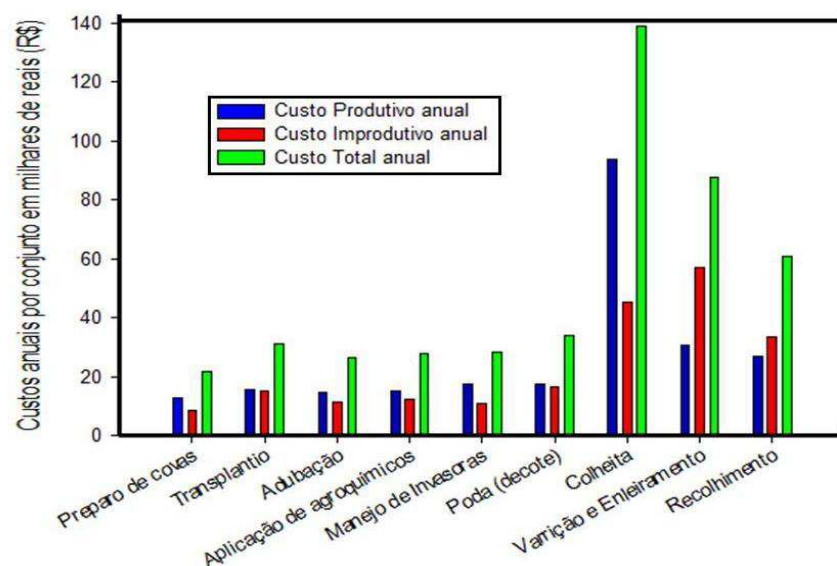


Figura 4 Custos anuais totais em função dos tempos produtivos e improdutivo

Dentre as operações estudadas, percebe-se que todas as operações de implantação e manejo da cultura mostraram-se viáveis. De uma maneira geral, observa-se certo equilíbrio nos valores gastos e nos valores realmente revertidos em trabalho pelo conjunto mecanizado nas operações de aplicação de agroquímicos, adubaçãõ, transplântio, preparo de covas e manejo de invasoras. Dessa forma, mesmo que em algumas operações os tempos improdutivo foram

considerados até elevados, eles não inviabilizaram as operações, pelo fato de possuírem custos produtivos maiores que os improdutivo.

Dentre todas as operações avaliadas, a que apresentou maior diferença entre custos produtivos e improdutivo foram as operações de poda e colheita, mostrando assim serem as operações mais viáveis, permitindo com que, no caso da poda, aproximadamente 60% de todo o seu gasto anual (R\$ 28.417,30) fossem revertidos em trabalho. No caso da operação de colheita, os valores aproximaram-se dos 70% dos custos anuais (R\$ 139.059,90), o que permitiu que a colheita fosse a operação mais viável das avaliadas.

Efeito contrário foi observado nas operações de recolhimento e varrição. Na operação de varrição, é possível observar que o conjunto mecanizado consome aproximadamente R\$ 33.747,10 de todo o seu custo anual sem realizar trabalho. No caso da operação de recolhimento, o cenário mostra-se menor, em que 65% do custo anual da operação (R\$ 87.861,40) foram desperdiçados sem a realização de trabalho. Tais resultados indicam que as duas operações não apresentam viabilidade.

Com base nos dados obtidos, uma das soluções para o aumento da viabilidade da colheita mecanizada na cafeicultura seria a adoção da colheita seletiva dos frutos, ou seja, somente os frutos maduros são colhidos (SOUZA; QUEIROZ; RAFULL, 2006). Sendo assim, essa prática pode vir a reduzir a necessidade de se realizar os processos de varrição, enleiramento e recolhimento do “café de chão”, operações estas que apresentaram os menores resultados no presente estudo.

Analisando de uma maneira global os resultados obtidos, as operações mostraram-se viáveis. Em contrapartida, os mesmos indicam que as operações podem passar por melhorias e consequente aumento da viabilidade com a otimização dos tempos para abastecimento e deslocamento das áreas para os pontos de apoio.

Os resultados do presente estudo mostram que mesmo em áreas totalmente mecanizadas e com frentes de trabalhos e pontos de apoio móveis, é de suma importância a realização de uma análise sobre a viabilidade técnica e econômica das operações mecanizadas independente do tipo de grau tecnológico do produtor. Segundo Peloia e Milan (2010), a medição do desempenho de suas atividades de modo sistêmico ainda é um conceito pouco utilizado na agricultura, seja em grandes propriedades como em pequenas, e o setor de mecanização se insere nesse contexto.

Diante do exposto, o conhecimento e aplicação de critérios técnicos e econômicos para obtenção dos custos de produção são de suma importância, pois permitem que os custos estimados apresentem solidez e sejam confiáveis, proporcionando, dessa forma, uma melhor competitividade de mercado (SIMÕES; SILVA, 2012).

4 CONCLUSÃO

- a) Na mecanização da cultura cafeeira, o item depreciação é o principal componente dentre os que compõem os custos fixos, enquanto o item combustível foi o principal componente dentre os que compõem o custo variável;
- b) Todas as operações mecanizadas estudadas mostraram-se viáveis tanto tecnicamente como economicamente com exceção das operações de varrição e recolhimento que apresentaram custos improdutivos superiores aos custos produtivos, devido ao baixo desempenho operacional;
- c) A operação de colheita mecanizada apresentou os melhores resultados devido aos menores tempos perdidos durante sua operação, em comparação a outras operações estudadas na cafeicultura.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Agricultural machinery management data**. Saint Joseph: ASAE, 2003.
- BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO. **Finame agrícola Moderfrota Pronamp novos café**. Rio de Janeiro: BDES, 2014. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br>>. Acesso em: 31 out. 2014.
- BARNES, R. M. **Motion and time study: design and measurement of work**. 6. ed. New York: John Wiley & Sons, 1968.
- JASPER, S. P.; SILVA, R. A. P. Estudo comparativo do custo operacional horário da mecanização agrícola utilizando duas metodologias para o estado de São Paulo. **Nucleus**, Ituverava, v. 10, n. 2, p. 119-126, out. 2013.
- MILAN, M.; CROSSLEY, C. P. Improving operational management on harvest transport and mechanization for sugar cane. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 1988, Orlando. **Proceedings...** Orlando: ASAE, 1998. v. 7, p. 108-116.
- MOLIN, J. P. et al. Utilização de dados georreferenciados na determinação de parâmetros de desempenho em colheita mecanizada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 759-767, set./dez. 2006.
- MOLIN, J. P.; MILAN, M. Trator e implemento: dimensionamento, capacidade operacional e custo. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. Cap. 13, p. 409-436.
- MOREIRA, F. M. T. **Análise técnica e econômica de subsistemas de colheita de madeira de eucalipto em terceira rotação**. 2000. 148 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.
- OLIVEIRA JÚNIOR, E. D.; SEIXAS, F.; BATISTA, J. L. F. Produtividade de feller-buncher em povoamento de eucalipto em relevo acidentado. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 4, p. 905-912, out./dez. 2009.

OLIVEIRA, D.; LOPES, E. S.; FIEDLER, N. C. Avaliação técnica e econômica do Forwarder na extração de toras de pinus. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 525-533, dez. 2009.

PELOIA, P. R.; MILAN, M. Proposta de um sistema de medição de desempenho aplicado à mecanização agrícola. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 681-691, ago. 2010.

PIACENTINI, L. et al. Software para estimativa do custo operacional de máquinas agrícolas - MAQCONTROL. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 3, p. 609-623, maio/jun. 2012.

REIS, G. N. dos et al. Manutenção de tratores agrícolas e condição técnica dos operadores. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 282-290, jan./abr. 2005.

RIBEIRO, S. A.; SAVASTANO JÚNIOR, H.; ABLAS, D. S. Avaliação do Desempenho Operacional e Econômico de Máquinas para Fenação na cultura de coastcross. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 56, n. 2, p. 147-151, jul./dez. 1999.

SEIXAS, F.; BARBOSA, R. F.; RUMMER, R. Tecnologia protege saúde do operador. **Revista da Madeira**, São Paulo, v. 14, n. 82, p. 68-73, jul. 2004.

SILVA, F. C. et al. Desempenho operacional da colheita mecanizada e seletiva do café em função da força de desprendimento dos frutos. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 53-60, jan./mar. 2013.

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.

SILVA, F. M. et al. Viabilidade técnica e econômica da colheita mecanizada do café. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 12, n. 13, p. 98-101, jan./jul. 2013.

SIMÕES, D.; IAMONTI, I. C.; FENNER, P. T. Avaliação técnica e econômica do corte de eucalipto com feller-buncher em diferentes condições operacionais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 649-656, out./dez. 2010.

SIMÕES, D.; SILVA, M. R. Análise técnica e econômica das etapas de produção de mudas de eucalipto. **Revista Cerne**, Lavras, v. 16, n. 3, p. 359-366, jul./set. 2010.

SIMÕES, D.; SILVA, M. R. Desempenho operacional e custos de um trator na irrigação pós-plantio de eucalipto em campo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 2, p. 164-170, mar./abr. 2012.

SIMÕES, D.; SILVA, M. R.; FENNER, P. T. Desempenho operacional e custos da operação de subsolagem em área de implantação de eucalipto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 5, p. 692-700, set./out. 2011.

SOUZA, C. M. A.; QUEIROZ, D. M.; RAFULL, L. Z. L. Derrça portátil na colheita total e seletiva de frutos do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 11, p. 1637 -1642, nov. 2006.

TOLEDO, A. et al. Comportamento espacial da demanda energética em semeadura de amendoim em latossolo sob preparo convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 12, n. 30, p. 459-467, jun. 2010.

WHITNEY, B. **Choosing and using farm machines**. Edinburgh: Land Technology, 1988.