

**RAPHAEL MAGALHÃES GOMES MOREIRA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM REVOLVEDOR MECÂNICO DE CAFÉ E SEU  
DESEMPENHO OPERACIONAL E ERGONÔMICO**

**Dissertação apresentada à Universidade  
Federal de Viçosa, como parte das  
exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Agrícola, para  
obtenção do título de *Magister Scientiae*.**

**VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2011**

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

M838d  
2011

Moreira, Raphael Magalhães Gomes, 1982-  
Desenvolvimento de um revolvedor mecânico de café e seu  
desempenho operacional e ergonômico / Raphael Magalhães  
Gomes Moreira. – Viçosa, MG, 2011.  
xiv, 113f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Mauri Martins Teixeira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Mecanização agrícola. 2. Máquinas agrícolas - Projeto e  
construção. 3. Máquinas agrícolas - Desenvolvimento.  
4. Café - Processamento. 5. Máquinas agrícolas - Testes.  
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 631.3

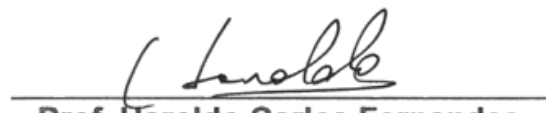
**RAPHAEL MAGALHÃES GOMES MOREIRA**

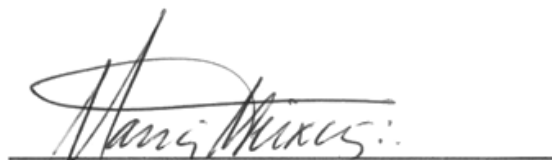
**DESENVOLVIMENTO DE UM REVOLVEDOR MECÂNICO DE CAFÉ E SEU  
DESEMPENHO OPERACIONAL E ERGONÔMICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**APROVADA: 18 de fevereiro de 2011**

  
Prof. Julião Soares de Souza Lima

  
Prof. Haroldo Carlos Fernandes  
(Co-Orientador)

  
Prof. Mauri Martins Teixeira  
(Orientador)

*O Caminho da Vida*

*O caminho da vida pode ser o da liberdade e da beleza, porém nos extraviamos.*

*Bom mesmo é ir a luta com determinação, abraçar a vida com paixão,  
Perder com classe e vencer com ousadia, pois o triunfo pertence a quem se atreve...  
A vida é muita para ser insignificante.*

*A cobiça envenenou a alma dos homens... levantou no mundo as muralhas do ódios... e  
tem-nos feito marchar a passo de ganso para a miséria e morticínios.*

*Criamos a época da velocidade, mas nos sentimos enclausurados dentro dela. A  
máquina, que produz abundância, tem-nos deixado em penúria.*

*Nossos conhecimentos fizeram-nos céticos; nossa inteligência, empedernidos e cruéis.  
Pensamos em demasia e sentimos bem pouco.*

*Mais do que de máquinas, precisamos de humanidade. Mais do que de inteligência,  
precisamos de afeição e doçura. Sem essas virtudes, a vida será de violência e tudo  
será perdido.*

Charles Chaplin

**Ao meu pai Luiz Antônio Moreira,  
À minha mãe Viviane Magalhães Gomes (*in memoriam*),  
Aos meus irmãos Diogo, Bruno, Júnior e Gabriela,  
Aos meus Tios, Tias, avós, avôs e primos,  
À Larissa,  
Eu dedico.**

## AGRADECIMENTOS

Inicialmente a Deus pelas oportunidades e por sempre ter me auxiliado em fazer boas escolhas.

A minha mãe, Viviane Magalhães Gomes (*in memoriam*) e meu pai, Luiz Antônio Moreira pelos ensinamentos, apoio e por sempre acreditarem em mim.

Aos meus avôs, avós, tios (as), madrinha, padrinho, primos (as), irmãos e irmã e cunhado por serem meus protetores e pelas palavras certas nas horas importantes, sempre me motivando e me fazendo seguir em frente.

Ao Daniel Brum e tia Carla, pelas aventuras, zelo e carinho.

A Larissa, minha namorada, grande amiga e confidente, pelo apoio, incentivo, paciência, força nos momentos mais difíceis e por tornar maravilhosa toda a minha caminhada em Viçosa.

Ao meu sogro, sogra, cunhados, concunhados e sobrinhos pelo carinho e incentivo constante.

Ao professor Mauri Martins Teixeira por acreditar na minha capacidade e força de vontade sempre com grande amizade.

Aos colegas de curso e amigos que fizeram parte dessa jornada, Valdeir, Júlio, Pedrão, Ju, Denis, Lucas, Lidiane, Fê, Henrique, Jorge, Gustavo, Nilton, Leonardo, Rafael, Maurinho, Felipe, Laíne, Luana, Luciana, João Paulo, Danilo, Geice, Fernanda, Cairê, Márcia, Camilinha, Nathy, Toko, Anderson, Macabeu, Boi, Lipe, Carol, Paula, Natália, Dani, Érika, Gabriel, Carlos, Gil, Ieda, Maria, Leo, Juliana, Aislan, Cuica, Rafael, Priscila, e outros.

Aos professores (as) Adílio, Matos, Alisson, Amaury, Rubens, Ilda, Suely, Pedro, Capúcio, Lêda, Juarez, Jadir, Paulinho, Tetuo, Daniel, Rubens, Geraldinho e Demétrius pela amizade, apoio, conselhos e pelas oportunidades acadêmicas.

À Universidade Federal de Viçosa, ao Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) e aos funcionários do DEA Dona Maria, Rosária, Edna, Marcos, Galinari, Zé Mauro, Simão, Claudenilson, Juvercino e Hamilton pela amizade e ajuda.

Aos meus conselheiros Haroldo Carlos Fernandes, Luciano José Minette e Paulo Roberto Cecon, pelas sugestões e a disponibilidade de tempo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao REUNI, pelo apoio financeiro.

Ao senhor Henrique em nome do Grupo VORGES pela doação do motor para o projeto e por acreditar na pesquisa acadêmica.

Aos amigos do Laboratório de Mecanização Agrícola, Ronaldo, Murilo, Sérgio, Leonardo, Renato, Walter, Gilton, Wevergton, Roberta, Geice, Danilo, Barba, Paula, Wagão, Peixe, Amanda, Gerson (*in memoriam*), Fred, Wevergton, Quirino, Selma, Lorena, Daniel (pastor), Gustavo, Tibúrcio, Eduardo, Samuel, Denis, Marley, Flávio, Elton, Cleiton, Robson, Hener, Lala, Carlos, Caio, Igor, Nina, Renan, Gabriel e Mula, Marcelo, Danilo, Geraldão e Wantuir pela amizade, pelo apoio na coleta de dados e aos que de uma forma me ajudaram e orientaram no meu crescimento profissional.

Aos moradores da república “Mais Por Menos”, Cida, Bernardo, Átila, Caio, Lucas Dutra, Renan, Ítalo, Luiz, Ednaldo, Reginaldo, Lucas e Marquinho pela convivência e pelos churrascos.

A todos os outros que não coloquei o nome aqui, mas que de uma forma contribuíram para que esta estapa chegasse ao fim com a realização e concretização deste trabalho.

## BIOGRAFIA

Raphael Magalhães Gomes Moreira, filho de Viviane M. Gomes (*in memoriam*) e Luiz Antônio Moreira, nasceu em 08 de setembro de 1982, em Belo Horizonte, Minas Gerais.

Cursou ensino fundamental no Colégio Imaco em Belo Horizonte e o ensino médio no Instituto Educacional Gênesis, em Ribeirão das Neves, concluindo-o em dezembro de 2001.

Em março de 2003, iniciou o curso de Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, concluindo-o em janeiro de 2009.

Em março de 2009, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, na área de concentração em Mecanização Agrícola, submetendo-se à defesa da dissertação em fevereiro de 2011.

## SUMÁRIO

RESUMO	
ABSTRACT	
INTRODUÇÃO GERAL .....	1
REVISÃO DE LITERATURA .....	4
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	10
ARTIGO 1 .....	14
DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO DE REVOLVEDOR MECÂNICO DE CAFÉ.....	14
RESUMO .....	14
ARTICLE 1 .....	15
DEVELOPMENT AND CONSTRUCTION OF A MECHANICAL HOMOGENIZER COFFEE.....	15
ABSTRACT .....	15
1. INTRODUÇÃO .....	16
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	27
3.1. Desenvolvimento .....	27
3.2. O revolvedor .....	29
3.3. Ensaio preliminares .....	31
3.4. Capacidade de revolvimento efetiva.....	32
3.5. Demanda de energia .....	33
4. CONCLUSÕES .....	34
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35
ARTIGO 2 .....	37
CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DO REVOLVEDOR MECÂNICO DE CAFÉ.....	37
RESUMO .....	37
ARTICLE 2 .....	38
OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF MECHANICAL HOMOGENIZER COFFEE.....	38
ABSTRACT .....	38
1. INTRODUÇÃO .....	39
2. MATERIAIS E MÉTODOS .....	41
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	48
3.1. Teor de água .....	48



3.2.	Capacidade real volumétrica de revolvimento.....	49
3.3.	Eficiência volumétrica de transporte.....	50
3.4.	Eficiência de revolvimento.....	51
3.5.	Demanda de energia.....	53
3.6.	Danos mecânicos.....	55
3.7.	Classificação da bebida do café.....	56
4.	CONCLUSÕES.....	57
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
	ARTIGO 3.....	60
	ANÁLISE ERGONÔMICA DE UM REVOLVEDOR MECÂNICO PARA CAFÉ ...	60
	RESUMO.....	60
	ARTICLE 3.....	62
	ERGONOMIC ANALYSIS OF A MECHANICAL COFFEE HOMOGENIZER.....	62
	ABSTRACT.....	62
1.	INTRODUÇÃO.....	64
2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	67
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	74
3.1.	Carga de esforço físico.....	74
3.2.	Avaliação Biomecânica.....	76
3.3.	Adequação antropométrica.....	79
3.4.	Vibração.....	79
3.5.	Fatores ambientais.....	81
3.5.1.	Ruído.....	81
3.5.2.	Conforto térmico.....	82
4.	CONCLUSÕES.....	84
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85
	ARTIGO 4.....	88
	ÍNDICES ERGONÔMICOS DOS SISTEMAS DE REVOLVIMENTO DE CAFÉ EM SECADORES DE CAMADA ESTACIONÁRIA.....	88
	RESUMO.....	88
	ARTICLE 4.....	90
	ERGONOMIC COMPARISON BETWEEN DIFFERENT METHODS OF MIXING COFFEE LAYER STATIONARY.....	90
	ABSTRACT.....	90
1.	INTRODUÇÃO.....	91
2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	94

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	99
3.1. Carga física de trabalho .....	99
3.2. Avaliação biomecânica.....	102
3.2.1. Compressão nos discos L4/L5 e L5/S1 .....	102
3.2.2. Flexões dos segmentos .....	104
4. CONCLUSÕES .....	109
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	110
APÊNDICE A .....	113

## RESUMO

MOREIRA, Raphael Magalhães Gomes, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2011. **Desenvolvimento de um revolvedor mecânico de café e seu desempenho operacional e ergonômico.** Orientador: Mauri Martins Teixeira. Co-orientadores: Haroldo Carlos Fernandes, Paulo Roberto Cecon e Luciano José Minette.

O processo de secagem é considerado a etapa da pós-colheita do café de maior custo e que demanda maior tempo e maiores cuidados, pois pode interferir diretamente na qualidade final do produto. Este processo em secadores de camada estacionária é uma alternativa de baixo custo que permite agilizar o processo e minimizar a área utilizada. Por outro lado, necessita de revolvimento da massa de café, com intervalos regulares de tempo. O revolvimento evita a formação de altos gradientes de teor de água em diferentes camadas do produto durante a secagem e facilita o fluxo de ar pela massa tornando a secagem mais rápida e homogênea. A escassez de mão de obra associada ao revolvimento constante torna necessário mecanizar de alguma forma essa etapa. Objetivou-se com a realização deste trabalho projetar, construir e avaliar as características operacionais e ergonômicas de um protótipo para revolver a massa de grãos de café no processo de secagem em secador de camada estacionária, tornando o processo menos árduo ergonomicamente e elevando a eficiência da homogeneização do teor de água do café. O protótipo foi construído tendo como elemento de transporte de grãos uma rosca helicoidal, montada no interior de um duto tubular. Foram utilizados grãos de cafés com pergaminho da espécie *Coffea arabica* L. variedade Catuaí-Vermelho, despulpados e provenientes da fazenda Araúna, no município de Viçosa, Minas Gerais. Com o objetivo de verificar a capacidade de transporte (CT), a eficiência de transporte volumétrico (EV), a eficiência no revolvimento (ER), a demanda de energia e a porcentagem dos danos mecânicos nos grãos (GD), foram realizados ensaios utilizando-se dos níveis de rotação de 41,8; 52,4 e 62,8 rad s<sup>-1</sup>, equivalentes a 400, 500 e 600 rpm, respectivamente. A CT apresentou comportamento quadrático. Na rotação de 52,36 rad s<sup>-1</sup> o ponto máximo foi de 9,63 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> com os grãos no teor de água

igual aos 28,50% b.u.. Os valores máximos encontrados para EV foram de 30,37; 28,87 e 23,65% para as rotações de 41,88; 52,36 e 62,83 rad s<sup>-1</sup>, respectivamente. As operações de revolvimento nas rotações de 52,36 e 62,83 rad s<sup>-1</sup> apresentaram os melhores resultados de ER dos grãos no fim do processo de secagem, indicando que o revolvedor decorreu na mistura da massa de café entre as camadas superior, média e inferior. Os resultados estimados de demanda de energia elétrica específica foram 2,6; 2,5 e 2,4 Wh kg<sup>-1</sup> para as rotações de 41,88; 52,36 e 62,83 rad s<sup>-1</sup>, respectivamente. A GD foi verificada somente nas rotações de 52,36 e 62,83 rad s<sup>-1</sup> com, respectivamente, 0,59 e 2,47%. Com a finalidade de caracterizar ergonomicamente a utilização do protótipo e comparar com os atuais métodos de revolvimento, foram realizados ensaios referentes à carga física de trabalho, necessidade de adequação do trabalho, vibração e seus possíveis danos às articulações, adequação antropométrica, biomecânica postural e fatores climáticos. A avaliação da carga física foi determinada pela coleta da frequência cardiovascular, que foi considerada “moderadamente pesada” para o revolvimento com o protótipo e “pesadíssima” para o revolvimento manual. As cargas cardiovasculares para o revolvimento mecanizado superaram o limite de 40%. Por outro lado o revolvimento manual apresentou cargas cardiovasculares superiores aos 73%. Ao realizar a adequação do trabalho para uma jornada de 8 h dia<sup>-1</sup> foi recomendada a prática de repouso ou descanso. Com a utilização do protótipo o repouso máximo indicado foi de 30 minutos. Já o revolvimento manual necessita de pausas de até 3 h dia<sup>-1</sup>. Os níveis de vibração e de ruído aos quais os operadores do protótipo estavam sujeitos durante os ensaios se mantiveram abaixo do limite para uma jornada de 8 h dia<sup>-1</sup> de trabalho. Foi realizada uma adequação antropométrica para melhorar o equipamento quanto à abertura e altura das rabiças, posicionamento do interruptor e instalação da manete vertical. A avaliação biomecânica foi realizada por simulação da postura de operação do protótipo e do revolvimento manual através dos softwares 3DSSPP da Universidade de Michigan e do Gimp 2.6. Em nenhuma das posturas de trabalho com o revolvedor foram ultrapassados os valores limites de compressão dos discos L4/L5 e L5/S1. Os segmentos joelhos, quadris e tornozelos apresentaram

resultados de flexão levemente insatisfatórios durante os ensaios com o protótipo. Ao avaliar biomecanicamente as posturas durante o revolvimento manual, os valores para compressão dos discos L4/L5 e L5/S1 superaram o limite recomendado, indicando elevada probabilidade de lesões graves. As condições de conforto térmico, durante a operação de revolvimento, ficaram abaixo do recomendado pelas normas trabalhistas brasileiras.

## ABSTRACT

MOREIRA, Raphael Magalhães Gomes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February 2011. **Development of a coffee mechanical homogenizer and its operating performance and ergonomic.** Adviser: Mauri Martins Teixeira. Co-Advisers: Haroldo Carlos Fernandes, Paulo Roberto Cecon and Luciano José Minette.

The drying process is considered the stage of the coffee post-harvest that involves more costs and it demands more time and greater care, because it may interfere directly in the final product quality. This process in stationary layer dryers is a low cost alternative that allows it to speed up the process and minimize the used area. On the other hand, it needs the revolving of coffee grain mass, at regular intervals of time. The revolving process prevents the formation of high gradients of water content in different layers of the product during the drying process and facilitates the air flow through the mass, making the drying faster and homogeneous. The shortage of workmanship associated to the constant revolving makes necessary to mechanize somehow this step. This study aimed to design, build and evaluate the operational and ergonomics characteristics of a prototype to perform the revolving of the coffee grain mass in the drying process in stationary layer dryer, making the process ergonomically and less arduous, raising homogenization efficiency of the coffee water content. The mechanical homogenizer was built having a helical screw as the grain transportation element, mounted inside a tubular duct. Parchment coffee grains of *Coffea arabica* L. Catuaí Red-pulped from Araúna farm in Viçosa, Minas Gerais. Aiming to check the transport capacity (TC), the volumetric efficiency of transport (EV), the revolving efficiency (ER), power demand and increasing of the percentage of mechanical damage to grain (GD), tests were performed using spinning speeds of 41.8, 52.4 and 62.8 rad s<sup>-1</sup> equivalent to 400, 500 and 600 rpm, respectively. The CT showed a quadratic behavior. At spinning speed of 52.36 rad s<sup>-1</sup> it occurred slightly downfall from the point where the water content of the mass reached 28.50% wb. The maximum values for EV were found 30.37, 28.87 and 23.65% for rotations of 41.88, 52.36 and 62.83 rad s<sup>-1</sup>, respectively. The operations of the

revolving speed of 52.36 and 62.83 rad s<sup>-1</sup> showed the best results of grains of ER at the end of the drying process, indicating that mixing occurred between superior, middle and bottom layers of coffee. The results of maximum power demand were on a rotation of 52.36 rad s<sup>-1</sup> reaching 8.7 Wh kg<sup>-1</sup>, other rotations demanded 2.6 and 2.4 Wh kg<sup>-1</sup> to the rotations of 41, 88 and 62.83 rad s<sup>-1</sup> respectively. GD was found only in the rotations of 52.36 and 62.83 rad s<sup>-1</sup> with 0.59 and 2.47% respectively. In order to characterize the ergonomic use of the mechanical homogenizer and to compare it with conventional methods of revolving, trials were conducted regarding the physical charge of work, need to adapt the work, vibration and possible damage to joints, anthropometric adequacy, postural biomechanics and climatic factors. The evaluation of physical load was determined by collecting the cardiovascular frequency. It was considered "moderately hard" to the revolving using the mechanical homogenizer and "very heavy" for the revolving performed manually. The cardiovascular charges for mechanized revolving slightly surpassed the 40% limit. On the other hand, the revolving performed manually showed cardiovascular loads greater than 73%. When performing the appropriateness of work for 8 hours a day, it was recommended the practice of repose or rest. Using the mechanical homogenizer, the maximum repose indicated was 30 minutes. Still, the manual process requires revolving needs up to 3 hour a day. The vibration and noise levels to which the operators of the mechanical homogenizer were subjected during the tests remained below the limit for an 8 hour workday. It was performed an anthropometric suitability to improve the equipment regarding the opening and height of the handlebars, placement of the switch and installation of vertical lever. Biomechanical analysis was performed by simulating the operation body posture using the mechanical homogenizer and manual revolving through the University of Michigan software 3DSSPP and the Gimp 2.6. For none of the body postures using the prototype the limits of compression of the discs L4/L5 and L5/S1 were surpassed. The segments knees, hips and ankles were slightly flexed leading to unsatisfactory results during the tests with the mechanical homogenizer. To evaluate biomechanically the body postures during manual revolving, values for compression of the discs L4/L5 and L5/S1 surpassed the recommended limit,

indicating a high probability of serious injury. The thermal comfort conditions during the revolving operation were below than what is recommended by the Brazilian labor standards.



## INTRODUÇÃO GERAL

O maior problema nas regiões de montanha não mecanizadas e produtoras de café tem sido a crescente escassez de mão de obra. Como a colheita e pós-colheita são consideradas operações árduas tem-se tornado cada vez mais difícil encontrar trabalhadores para a realização desses serviços. A atividade cafeeira mundial tem o Brasil como o maior produtor de café e o segundo mercado consumidor (CONAB, 2010).

Com o aumento do custo da mão de obra, tem-se elevado significativamente os custos da cafeicultura (SILVA; REIS, 2001), obrigando o país a refletir sobre a crescente necessidade de mecanizar todas as operações relacionadas com a produção da cultura do café, principalmente nas regiões de montanha.

No processo de pós-colheita, a secagem dos frutos de café é uma das etapas mais importantes e de elevado custo. Segundo Silva (2000), até a década de 70, a secagem da maior parte dos produtos era natural ou em terreiros, contudo, a partir dessa década os secadores com ventilação forçada tiveram significativo aumento de comercialização.

Os secadores são equipamentos nos quais o ar, aquecido ou não, é forçado a passar através da massa de frutos, com ou sem intermitência no processo, até que o produto tenha um teor de água entre 11 e 12% b.u..

Para os secadores de camada estacionária, Coradi *et al.* (2008) não recomendam ultrapassar 80°C para o ar de secagem, pois pode resultar na presença de grãos de cor amarelada e na redução da qualidade final do produto. Já Donzeles (2002), recomenda temperaturas de secagem entre 40 e 60°C.

Trabalhando com secagem de café em secador de camada estacionária e utilizando temperatura do ar de secagem igual a 55°C, Lacerda Filho (1986), concluiu que não houve comprometimento da qualidade da bebida.

O processo de diminuição do teor de água, utilizando o ar de secagem em altas temperaturas, acima de 10°C do ar ambiente, é uma alternativa que demanda altos investimentos iniciais, mas possui fácil

manutenção, requer menor quantidade de mão de obra e resulta em agilidade no processo de secagem (SILVA, 2000).

Segundo Pereira (2008), a qualidade do café está associada aos métodos de colheita, preparo da bebida, processamento, armazenamento, torrefação, composição química dos grãos, fatores genéticos, culturais e ambientais.

Secadores de camada estacionária podem ter ou não movimentação dos grãos, mas segundo Silva *et al.* (2000a), é recomendado fazer a movimentação em intervalos regulares de tempo com objetivo de homogeneizar a secagem e melhorar a distribuição de ar ao longo da massa de frutos.

O processo manual de revolvimento é realizado com a utilização de enxadas ou pás, mas podem ser usadas máquinas capazes de dar maior agilidade, reduzindo os esforços, a exposição dos trabalhadores e o tempo de operação. Este último apresenta-se como um fator importante quando se trata de condições climáticas adversas (MAGALHÃES, 2003) durante a secagem de produtos agrícolas.

Diversas leis e normas visam assegurar melhores condições de trabalho. As NR-15 (2009) e NR-17 (2007) possuem exigências mínimas que devem ser seguidas dependendo das condições da temperatura, da iluminação, da ventilação, das posturas, dos níveis de ruído e da vibração durante o trabalho.

Segundo Lida (2005), pode-se optar por uma Ergonomia de Concepção, que é aquela que deve ocorrer na fase inicial de projeto, baseada em hipóteses e simulação, evitando desgastes e acidentes dos operadores e desperdício de recursos pelos fabricantes. A biomecânica postural e adequação antropométrica são ferramentas importantes na elaboração de simulações do funcionamento de máquinas.

Segundo Alves (2001), é possível mensurar a carga de trabalho imposta pela operação de máquinas ou realização de serviços utilizando-se da frequência cardíaca, expressa em batidas por minuto (bpm).

A vibração em altos níveis imposta por máquinas nas mãos podem causar dores de cabeça constantes, insônia, esquecimento, irritabilidade,

alterações na circulação sanguínea, depressão e impotência (FERNANDES; MORATA, 2002).

De acordo com Mundim *et al.* (2003), a maioria das máquinas agrícolas fabricadas no Brasil para processar produtos são cópias adaptadas de máquinas estrangeiras que utilizam informações e características de produtos e condições de operação diferentes dos brasileiros. Outro agravante é que essas máquinas, em sua maioria, são de porte médio a grande e com elevada capacidade no processamento, fazendo aumentar os custos de desenvolvimento e inviabilizando essa tecnologia para os pequenos e médios produtores.

O revolvimento mecanizado proposto pelo presente trabalho é apresentado como uma alternativa viável que conduz à melhoria das condições de trabalho e resulta em uma maior uniformidade da massa de grãos ou frutos de café.

Com objetivo de simular o funcionamento dos protótipos para descobrir eventuais danos causados pelo uso em um longo espaço de tempo, foram utilizados programas de computador com base no sistema CAD (*Computer Aided Design*). O uso dos mesmos, no desenvolvimento de projetos, é considerado uma importante ferramenta para análise de viabilidade econômica mesmo antes da construção do protótipo.

Este trabalho consistiu em projetar e construir um revolvedor mecânico da massa de grãos de café para trabalhar em secador de camada estacionária com o objetivo de melhorar as condições de trabalho dos operadores durante o revolvimento.

## REVISÃO DE LITERATURA

### **Café**

O café, originado da Etiópia (PEREIRA *et al.*, 2005), foi trazido em 1727 da Guiana Francesa para a região norte do Brasil. Demorou meio século para ser cultivado no Rio de Janeiro e depois substituiu o ouro nas Minas Gerais de onde se disseminou de forma rápida para as demais regiões brasileiras.

No Brasil de hoje, a produção de café se encontra nas regiões do centro, sul e sudeste do país, sendo importante ressaltar que há uma heterogeneidade espacial na produtividade e no uso de tecnologia (RUGANI; SILVEIRA, 2006).

As exigências do mercado internacional por cafés de melhor qualidade são responsáveis pela difusão e adoção de novas tecnologias de produção e preparação, pois um dos fatores que determinou o declínio brasileiro no mercado internacional foi a falta de padrão de qualidade do produto nacional, (MARTINS *et al.*, 2005).

O crescimento da produtividade de café no Brasil possibilitou que a Organização das Nações Unidas (ONU), na Câmara Americana de Comércio, realizasse a previsão de que o Brasil seria o maior produtor agrícola do mundo nas décadas seguintes, (MANO; TOLEDO, 2005).

A produção total de café (arábica e conilon), na safra 2010, indicou que o Brasil colheu 48,1 milhões de sacas de café beneficiado, representando um aumento de 21,9% em relação a safra de 2009. A produção do café arábica representa 76,6% (36,8 milhões de sacas de café beneficiado) da produção do país e tem como maior produtor o estado de Minas Gerais, com 52,3% dos quais 67,6% da produção é do café do tipo arábica (CONAB, 2010).

### **Secagem**

O uso da secagem artificial é recomendado para se obter um café de boa qualidade, uma vez que no momento da colheita, o teor de água encontra-se entre 60 a 70% b.u.. Esses altos teores podem propiciar alterações indesejadas como a fermentação prolongada, a infecção por

microorganismos e o início do processo de produção de compostos, os quais podem ser responsáveis pelos sabores desagradáveis e resultando, assim, em decaimento na qualidade da bebida (AMPESSAN, 2009; PALACIN, 2007; DONZELES, 2002).

Alguns autores descrevem a máxima temperatura do ar de secagem. Para Silva (2001), o máximo que o café pode suportar é 70° C. De acordo com Coradi *et al.* (2008), não se deve ultrapassar 80° C, pois pode acarretar grãos de cor amarelada e redução da qualidade final do produto. Uma melhoria na qualidade do café natural e despulpado foi observada quando se utilizou no secador de leito fixo a temperatura do ar de secagem intergranular de 40° C.

A secagem de café em camada fixa, em substituição aos terreiros, no início do processo, apresentou-se como alternativa econômica, não só por impedir que o produto fique exposto às condições adversas de clima, mas também, por realizar a secagem em menor intervalo de tempo, tanto na pré-secagem combinada com outro sistema, quanto para a secagem completa dos frutos (LACERDA FILHO; SILVA, 2006).

Segundo Magalhães (2003), a importância em se mecanizar o processo de secagem está na redução do tempo, o que em condições climáticas adversas é de elevada relevância. Por outro lado, a mecanização da cafeicultura não tem como objetivo gerar desemprego, mas sim tornar o trabalho menos árduo para os trabalhadores e elevar a capacidade de processamento, (OLIVEIRA, 2009).

### **Revolvimento**

Com o objetivo de minimizar as alterações dos aspectos físicos e manter as características organolépticas do café, tem-se como primordial o desenvolvimento de sistemas de revolvimento que devem ser acionados em intervalos regulares de tempo (CAMPOS *et al.* 1999a). No entanto, torna-se necessário avaliar o tempo de utilização desses sistemas com a melhor qualidade do produto final, visando reduzir o gasto de energia no processo de revolvimento mecânico durante a secagem dos produtos (CAMPOS *et al.*, 1999b).

O revolvimento da massa de frutos ou grãos de café, em secadores de camada estacionária, é recomendado para intervalos de 3 horas com camadas de espessura entre 0,4 e 0,5 m. O revolvimento, durante todo o processo de secagem, deve ser realizado lentamente evitando-se a quebra dos grãos e a queda da qualidade da bebida (ANDRADE *et al.*, 2000; LACERDA FILHO, 1986).

Ao avaliar o efeito de diferentes intervalos de tempo de revolvimento no consumo de energia em secador de camada estacionária para café, com sistema de revolvimento mecânico, Greco *et al.* (2010), realizaram a movimentação da camada inferior de grãos para a parte superior e da camada superior para a inferior com um sistema de movimento giratório horizontal, composto por quatro pás.

### **Projeto de máquinas**

Com a finalidade de gerar inovações e boas soluções, o procedimento adotado por um projetista se baseia na responsabilidade técnica e econômica. O projeto tem que apresentar flexibilidade para que possa ser analisado, e caso seja necessário, poderá ser otimizado (PAHL *et al.*, 2005).

Projeto de máquinas trata da criação de uma máquina que funcione bem, com segurança e confiabilidade. As soluções se baseiam, entre outros procedimentos, em definir um mecanismo através de uma análise detalhada dos movimentos de todas as peças, a fim de determinar as características dinâmicas do sistema por meio de cálculos (NORTON, 2000).

A partir do momento que o projeto resulta em uma invenção, esta terá que ser funcional, segura, confiável, competitiva, utilizável, manufaturável e mercável (SHIGLEY *et al.*, 2004).

Inúmeras características construtivas e operacionais encontradas nas máquinas agrícolas brasileiras são resultados de adequações feitas de produtos já comercializados no exterior, o que acarreta em inadequação aos pequenos e médios produtores (MUNDIM *et al.*, 2003). Outro grande problema encontrado para projetar máquinas para o setor cafeeiro é a falta de regularidade das dimensões e massa específica dos grãos de café (COUTO *et al.*, 2000).

## Transportadores helicoidais

Segundo (TEIXEIRA, 2002), os transportadores helicoidais são os mais indicados para realizar a movimentação dos mais variados tipos grãos. Isso se deve à sua versatilidade, resistência, durabilidade e praticidade.

Os helicóides construídos para trabalhar dentro dos tubos não apresentam limites de inclinação para o transporte, mas devem apresentar, por questões de projeto, uma folga entre o helicóide e a parede do tubo que varie de 1 a 10 mm (TEIXEIRA, 2002; SILVA *et al.*, 2000b).

A capacidade de transporte do helicóide pode ser calculada considerando-se a velocidade angular, o passo, o diâmetro do helicóide, diâmetro do eixo, o comprimento do helicóide, o produto que será transportado e sua massa específica, (LACERDA FILHO *et al.*, 1989).

A Tabela 1 foi adaptada para caracterizar a aplicabilidade do transportador helicoidal durante o processamento de grãos (TEIXEIRA, 2006; KEPLER, 1975).

TABELA 1. Caracterização da aplicabilidade do transporte helicoidal

Grãos	Capacidade	Distância	Custo	Plano de transporte	Espaço Disponível	Poluição	Potência
Comercial Sementes Sacos	Alta Média Baixa	Alta Média Curta	Alto Médio Baixo	Horizontal Inclinado Vertical	Grande Médio Pequeno	Alta Média Baixa	Alta Média Baixa
X	X X	X	X	X X X	X	X	X X

Fonte: (TEIXEIRA, 2006 e KEPLER, 1975, com adaptações).

## Ergonomia

De acordo com Lida (2005), as abordagens ergonômicas podem ser classificadas dependendo do momento da intervenção. Sendo a Ergonomia de Concepção, aquela ocorrida na fase inicial de projeto. Nessa fase, as decisões são baseadas em hipóteses e simulações. Já a Ergonomia de Correção é aquela para situações já existentes, como segurança e/ou na quantidade ou na qualidade da produção. Por último, tem-se a Ergonomia de Conscientização, que resolve os problemas pendentes nas fases anteriores, ou ainda, os problemas surgidos pelo desgaste natural dos sistemas

produtivos. É realizada, muitas vezes, através de cursos de capacitação (treinamentos) e reciclagem.

Segundo Moraes e Mont'Alvão (2000), a atividade profissional pode causar sintomas físicos e psíquicos como doenças profissionais, acidentes, mortes, incapacitações, entre outros. Assegurar satisfação, segurança e bem-estar aos trabalhadores em relação ao trabalho, à tarefa, ao equipamento, ao ambiente e às relações pessoais no ambiente de trabalho são o objetivo da ergonomia (ROYAS; MARZIALE, 2001).

[...] Define-se como acidente de trabalho aquele que ocorre pelo exercício do trabalho..., provocando lesão corporal ou perturbação funcional, permanente ou temporária, que cause a morte, a perda ou a redução da capacidade para o trabalho. Consideram-se acidente do trabalho a doença profissional e a doença do trabalho. Equiparam-se também ao acidente do trabalho: o acidente ligado ao trabalho que, embora não tenha sido a causa única, haja contribuído diretamente para a ocorrência da lesão...(BRASIL, 2008)

Os estudos antropométricos auxiliam o projetista no desenvolvimento de equipamentos e ambientes de trabalho, evitando o descontentamento e desmotivação por parte dos trabalhadores (ALVES, 2001).

De acordo com Minette *et al.* (2002), a obtenção de medidas antropométricas de uma determinada população pode resultar em equipamentos e situações de trabalho com uma postura correta, uma posição mais favorável ao corpo, elevando então, a velocidade e precisão dos movimentos.

O trabalho dinâmico caracteriza-se pelo aumento da pressão sanguínea, da frequência arterial e do volume de oxigênio consumido, relacionando-se diretamente com o aumento do ritmo de trabalho. De acordo com Bridger (2003), existe uma relação entre altas taxas de absorção de oxigênio e trabalhos exaustivos.

Nas avaliações de trabalhos que exigem elevado esforço físico, deve ser observado o tipo de tarefa e sua relação com o desgaste físico exigido, considerando o metabolismo, o consumo energético, as pausas, a alimentação, a postura escolhida e o ambiente físico de trabalho, (FIEDLER *et al.*, 2008).

É possível mensurar a carga de trabalho utilizando-se da frequência cardíaca, expressa em batidas por minuto (bpm), podendo ser medida por



meio de monitores digitais ou pelo método tradicional da palpação de artérias (ALVES, 2001).

As condições ambientais de trabalho como tempo de exposição máximo ao calor, níveis de ruído, condições de ventilação e iluminação durante uma jornada de trabalho são definidas pela NR 15, (LOPES *et al.*, 2004). As exposições prolongadas aos elevados níveis de ruído podem provocar perda auditiva, cansaço, irritação, dores de cabeça e acidentes devido ao nível de estresse físico e mental, (GOLDMAN, 2002).

O Instituto Nacional de Saúde e Segurança Ocupacional (NIOSH), em seu documento *Occupational Exposure to Hand – Arm Vibration: Criteria for a Recommended Standard*, afirma que fatores ergonômicos e modelos dos equipamentos influenciam fortemente a transmissão da vibração, visto que, segurar um equipamento pesado ou desconfortável demanda um nível de força de preensão superior que desencadeia vários distúrbios na estrutura física dos trabalhadores (SEBASTIÃO; MARZILE, 2008).

O corpo humano pode ser dividido (Figura 1) de acordo com a vibração natural (VENDRAME; PIANELLI, 2008).

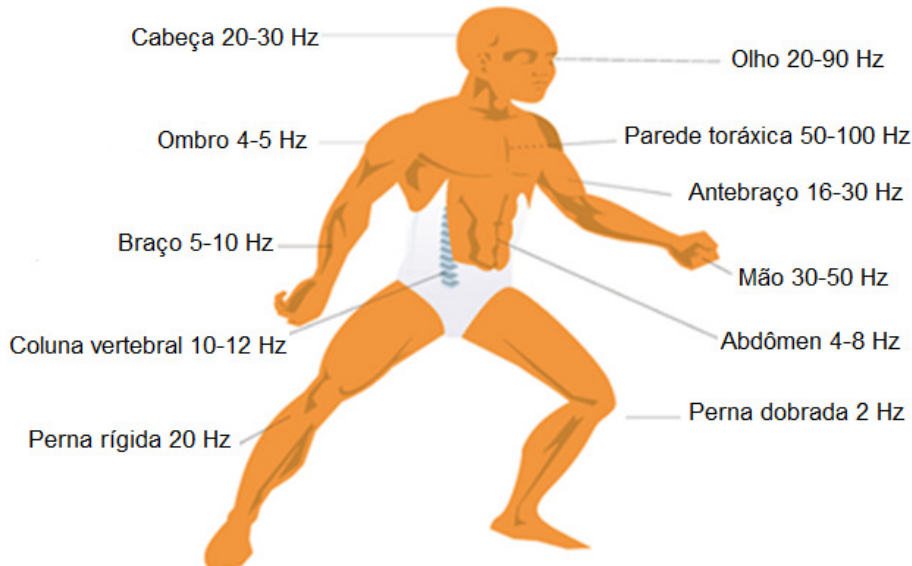


FIGURA 1. Frequências naturais do corpo humano (VENDRAME; PIANELLI, 2008).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, J. U. **Avaliação do perfil e condições de trabalho de operários na atividade de propagação de *Eucalyptus spp.* em viveiros.** 2001. 106f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- AMPESSAN, F. **Avaliação de diferentes métodos de secagem do café (*Coffea arabica* L.) cereja descascado.** 2009. 78f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- ANDRADE, E. T. de; FILHO, D. O.; VIEIRA, G. Potencial de conservação de energia no pré-processamento do café. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 2, n. 2, 2000, p. 71-82.
- BRASIL. Ministério da Previdência e Assistência Social. **Anuário Estatístico da Previdência Social 2008.** Brasília, 2008.
- BRIDGER, R. S., **Introduction to ergonomics.** 2. ed. New York: Editora Taylor & Francis, 2003, 548p.
- CAMPOS, A. T.; MELO, E. C.; SILVA, J. S. S.; BERBERT, P. A. Projeto, construção e análise de um protótipo de secador de camada fixa para café (*Coffea arabica* L.), com sistema de revolvimento mecânico. **Engenharia na Agricultura**, v. 7, n. 2, p. 88-105, 1999a.
- CAMPOS, A. T.; MELO, E. C.; SILVA, J. S. Gradientes de teor de umidade desenvolvidos nas câmaras de secagem de um secador de camada fixa para café (*Coffea arabica* L.) com sistema de revolvimento mecânico. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 24, n. 2, p. 37- 41, 1999b.
- CONAB. Companhia nacional de abastecimento. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de café safra de 2009/2010, quarta estimativa, dezembro/2010.** Brasília, 2010.
- CORADI, P. C.; BOREM, F. M.; OLIVEIRA, J. A. Qualidade do café natural e despolpado após diferentes tipos de secagem e armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental [online]**. v. 12, n. 2, p. 181-188, 2008.
- COUTO, S. M.; MAGALHÃES, A. C.; QUEIROZ, D. M.; ANDRADE, E. T. Dimensões principais, massa e volume unitários, esfericidade e ângulos de repouso dos frutos de café. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 2, p. 39-56, 2000.
- DANIELLOU, F. (org.). **A ergonomia em busca de seus princípios: Debates Epistemológicos.** São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2004. 200p.

DONZELES, S. M. L. **Desenvolvimento e avaliação de um sistema híbrido, solar e biomassa, para secagem de café (*Coffea arabica* L.)**. 2002. 122f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

FERNANDES, M.; MORATA, T. C.; Estudos dos efeitos auditivos e extra-auditivos da exposição ocupacional a ruído e vibração. **Revista Brasileira de Otorrinolaringologia**, São Paulo, v. 68, n. 5, p. 168-173, 2002.

FIEDLER, N. C.; WANDERLEY, F. B.; GUIMARÃES, P. P.; ALVES, R. T. Avaliação dos limites recomendados de pesos no manuseio de cargas em marcenarias. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 2, p. 133-140, abr/jun. 2008.

GOLDMAN, C. F. **Análise de acidentes de trabalho ocorridos na atividade da indústria metalúrgica e metal-mecânica no Estado do Rio Grande do Sul em 1996 e 1997**. 2002. 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de produção), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GRECO, M.; CAMPOS, A. T.; KLOSOWSKI, E. S. Variação de diferentes tempos de revolvimento em secador de camada fixa para café. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 32, n. 4, p. 577-583, 2010.

IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. 2. ed. São Paulo: Editora Blücher, 2005. 614p.

KEPLER, E. A. **Transportadores e máquinas de limpeza**. Panambi: Editora Kepler-Weber AS, 1975. 16p.

LACERDA FILHO, A.F. de. **Avaliação de diferentes sistemas de secagem e suas influências na qualidade do café (*Coffea arabica* L.)**. 1986. 136f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

LACERDA FILHO, A. F.; SILVA, J. S.; HARA, T. Avaliação de diferentes sistemas de secagem e seus efeitos na qualidade do café (*Coffea arabica*, L.). **Acogranos**, v. 14, n. 161, p. 23-29, 1989.

LACERDA FILHO, A. F.; SILVA, J. S. Secagem de café em combinação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 671-678, 2006.

LOPES, E. S.; ZANLORENZI, E.; COUTO, L. C.; MINETTI, L. J. Análise do ambiente de trabalho em indústrias de processamento de madeira na região Centro-Sul do Estado do Paraná. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 66, p. 183-190, 2004.

MAGALHÃES, A. C. **Desenvolvimento e avaliação de uma máquina recolhedora de café em terreiro utilizando transporte pneumático**. 2003.

132f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MANO, A. P.; TOLEDO, J. C. A integração interfuncional na gestão de desenvolvimento do produto: um estudo de caso em uma empresa de máquina agrícola. In: **Anais V Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento**. Curitiba, 2005.

MARTINS, D. R.; CAMARGO, O. A. DE; BATAGLIA, O. C. Qualidade do grão e da bebida em cafeeiros tratados com lodo de esgoto. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 1, p. 115-126, 2005.

MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P. de; ALVES, J. U.; FIEDLER, N. C. Estudo antropométrico de operadores de motosserra. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**. v. 6, n. 1, p. 166-170, 2002.

MORAES A.; MONT'ALVÃO C. **Ergonomia, conceitos e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: 2AB, 2000.

MUNDIM, J. L. C.; SOUZA, C. M. A.; QUEIROZ, D. M.; NARICI, A. A. F. Simulação do comportamento dinâmico do sistema de vibração de dois sistemas de limpeza. In: **Anais IV Congresso Brasileiro da Sociedade Brasileira de Informática Aplicada à Agropecuária e à Agroindústria**, Porto Seguro, 2003.

NORTON, R. L. **Machine Desing an Integrated Approach**, 2. ed. Editora Artmed. 2000. 921p.

NORMA REGULADORA. NR15. **Atividades e operações insalubres**. Portaria No. 43, de 11 de março de 2008(\*) (DOU de 13/03/08).

NORMA REGULADORA. NR17. **Ergonomia**. Portaria No. 13, de 21 de junho de 2007 (DOU de 26/06/07).

OLIVEIRA, M. V. M. **Desenvolvimento e avaliação de um dispositivo para derricha de café**. 2009. 618f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. H. **Projeto na Engenharia – Fundamentos do Desenvolvimento Eficaz de Produção – Métodos e Aplicações**. São Paulo: Editora Edgard Blucher. 6. ed, 2005. 412p.

PALACIN, J.J.F., **Avaliações energética e econômica de sistemas de produção de café de montanha**. 2007. 282f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

PEREIRA, C. A.; SCHNITZLER, E.; CARVALHO FILHO, M. A. da S. Thermoanalytical study (TG, DTG AND DSC) of in natura and processed coffee. **UEPG Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**. v. 11, n. 1. Ponta Grossa. Abril. 2005.

PEREIRA, M. C. **Características químicas, físico-químicas e sensoriais de genótipos de grãos de café (*Coffea arabica* L.)**. 2008. 15f. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos), Universidade Federal de Lavras, Lavras.

ROYAS, A. D. V.; MARZIALE, M. H. P. A situação de trabalho do pessoal de enfermagem no contexto de um hospital argentino: um estudo sob a ótica da ergonomia. **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, Ribeirão Preto, v. 9, n. 1, p. 102-108, 2001.

RUGANI, F. do L.; SILVEIRA, S. de F. R. Análise de risco para o café em Minas Gerais. **Revista de Economia e Agronegócio**, Viçosa, v. 4, n. 3, p. 343-364, 2006.

SEBASTIÃO, B. A.; MARZIALE, M. H. P. A Vibração como um fator de risco para a saúde ocupacional. **Ciência, Cuidado e Saúde**. v. 7, n. 3, p. 385-391, Jul/Set, 2008.

SHIGLEY, J. E. MISCHKE, C. R.; BUDYNAS, R. G. **Mechanical Engineering Desing**. The McGraw-Hill Companies, 7 ed. Editora Bookman. Inc., New York/NY, EUA, 2004. 953p.

SILVA, J. M. DA; REIS, R. P. Custos de produção do café na região de lavras – MG: Estudo de casos. **Ciências Agrotécnicas**. Lavras, v.25, n.6, p.1287-1294, novembro/dezembro, 2001.

SILVA, J. S. **Secagem e armazenagem de café: Tecnologias e Custos**. Viçosa: Editora Jard, 2001. 162p.

SILVA, J. S. AFONSO, A. D. L.; DONZELES, S. M. L.; Secagem em Secadores, IN: **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Cap. 5. Viçosa: Editora Aprenda Fácil, 2000a. 32p.

SILVA, J. S.; FILHO, A. F. L.; VIEIRA, G. Manuseio de Grãos, IN: **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Cap. 12. Viçosa: Editora Aprenda Fácil, 2000b. 32p.

TEIXEIRA, C. A. **Metodologia para adequação do uso de força motriz em processos agrícolas**. 2002. 174f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

TEIXEIRA, C. A. **Avaliação energética e de custos em unidades armazenadoras**. 2006. 333f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

VENDRAME, A. C.; PIANELLI, C. Vibrações em corpo inteiro em operadores de empilhadeiras, **Anais XI Congresso de atuação responsável**, 2008. 69p.

**ARTIGO 1**  
**DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO DE REVOLVEDOR MECÂNICO**  
**DE CAFÉ**

**RESUMO**

A cafeicultura demanda investimentos para o desenvolvimento de máquinas que viabilizem os processos de colheita e pós-colheita, dando celeridade aos processos e melhorando as condições dos trabalhadores. Na pós-colheita, a utilização de secadores de camada estacionária resulta em bons resultados quanto a secagem e qualidade do produto, mas necessitam de revolvimento constante para homogeneizar a massa de grãos. A escassez de mão de obra associada à necessidade de revolvimento constante e as pesadas condições de trabalho tornam imprescindível mecanizar de alguma forma esta etapa. O projeto de uma máquina agrícola é considerado de grande complexidade, já que se deve preocupar com as interações entre o operador, a máquina e o ambiente. Ao projetar uma máquina, as experiências e o domínio sobre os diversos pontos de vista devem ser interpretados de forma clara. Com o aumento da competitividade, diversas empresas de máquinas e implementos agrícolas têm buscado os centros de pesquisa, pois em geral, não utilizam dos procedimentos sistemáticos durante o projeto, o que pode resultar em falhas durante a operação. Objetivou-se com a realização deste trabalho projetar e construir um protótipo revolvedor para realizar a mistura dos grãos de café. O protótipo com o princípio de rosca helioidal se mostrou capaz de realizar a movimentação dos grãos com eficiência. Na rotação de  $41,88 \text{ rad s}^{-1}$  foi verificado o ponto máximo da capacidade de transporte de  $7,51 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  e o consumo estimado de  $4,305 \text{ kWh}$  para cada lote de café processado com o revolvedor.

Palavras chaves: Projeto de Máquinas, Secagem, Máquinas para café

**ARTICLE 1**  
**DEVELOPMENT AND CONSTRUCTION OF A MECHANICAL**  
**HOMOGENIZER COFFEE**

**ABSTRACT**

The crop Coffee demands investments to the machines development, which enables the processes of harvesting and post-harvesting, becoming them faster, meanwhile improving the working conditions. In post-harvest, the use of stationary layer dryers are responsible for good results at drying and product quality, but it requires a constant revolving, in order to homogenize the grain mass and improve the air distribution inside the drying chamber. The shortage of workmanship, associated to the need of constant revolving and the heavy working conditions, it becomes indispensable to mechanize, in some way, this step. The agricultural machine design is considered of great complexity, regarding it must be concerned with the interactions among the operator, machine and environment. When designing a machine, the experience and the dominion of several standpoints have to be interpreted clearly. With the increasing competitiveness on the consumer market and agricultural machines, several companies have joined the research centers, because in general, they do not make use of systematic procedures during the project, which can result in failures during operation. In the transformation of an abstract idea to the product launching, we may mention the market needs, the competitiveness and the field application. The prototype homogenizer resulting from this project has the beginning of helical thread to perform the transport of coffee beans. In rotation of  $41.88 \text{ rad s}^{-1}$  it was observed the peak carrying capacity of  $7.51 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  and estimated consumption of  $4.305 \text{ kWh}$  for each batch of processed coffee with coffee homogenizer.

Keywords: Machine Design, Drying Process, Coffee Machines.

## 1. INTRODUÇÃO

O Estado de Minas Gerais participa com 67,6% da produção de café arábica do país, tendo o Brasil como o maior produtor de café e o segundo mercado consumidor mundial (CONAB, 2010).

O processo de secagem artificial tem importância na pós-colheita do café, pois sua utilização pode acelerar o processo de secagem do café e reduzir a utilização de mão de obra (SILVA *et al.*, 2000).

Dentre os diversos secadores artificiais destacam-se os secadores de camada estacionária, quando se trata em diminuir o tempo de secagem em situações de condições climáticas adversas (MAGALHÃES, 2003; CHAGAS *et al.*; 2006). Estes secadores demandam revolvimento da massa de grãos em intervalos regulares, tornando-se uma operação árdua com o uso de enxadas ou pás. Entretanto, o revolvimento mecanizado, pode ser uma alternativa viável para melhorar as condições de trabalho e a uniformidade da secagem dos grãos ou frutos de café.

A escassez e o aumento do custo da mão de obra somada às precárias condições de trabalho refletem na crescente necessidade de se mecanizar todas as operações necessárias à cafeicultura. De acordo com Oliveira (2009), a mecanização da cafeicultura de montanha não tem a função de gerar desemprego, mas sim amenizar os serviços pesados e aumentar a capacidade de produção do trabalhador, reduzindo o custo da colheita e da pós-colheita.

A metodologia de adequação de projetos já vendidos no exterior observada nas características operacionais e construtivas de máquinas agrícolas brasileiras, geralmente, acarreta perda de qualidade das máquinas e elevação dos custos para os pequenos e médios produtores (MUNDIM *et al.*, 2003).

De acordo com ANFAVEA, (2010) a indústria brasileira de máquinas agrícolas retomou forte crescimento após 1997, confirmando a renovação do maquinário brasileiro, demonstrando a crescente demanda do mercado por novas tecnologias.

Com objetivo de simular o funcionamento dos protótipos, verificar as condições de funcionamento e durabilidade das peças podem ser utilizados



programas de computador com base no sistema CAD (*Computer Aided Design*) (MAGALHÃES *et al.*, 2006). A queda do custo de aquisição desses programas tem intensificado o uso dos mesmos no desenvolvimento e soluções de problemas de projetos de engenharia.

Projetar é um processo inovador e altamente interativo. É também um processo de tomada de decisões, que podem ser feitas com poucas informações. O processo de projeto começa com o reconhecimento de uma necessidade e de uma decisão envolvendo algo ou planos para satisfazer tal necessidade, (SHIGLEY *et al.*, 2004).

A falta de aplicação dos conhecimentos de engenharia e de metodologia de projeto pode causar erros na concepção do mesmo e até em falhas durante a operação (ROMANO, 2003).

De acordo com Niemann (1978), os pontos iniciais para um projeto são o esboço do conjunto em escala, o seccionamento do projeto, a forma de detalhes e a verificação dos desenhos.

Com a realização deste trabalho objetivou-se projetar e construir um revolvedor mecânico de grãos ou frutos de café para um secador de camada estacionária visando substituir o revolvimento manual, com enxadas, visando aumentar a eficiência do processo de secagem, de revolvimento e, principalmente, minimizar o esforço do operador.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O revolvedor de café foi projetado e construído no Laboratório de Mecanização Agrícola (LMA) pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (DEA-UFV).

Para o desenvolvimento do projeto baseou-se nas metodologias propostas por Pahl *et al.*, (2005), que consistem em:

- Avaliar a interrelação entre função, princípio de funcionamento e constituição;
- Realizar buscas sobre o “estado da tecnologia” em exposições, boletins, catálogos, patentes, entre outros;
- Realizar análise dos sistemas técnicos conhecidos através da análise de produtos concorrente e obsoletos similares;

Foram definidas as funções e características possíveis da máquina, sendo estas revolver, transportar, movimentar a massa de grãos, quebrar a frente de secagem, descompactar camadas de grãos e minimizar o esforço do operador.

Para a execussão das tarefas supracitadas, uma equipe de engenheiros e técnicos realizou uma análise detalhada do problema e debateram idéias para suas possíveis soluções, esta metodologia foi um misto entre os métodos de “*brainstorming*” e “*brainwriting 635*” descritos por Suarez *et al.* (2009), GOMES *et al.* (2004) e SOZO *et al.* (2001).

Foram propostas soluções baseadas nos sistemas atuais de transporte de grãos, tais como: sistemas pneumáticos, transportadores helicoidais, correntes, correias transportadoras e elevadores de caçamba.

Pontos importantes foram avaliados nas etapas de projeto e construção, tais como: o teor de água, maturação dos grãos de café, impurezas, altura da massa de grãos dentro da câmara de secagem, danos mecânicos, capacidade operacional e a demanda de potência para realizar o transporte da massa de grãos.

Após compreensão e análise das propostas partiu-se para duas soluções exequíveis, as correias e os transportadores helicoidais.

## 2.1 Protótipos iniciais

O primeiro protótipo (Figura 1) tinha como princípio básico transportar a massa de grãos de café, utilizando-se uma correia dotada de paletas de borracha.

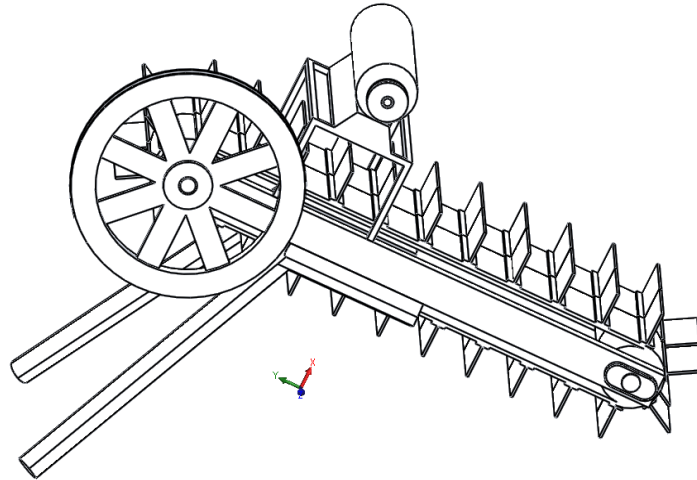


FIGURA 1. Croquis em CAD do primeiro protótipo revolvedor de grãos.

Para a continuidade do projeto do primeiro protótipo foi utilizado a metodologia do Processo geral de Decisão (Figura 2) proposta por Phal *et al.*, (2005).

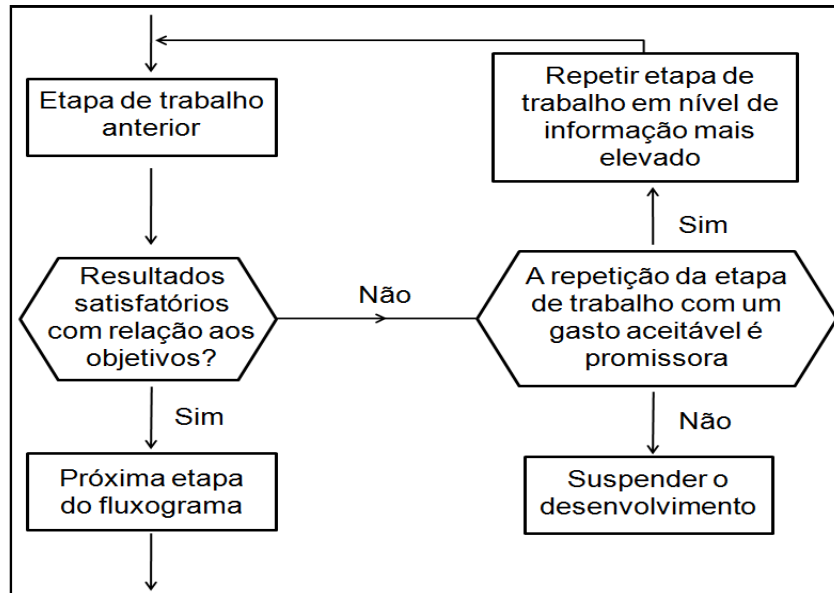


FIGURA 2. Diagrama do Processo geral de Decisão (PHAL *et al.*, 2005).

As respostas positivas e negativas dentro do fluxograma (Figura 2) demonstram se os resultados dos ensaios em relação aos objetivos foram ou não foram satisfatórios, permitindo que a equipe responsável pelo projeto seguisse para a etapa subsequente de ensaios das grandezas físicas já definida de acordo com o plano de trabalho.

O segundo e o terceiro protótipo (Figura 3) foram projetados a partir do princípio de transporte helicoidal (Figura 3b). A inovação apresentada no terceiro protótipo foi a construção de uma capa externa cilíndrica

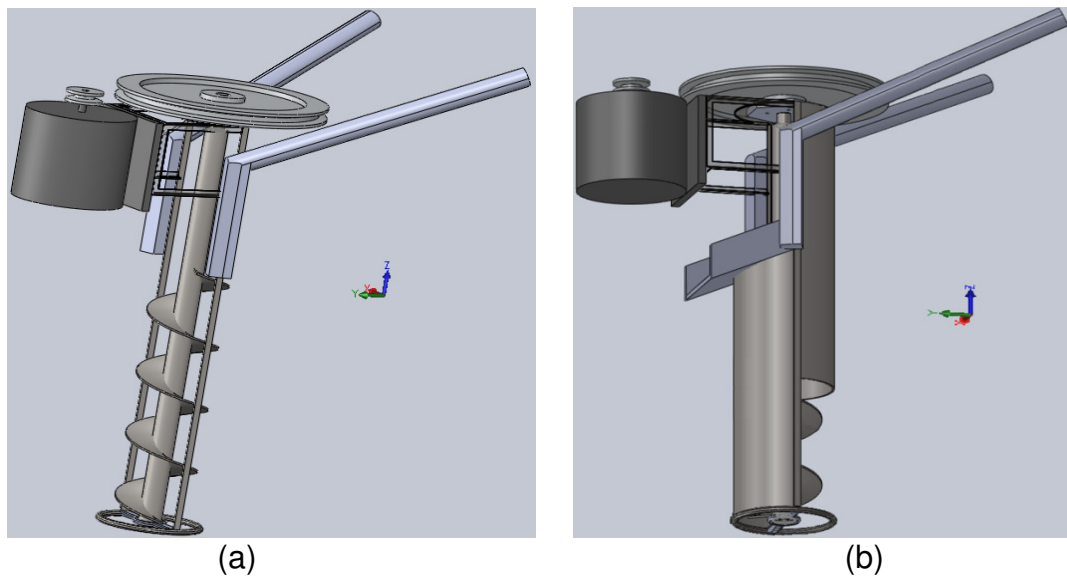


FIGURA 3. Croqui do segundo (a) e terceiro (b) protótipo revolvente.

O método de Processo Geral de Decisão (Figura 2) foi utilizado concomitante aos ensaios para avaliar o princípio de revolvimento proposto para o segundo protótipo e a construção da capa externa apresentada para o terceiro protótipo.

Após essa etapa, partiu-se para a execução do projeto, seleção dos materiais a serem utilizados na construção e para a realização dos ensaios para verificar as interações entre os materiais do revolvente e entre os grãos durante a operação de revolvimento do café.

O fluxograma (Figura 4) proposto por Phal *et al.*, (2005), é um processo interativo, uma vez que algumas de suas etapas de trabalho precisam ser repetidas em um nível elevado de informação para que sirvam como base para as outras fases do projeto.

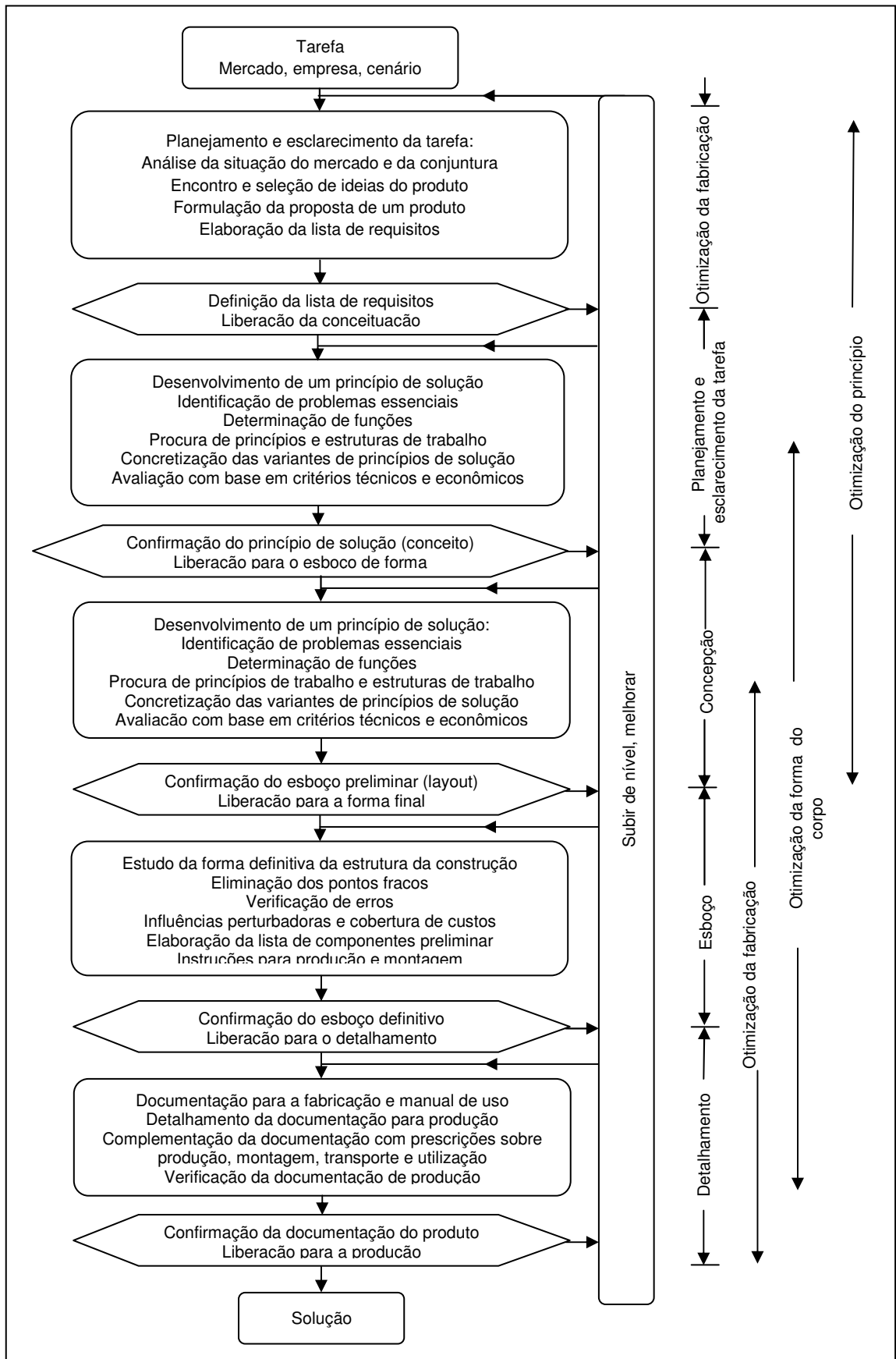


FIGURA 4. Fluxograma das etapas de planejamento e concepção do protótipo, (PHAL *et al.*, 2005).

## 2.2 Protótipo do revolvedor de grãos de café

Para aperfeiçoamento do protótipo foi necessário dimensionar e construir um novo helicóide o mais leve possível e que atendesse às dimensões da câmara de secagem do secador de camada estacionária (Figura 5).

Para a realização dos ensaios dividiu-se a câmara de secagem em três partes com as mesmas medidas de largura, comprimento e altura, utilizadas como repetições dos ensaios. A restrição lateral em secadores de camada estacionária possibilita minimizar a área utilizada como câmara de secagem dos grãos, por outro lado necessita de revolvimento intensificado.



FIGURA 5. Secador de camada estacionária sem e com restrição lateral da câmara de secagem do secador.

Para dimensionar o protótipo revolvedor foi necessário estimar as variáveis presentes na Tabela 1. Estas variáveis foram calculadas em função das características dos grãos transportados e das condições de operação.

TABELA 1. Variáveis que afetam o desempenho de um helicóide (SRIVASTAVA *et al.*, 2006)

Símbolos	Variáveis	Unidades
$Q_a$	Capacidade real de transporte	$m^3 s^{-1}$
$P$	Potência requerida	W
$d_t$	Diâmetro interno do duto	m
$d_{sf}$	Diâmetro externo do parafuso	m
$d_{ss}$	Diâmetro do eixo do helicóide	m
$L$	Comprimento do helicóide	m
$l_p$	Passo do helicóide	m
$l_i$	Comprimento do helicóide exposto na entrada	m
$N$	Rotação do helicóide	rev $s^{-1}$
$\Theta$	Ângulo de inclinação do helicóide	graus
$\rho_b$	Massa específica do grão	$Kg m^{-3}$
$\mu_1$	Coefficiente de atrito metal-grão (Externo)	-
$\mu_2$	Coefficiente de atrito grão-grão (Interno)	-
$g$	Aceleração da gravidade	$m s^{-2}$

Para efeito de cálculos foram considerados os teores máximos e mínimos de água dos grãos de café.

Inicialmente foram definidos o diâmetro externo do helicóide de 130 mm, o passo de 130 mm e o menor diâmetro do eixo que fosse capaz de suportar soldas, de tal modo que o protótipo fosse o mais leve possível. Por esses motivos foi utilizado como eixo do helicóide um duto metálico com diâmetro e parede de 38,1 mm e 1,21 mm, respectivamente.

Para o projeto do duto de transporte foi utilizada a recomendação da utilização de uma folga de 10 mm entre o helicóide e a parede externa, para evitar a interrupção do movimento giratório do helicóide, quebra e esmagamento dos grãos.

Técnicas de funilaria e as Equações 1, 2, 3 e 4 foram utilizadas para realizar os cálculos, montagem em sistema CAD e, posteriormente, a construção do helicóide pelo método passo a passo.

$$r = \frac{h C_e}{AB - C_e} \quad \text{Eq. 1}$$

$$R = r + h \quad \text{Eq. 2}$$

$$C_e = \sqrt{g^2 + \pi d^2} \quad \text{Eq. 3}$$

$$AB = \sqrt{g^2 + \pi D^2} \quad \text{Eq. 4}$$

em que

$r$  = raio interno da circunferência (mm);

- $h$  = diferença de raios (mm);  
 $CE$  = perímetro interno do helicóide (mm);  
 $AB$  = perímetro externo do helicóide (mm);  
 $R$  = raio externo do helicóide (mm);  
 $d$  = diâmetro externo do eixo (mm);  
 $D$  = diâmetro externo do helicóide (mm);  
 $g$  = passo do helicóide (mm).

O helicóide foi projetado e posteriormente construído com o objetivo de movimentar o máximo de café evitando o embuchamento, danos mecânicos e elevada demanda de potência, já que o motor escolhido para acionar o sistema transportador foi de baixa potência, consumo e peso.

No teste preliminar o revolvedor foi colocado para operar com frutos de café por duas horas interrompidas. Neste teste foram verificados possíveis desgastes entre peças, o comportamento dos componentes do revolvedor com a massa de café e a resistência do equipamento ao ser operado.

Com o fim do teste preliminar o revolvedor foi levado para o LMA onde foi totalmente desmontado e suas peças foram visualmente analisadas para novos testes.

## 2.1 Capacidade de revolvimento efetiva

Após a construção do protótipo revolvedor foram realizados ensaios para definir a capacidade de revolvimento efetiva de revolvimento (Equação 5).

$$Q_a = \frac{M_r}{t \rho} \quad \text{Eq. 5}$$

em que

- $Q_a$  = Capacidade de revolvimento efetiva ( $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ );  
 $\rho$  = Massa específica dos frutos ou grãos de café ( $\text{kg m}^{-3}$ );  
 $M_r$  = Massa dos frutos (kg);  
 $t$  = Tempo de trabalho do revolvedor (h).

A rotação do helicóide de  $41,88 \text{ rad s}^{-1}$ , equivalente a 400 rpm, foi obtida com um inversor de frequência. A obtenção da massa específica ( $\rho$ )



de cada lote de café foi conseguida por meio de balança de peso hectolítrico com capacidade de 1 litro.

## 2.2 Consumo de energia e potência do revolvedor

Na determinação da demanda de potência em campo foi utilizado o medidor universal de grandezas (MUG). Este medidor mensurou o fator de potência, voltagem e corrente a partir de um conjunto de multímetros ligados à rede elétrica que fornecia energia ao motor do protótipo durante todo o processo de revolvimento.

As medidas obtidas de corrente e tensão foram utilizadas para determinar o consumo de potência em watts (W) ao longo do processo de revolvimento, nos 3 níveis de rotações ensaiadas. Para se obter a potência real demandada pelo revolvedor, foi utilizada a Equação 6.

$$P = \sqrt{3} V I \cos \phi \quad \text{Eq. 6}$$

em que

P = Potência motora do revolvedor (W);

V = Tensão (v);

I = Corrente (a);

Cos $\phi$  = Fator de potência.

Após determinar a potência demandada pelo revolvedor e os picos de consumo para cada rotação ensaiada, o consumo específico de energia elétrica foi calculado conforme a Equação 7 (TEIXEIRA, 2002).

$$C_e = \frac{P t}{M_r} \quad \text{Eq. 7}$$

em que

C<sub>e</sub> = Consumo específico de energia elétrica (kWh kg<sup>-1</sup>);

P<sub>m</sub> = Potência demanda pelo revolvedor (kW).

## 2.3 Análise estatística

Para todas as variáveis foi verificada a pressuposição de distribuição normal dos dados utilizando-se o teste de Anderson-Darling, com a finalidade de proceder análises de variância e aplicação do teste t.

A variável capacidade de transporte foi submetida a análise de variância de regressão. Os critérios adotados para a escolha dos modelos foram: regressão significativa (teste F), critério *Stepwise* para eliminação de coeficientes não significativos (teste t) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Todos os procedimentos estatísticos foram realizados tomando-se como referência o nível de 5% de significância. Os dados foram analisados com o auxílio do programa MINITAB® Release 14 versão demo.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Desenvolvimento

O primeiro protótipo revolvente (Figura 6) apresentou problemas de travamento do sistema de transporte, pois durante o revolvimento os grãos depositavam-se entre a correia e os roletes. Logo utilizando-se do fluxograma do Processo Geral de Decisão (Figura 2), o primeiro resultado dos ensaios foi de uma resposta negativa (*não*) seguida de outra positiva (*sim*). O que obrigou a realização de uma nova tentativa com um nível mais completo de informação.



FIGURA 6. Primeiro protótipo revolvente de grãos.

A nova tentativa compreendeu em isolar as correias e os rolamentos contra a passagem de grãos. Ao realizar novos ensaios e aplicando novamente o Processo Geral de Decisão para os resultados, foram dadas respostas negativas (*não*), demonstrando que o problema de travamento não foi superado. Assim o princípio de correias e paletas para realizar o revolvimento da massa de café teve o seu desenvolvimento suspenso.

Para os próximos protótipos foi utilizado o princípio de transporte helicoidal para movimentação do café, sendo que para o desenvolvimento do helicóide foram utilizadas as dimensões resultantes das Equações 1, 2, 3 e 4 e a construção em sistema CAD (Figura 7)

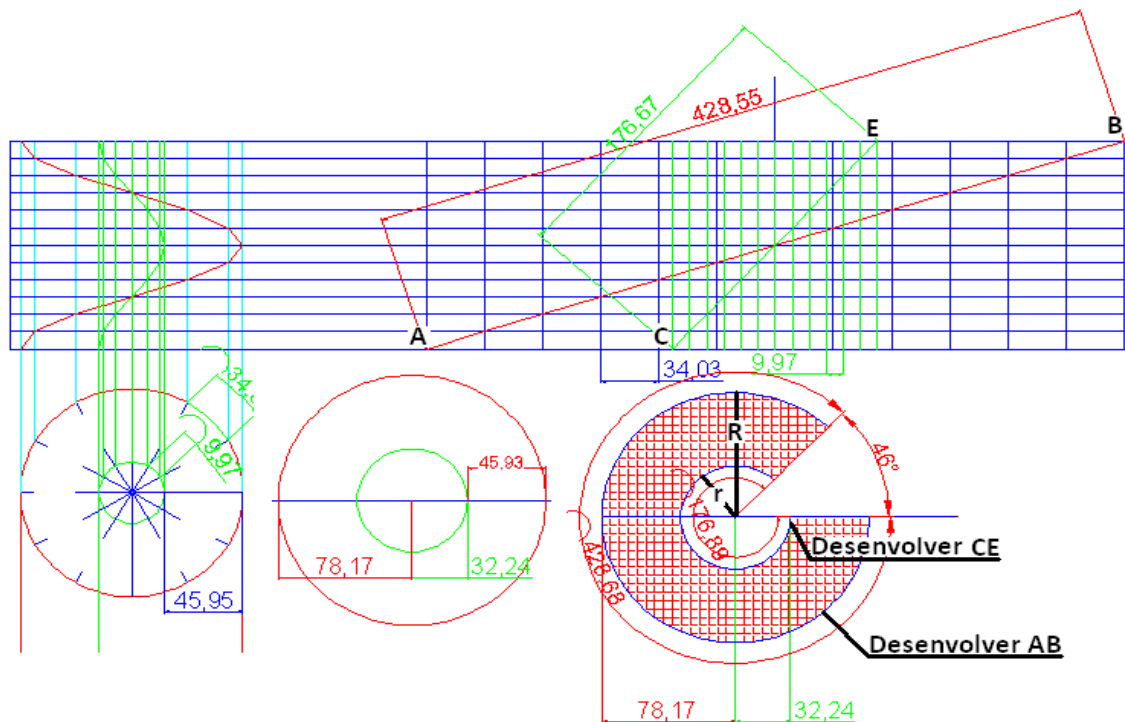


FIGURA 7. Desenvolvimento de um helicóide.

Depois de definidas as dimensões do helicóide partiu-se para a construção do mesmo com chapas de aço (Figura 8).

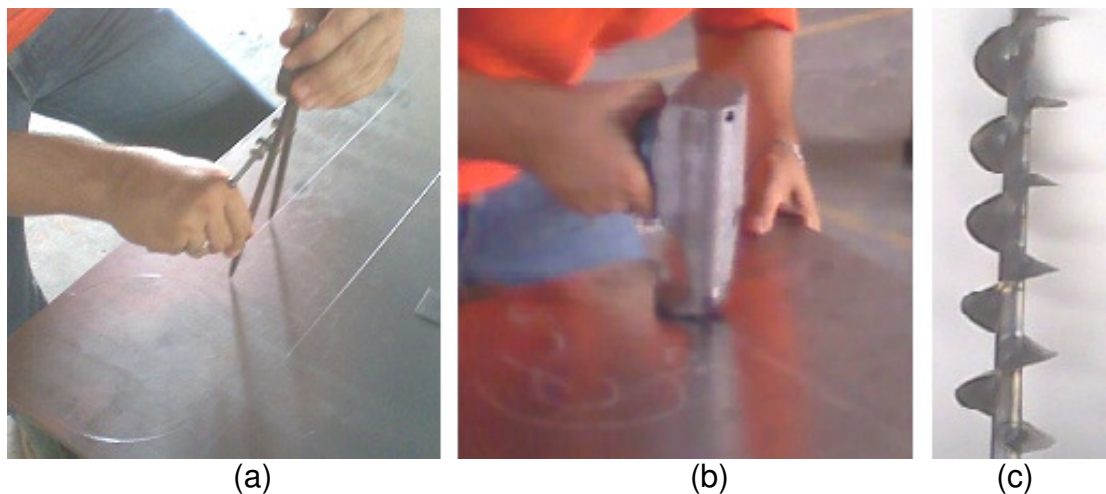


FIGURA 8. Etapas de construção, marcação (a) e corte (b) do helicóide (c).

Durante os ensaios com o segundo protótipo (Figura 9) verificou-se que na parte traseira do protótipo a massa de grãos era novamente sucionada pela helicóide, provocando o refluxo dos grãos revolvidos. Devido a ineficiência de revolvimento durante os ensaios este segundo protótipo recebeu no Processo Geral de Decisão resposta negativa (*não*) e positiva (*sim*) no fluxograma (Figura 2), levando o mesmo para o processo de aperfeiçoamento e para os próximos ensaios.



FIGURA 9. Segundo protótipo revolvedor de grãos.

O terceiro protótipo (Figura 10) é resultado do aperfeiçoamento do protótipo anterior. Este protótipo teve a montagem de uma capa metálica externa ao helicóide pra solucionar o problema de refluxo dos grãos.



FIGURA 10. Terceiro protótipo em operação de revolvimento.

Durante os testes observou-se a movimentação da massa de grãos, mas ocorreram problemas, como peso excessivo do revolvedor, aproximadamente 33 kg, e da disposição do motor próximo à moega de descarga que dificultaram a movimentação do protótipo dentro da massa de grãos, acarretando problemas ergonômicos, pela elevada carga de trabalho imposta ao operador.

### 3.2. O revolvedor

A fabricação de um novo protótipo com materiais mais leves e a instalação do motor entre as rabiças tornou o protótipo mais simples de ser

operado. Para complementar as etapas de projeto do revolvedor, utilizou-se a proposta por Phal *et al.*, (2005) (Figura 4), onde foi confirmada a eficiência do princípio de transportador helicoidal dotada de duto.

No projeto do revolvedor (Figura 11) foram utilizadas chapas de aço de 1,21 mm para a montagem do tubo externo e da moega de descarga. Um mancal de rolamento tipo flange foi utilizado para fixar o eixo do helicóide no interior do tubo. Tubos metálicos de diâmetro 38,1 mm foram usados como rabiças para realizar a condução do revolvedor.

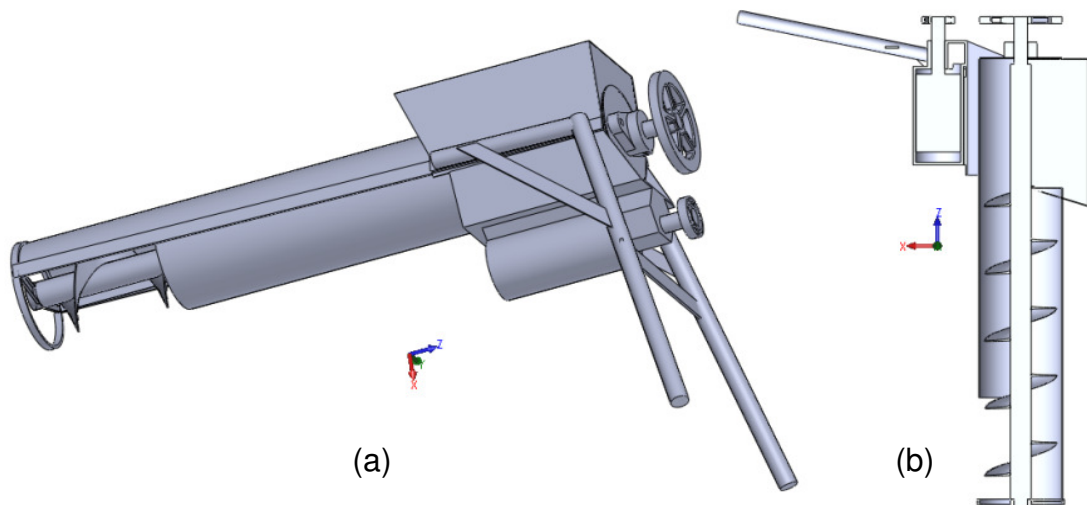


FIGURA 11. Vista lateral (a) e frontal em corte (b) do revolvedor.

O motor foi instalado sobre um chassi fixado na parte externa do revolvedor entre as rabiças. Um mancal tipo flange com bucha foi utilizado para a sustentação e centralização do helicóide na parte inferior.

Para o acionamento do revolvedor utilizou-se um motor de 250 W de potência. O sistema de acionamento é constituído por uma polia motora, 150 mm de diâmetro e uma polia acionada, 50 mm.

O sistema de alimentação (Figura 12a) dotado de uma abertura que proporcionou maior eficiência no transporte do café. A capacidade real de transporte é dependente das características dos frutos de café, das dimensões da moega de entrada, da rotação de trabalho e das dimensões do helicóide.

Já o sistema de descarga (Figura 12b) foi projetado permitindo o transporte do café na direção oposta à alimentação, evitando assim o refluxo da massa de grãos de café.

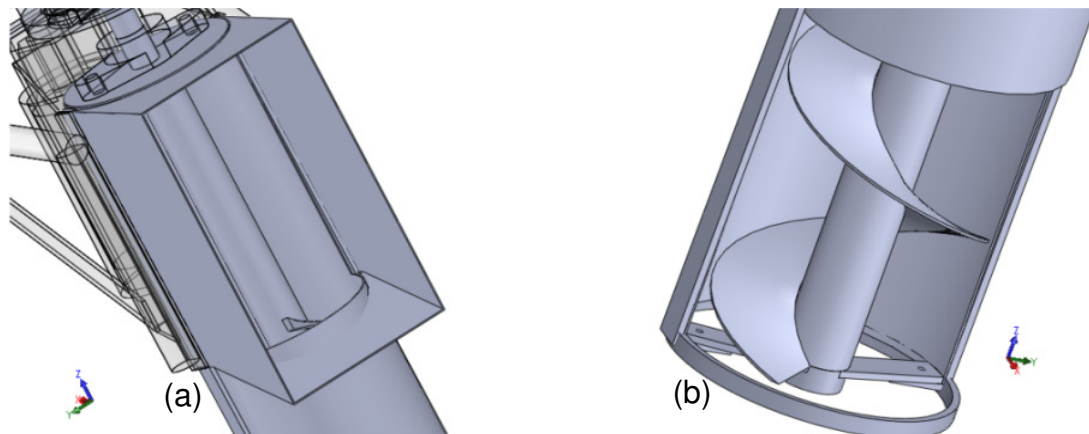


FIGURA 12. Croqui dos mecanismos de descarga (a) e alimentação (b) do revolvedor.

Após a finalização do projeto do revolvedor em sistema CAD, a etapa seguinte, de acordo com a metodologia proposta por Phal *et al.*, (2005) (Figura 4), consistiu em confirmar o esboço, a forma final e iniciar a construção física do revolvedor em laboratório, seguindo as dimensões estabelecidas em projeto.

### 3.3. Ensaio preliminares

Após a construção do mesmo foram realizados testes preliminares em diversas rotações e com café em diferentes etapas de maturação, aproximando o funcionamento de uma situação real de operação (Figura 13).



FIGURA 13. Teste do funcionamento do revolvedor com café.

Após o teste preliminar foram verificadas falhas de construção das rabiças e da fixação da bucha.



As rabiças não suportaram a movimentação do revolvedor, razão pela qual foram encontradas rachaduras nas soldas, que poderiam resultar em quebra e, por consequência, em acidentes. Prevenindo tal situação as soldas foram reforçadas e uma barra chata de 3 mm por 20 mm por 300 mm foi soldada como reforço da estrutura.

Os parafusos de fixação da bucha, de suporte e centralizadora, apresentaram contato com a hélice do helicóide causando desgaste dos mesmos e quebra dos frutos. A solução foi a substituição por parafusos menores e de cabeça redonda.

Depois de realizadas as modificações os testes foram repetidos e verificada a solução dos problemas detectados anteriormente.

### 3.4. Capacidade de revolvimento efetiva

Na Figura 14 e na Equação 8 encontra-se o comportamento da variável capacidade de revolvimento ou transporte efetiva ( $Q_a$ ) em função do teor de água ( $U$ ) para o nível de rotação de  $41,88 \text{ rad s}^{-1}$  (400 rpm). Foi verificado o comportamento quadrático decrescente.

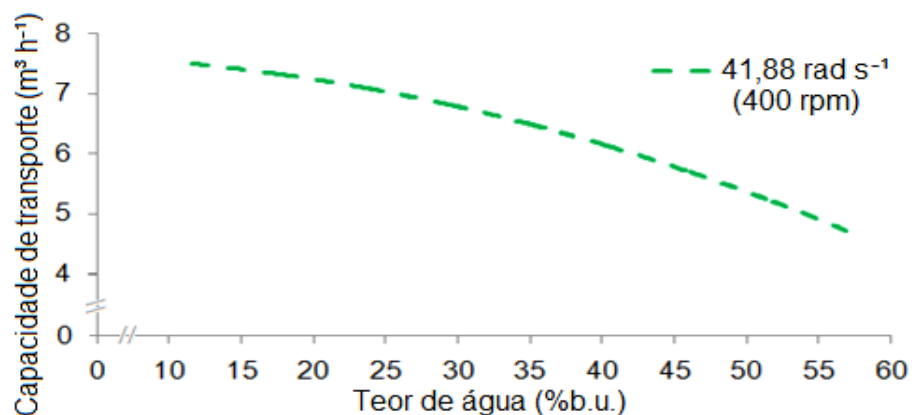


FIGURA 14. Estimativa da capacidade real volumétrica de revolvimento em função do teor de água dos grãos de café para o respectivo nível de rotação.

A Equação 8 foi a que melhor se ajustou e que descreveu o comportamento para a capacidade de revolvimento efetiva ( $Q_a$ ) em função do teor de água ( $U$ ) para a respectiva rotação de  $41,88 \text{ rad s}^{-1}$  com  $R^2$  igual a 0,8518 e 5% de significância pelo teste t.

$$\hat{C}T = 7,6599 - 0,0044U - 0,0008U^2 \quad \text{Eq. 8}$$



Observa-se que ao realizar o revolvimento com o protótipo trabalhando na rotação de  $41,88 \text{ rad s}^{-1}$ , a CT apresenta seu ponto de máximo de  $7,51 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  no teor de água igual aos 11,1% b.u.. O valor encontrado durante o ensaio do revolvedor foi de  $3,18 \text{ t h}^{-1}$  para o transporte dos grãos na vertical.

### 3.5. Demanda de energia

A avaliação da demanda de energia elétrica requerida pelo revolvedor se baseou nos dados de tensão, corrente e fator de potência, medidos pelo MUG no momento da operação do revolvedor.

De acordo com a Tabela 2 nota-se que a rotação de  $41,88 \text{ rad s}^{-1}$  apresenta a mediana próxima a média e baixo desvio padrão, ou seja, os valores de energia consumida possuem simetria.

TABELA 2. Estatísticas descritivas da variável energia consumida ( $\text{Wh kg}^{-1}$ ) para a respectiva rotação do revolvedor

Rotação ( $\text{rad s}^{-1}$ )	N	Média	Desvio padrão	Menor	1º Quartil	Mi	3º Quartil	Maior
41,88	42	2,24	0,21	1,9	2,0	2,3	2,4	2,6

N: Número de observações, Mi: Mediana

Ao levar em consideração os resultados para a rotação de  $41,88 \text{ rad s}^{-1}$ , a máxima massa específica do café encontrada foi de  $690 \text{ kg m}^{-3}$ , o volume de café da câmara de secagem foi de, aproximadamente,  $2,4 \text{ m}^3$  e o máximo consumo observado foi  $2,6 \text{ Wh kg}^{-1}$ . Pode-se estimar o consumo de  $4,305 \text{ kWh}$  para cada lote de produto processado com o revolvedor, valor inferior aos  $11,76 \text{ kWh}$  encontrado por Greco *et al.* (2010) em ensaios com sistemas de revolvimento para secadores de camada estacionária.

#### 4. CONCLUSÕES

Dos protótipos construídos e avaliados o que utilizou o princípio de transporte helicoidal trabalhando dentro de um tubo realizou a movimentação da massa de café com maior eficiência, apresentado na rotação de  $41,88 \text{ rad s}^{-1}$  a capacidade real volumétrica de revolvimento de  $7,51 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  e o consumo de energia específica de  $2,6 \text{ Wh kg}^{-1}$ , com consumo estimado de  $4,305 \text{ kWh}$  por câmara de secagem.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANFAVEA - Anuário estatístico da indústria automobilística brasileira 2010. São Paulo: Disponível em <<http://www.anfavea.com.br/tabelas2002.html>> Acesso em: 15 jan, 2010.

CHAGAS, A. M.; TEIXEIRA, M. M.; PRAT, M. H. Construção e avaliação de uma máquina recolhadora de café em terreiro. **Revista Cinecias Técnicas Agropecuárias**, v. 15. n. 2. Universidad Agraria de La Habana, Cuba. p. 13-20, 2006.

CONAB - Companhia nacional de abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de café safra de 2010, dezembro/2010**. Brasília, 2010.

GOMES, D. L. G.; RAMIREZ, G. L.; BARACALDO, R. R. Determinación de la capacidad requerida para La prestación del servicio de mantenimiento en plantas de generación de energía hidroeléctrica. **Revista Facultad de Ingeniería Universidade de Antioquia**. Medellin, Colômbia, n. 31, p. 124-138, 2004.

GRECO, M.; CAMPOS, A. T.; KLOSOWSKI, E. S. Variação de diferentes tempos de revolvimento em secador de camada fixa para café. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 32, n. 4, p. 577-583, 2010.

MAGALHÃES, A. C.; **Desenvolvimento e avaliação de uma máquina recolhadora de café em terreiro utilizando transporte pneumático**. 2003. 132f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MAGALHAES, A. C.; TEIXEIRA, M. M.; COUTO, S. M.; RESENDE, R. C. de. Modelagem de máquina pneumática recolhadora de frutos de café em terreiro usando análise por elementos finitos. **Engenharia Agrícola**. v. 26, n. 2, p. 483-492, 2006.

MUNDIM, J. L. C.; SOUZA, C. M. A.; QUEIROZ, D. M.; NARICI, A. A. F. Simulação do comportamento dinâmico do sistema de vibração de dois sistemas de limpeza. In: **Anais IV Congresso Brasileiro da Sociedade Brasileira de Informática Aplicada à Agropecuária e à Agroindústria**, Porto Seguro, 2003.

NIEMANN, G. **Elementos de Máquinas**. Editora Edgard Blucher, 1978, 220p. v. 1.

OLIVEIRA, M. V. M. **Desenvolvimento e avaliação de um dispositivo para derriça de café**. 2009. 137f. Dissertação (Mestrado em Engenharia agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J; GROTE, K. H. **Projeto na engenharia: Fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. 6. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2005.

ROMANO, L. N. **Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas**. 2003. 321f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SHIGLEY, J. E.; MISCHKE, C. R.; BUDYNAS, R. G.; **Mechanical Engineering Design**. The McGraw-Hill Companies, 7. ed: Editora Bookman. Inc., New York, NY/EUA, 2004. 953p.

SILVA, J. S.; AFONSO, A. D. L.; DONZELES, S. M. L. Secagem em Secadores, IN: **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Cap 5. Viçosa, Editora Aprenda Fácil – MG, 2000. 32p.

SOZO, V.; FORCELLINI, F. A.; OGLIARI, A. avaliação de métodos de criatividade nas fases do processo de projeto de produtos. In: **III Congresso Brasileira de Gestão de Desenvolvimento de Produtos**, Florianópolis, SC. p. 25-27, 2001.

SRIVASTAVA, A. K.; GOERING, C. E.; ROHRBACH, R. P.; BUCKAMASTER, D. R. **Engineering Principles of Agricultural Machines**. 2. ed. Editora ASABE, 2006. 588p.

SUARES, T. M.; JUNG, C. F.; CATEN, C. S. Adaptação e aplicação de um método de desenvolvimento de produtos em uma microempresa de manufatura de produtos decorativos. **Revista P&D em Engenharia de Produção** v. 7 n. 1 p. 37-63, 2009.

TEIXEIRA, C. A.; **Metodologia para adequação do uso de força motriz em processos agrícolas**. 2002. 174f. Dissertação (Mestrado em Engenharia agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

TEIXEIRA, C. A. **Avaliação energética e de custos em unidades armazenadoras**. 2006. 333f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

## **ARTIGO 2**

### **CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DO REVOLVEDOR MECÂNICO DE CAFÉ**

#### **RESUMO**

Durante o processo de secagem é necessário realizar o revolvimento da massa de grãos para homogeneizar e melhorar a distribuição de ar dentro da câmara de secagem. A escassez de mão de obra associada à necessidade de revolvimento constante torna imprescindível mecanizar esta etapa. Objetivou-se com a realização deste trabalho caracterizar o funcionamento do protótipo revolvidor da massa de grãos de café no secador de camada estacionária. Cada ensaio foi composto por três níveis de rotação do helicóide, 41,88; 52,36 e 62,83 rad s<sup>-1</sup>, 400, 500 e 600 rpm, respectivamente, e três repetições. Para cada nível de rotação foi verificada a capacidade de transporte (CT), eficiência de transporte volumétrico (EV), eficiência no revolvimento (ER), demanda de potência e aumento da porcentagem dos danos mecânicos nos grãos (GD). A CT nas rotações de 41,88 e 62,83 rad s<sup>-1</sup>, apresentou um comportamento quadrático decrescente. Já na rotação de 52,36 rad s<sup>-1</sup> a CT apresentou ponto máximo de 9,63 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> quando a massa de grãos alcançou teor de água de 28,50% b.u. A EV apresentou valores máximos de 46,76; 45,58 e 44,00% para as rotações 41,88, 52,36 e 62,83 rad s<sup>-1</sup> e os grãos com teores de água 12,94; 9,00 e 13,35% b.u., respectivamente. As rotações de 52,36 e 62,83 rad s<sup>-1</sup> apresentaram os melhores resultados quanto à homogeneidade dos grãos no fim do processo de secagem e revolvimento. O máximo consumo específico de energia elétrica foi de 2,6; 2,5 e 2,4 Wh kg<sup>-1</sup> para as rotações de 41,88; 52,36 e 62,83 rad s<sup>-1</sup>, respectivamente. A GD não foi verificada na rotação de 41,88 rad s<sup>-1</sup>, sendo que as demais rotações apresentaram aumentos de 0,59 e 2,47% para 52,36 e 62,83 rad s<sup>-1</sup>, respectivamente.

Palavras chaves: Mecanização agrícola, Secagem, Máquinas para café.

**ARTICLE 2**  
**OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF MECHANICAL HOMOGENIZER**  
**COFFEE**

**ABSTRACT**

During the drying process it is necessary to perform the revolving of the grain mass to blend and improve the distribution of air inside the drying chamber of the stationary layer dryer. The shortage of workmanship, associated to the need of constant revolving, it becomes indispensable to mechanize this step. This work aimed to characterize the operation of a prototype capable to mix the coffee grain mass in the stationary layer dryer. Each test consists of three levels of spinning speed of the helix, 41.88, 52.36 and 62.83 rad s<sup>-1</sup> corresponding to 400, 500 and 600 rpm, respectively, and three repetitions. For each level of treatment it was checked the transport capacity (TC), volumetric transport efficiency (EV), revolving efficiency (ER), power demand and increasing of the percentage of mechanical damage to grain (GD). It was verified that the TC at the rotations of 41.88 and 62.83 rad s<sup>-1</sup>, showed a linear quadratic crescent. At the rotation 52.36 rad s<sup>-1</sup> the TC showed a peak of 9.63 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> when the mass of grain moisture content reached 28.50% wb. EV showed maximum values of 46.76, 45.58 and 44.00% for rotations 41.88, 52.36 and 62.83 rad s<sup>-1</sup> and seeds with water content 12.94, 9.00 and 13.35% wb, respectively. When analyzing the ER, the rotations of 52.36 and 62.83 rad s<sup>-1</sup> showed the best results about homogeneity of the grains at the end of the drying and tilling. The highest specific consumption of electricity was 2.6, 2.5 and 2.4 Wh kg<sup>-1</sup> to the rotations of 41.88, 52.36 and 62.83 rad s<sup>-1</sup>, respectively. The GD was not checked at the spinning speed of 41.88 rad s<sup>-1</sup>, and the other spinning speeds showed increases of 0.59 and 2.47% to 52.36 and 62.83 rad s<sup>-1</sup>, respectively.

Keywords: Agricultural mechanization, Drying, Coffee Machines.

## 1. INTRODUÇÃO

A atividade cafeeira mundial tem o Brasil como o maior produtor de café e o segundo mercado consumidor (CONAB, 2010), responsabilizando-se por 30% do mercado internacional de café e possuindo grande potencial de crescimento da produção, tanto no mercado interno, quanto no externo devido ao processo de globalização (GOMES; ROSADO, 2005).

A produção cafeeira no Brasil destaca-se em quatro estados produtores: Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo e Paraná. Cabe ressaltar que há uma heterogeneidade espacial na produtividade, nas espécies cultivadas e no uso de tecnologia (RUGANI; SILVEIRA, 2006).

O processo de diminuição do teor de água em secadores artificiais com ar de secagem em altas temperaturas, acima de 10<sup>o</sup> C do ambiente (SILVA *et al.*, 2000a), é uma alternativa que demanda altos investimentos iniciais, pouca manutenção, menos mão de obra e agilidade no processo de secagem.

Os secadores mecânicos são equipamentos nos quais o ar é forçado a passar através da massa de frutos, com ou sem intermitência no processo, até que o produto alcance um teor de água entre 11 e 12% b.u.. Coradi *et al.* (2006), não recomendam ultrapassar os 80° C para o ar de secagem, porque pode acarretar grãos de cor amarelada e redução da qualidade final do produto.

Secadores de camada estacionária podem ter ou não movimentação dos grãos, mas segundo Silva *et al.* (2000a), é recomendado fazer a movimentação da massa em intervalos regulares de tempo.

O processo de revolvimento em secadores de camada estacionária é realizado com a utilização de enxadas ou pás. A utilização de máquinas resulta em redução dos esforços por parte dos trabalhadores e maior agilidade de revolvimento. A redução do tempo de secagem é um fator importante quando se trata de condições climáticas adversas (MAGALHÃES, 2003) durante a secagem de produtos agrícolas.

O secador de camada estacionária apresenta uma maior limitação ao revolvimento, tornando-se uma operação árdua com o uso de enxadas ou pás. Logo, o revolvimento mecanizado pode ser uma alternativa viável para

permitir melhores condições de trabalho e melhor uniformidade dos teores de água da massa de grãos ou frutos.

A escassez de mão de obra somada às precárias condições de trabalho e ao aumento do custo da mão de obra reflete na crescente necessidade de se mecanizar todas as operações do setor cafeeiro. De acordo com Oliveira (2009); Favarin *et al.* (2004), a mecanização da cafeicultura não tem a função de gerar desemprego, mas sim amenizar os serviços pesados e aumentar a capacidade de produção do trabalhador, reduzindo o custo da colheita e da pós-colheita e aumentando o lucro do cafeicultor.

Após as fases de projeto e construção do protótipo, torna-se necessário realizar a avaliação de desempenho do mesmo por meio de ensaios. O ensaio de máquinas, segundo Mialhe, (1996), trata de forma específica da caracterização do comportamento de um determinado protótipo pela mensuração de grandezas baseada nos princípios da especificidade, comparabilidade, reprodutibilidade e confiabilidade.

O revolvedor possui como seu principal elemento de transporte da massa de grãos um helicóide. O mesmo pode ter sua utilização adaptada à condução da maioria dos grãos, tendo a rosca helicoidal montada em dutos tubulares (TEIXEIRA, 2002). O protótipo será construído com a utilização de um condutor tubular, já que o transporte em calhas não é recomendado para inclinações superiores a 20%, (SILVA *et al.*, 2000b).

Objetivou-se com a realização deste trabalho determinar as características técnicas e operacionais de um revolvedor mecânico de grãos de café para um secador de camada estacionária com restrição lateral da câmara de secagem.



## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Todos os ensaios foram realizados na Área de Armazenamento e Processamento de Produtos Vegetais pertencentes ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (DEA-UFV).

Para os ensaios foram utilizados lotes de grãos de café cereja da espécie *Coffea arabica* L. variedade Catuaí-Vermelho, colhidos e despulpados por via úmida na fazenda Araúna na região de Viçosa, altitude de 650 m e latitude  $20^{\circ} 45' 14''$  S e longitude  $42^{\circ} 52' 53''$  W.

O ensaio foi realizado utilizando o revolvedor mecânico (Figura 1) com três níveis de rotação, 41,88; 52,36 e 62,83  $\text{rad s}^{-1}$  (400, 500 e 600 rpm) e três repetições na massa de grãos de café. Durante os ensaios o revolvedor teve o acionamento do motor fora da massa de café, evitando demanda de energia no momento da partida.

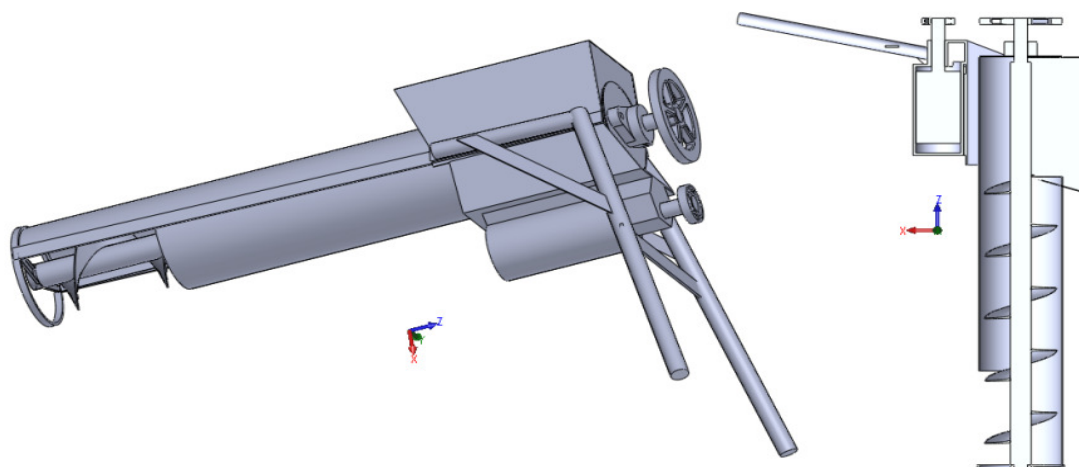


FIGURA 1. Revolvedor mecânico de café.

A coleta de dados ocorreu antes, durante e depois do revolvimento, em intervalos regulares de 2 horas e 12 horas de descanso, durante o período noturno, até que os frutos atingissem o teor de água de 12% b.u., no final do processo de secagem.

### 2.4 Capacidade de revolvimento efetiva

Após a construção do protótipo revolvedor foram realizados ensaios para definir a capacidade de revolvimento efetiva (Equação 1).

$$Q_a = \frac{M_r}{t_p} \quad \text{Eq. 1}$$

em que

- $Q_a$  = Capacidade de revolvimento efetiva ( $m^3 h^{-1}$ );  
 $\rho$  = Massa específica dos frutos ou grãos de café ( $kg m^{-3}$ );  
 $M_r$  = Massa dos frutos (kg);  
 $t$  = Tempo de trabalho do revolvente (h).

As rotações do helicóide foram obtidas com um inversor de frequência. A obtenção da massa específica ( $\rho$ ) de cada lote de café foi conseguida por meio de balança de peso hectolítrico com capacidade de 1 litro.

## 2.5 Capacidade de revolvimento teórica

A capacidade de revolvimento teórica ( $Q_t$ ), foi definida por Srivastava *et al.* (2006), e é obtida pela Equação 2. Essa é a capacidade que o revolvente tem para transportar os grãos de café levando-se em conta as características construídas do transportador helicoidal.

$$Q_t = \frac{\pi}{4} (d_f^2 - d_s^2) l_p \frac{n}{60} \quad \text{Eq. 2}$$

em que:

- $Q_t$  = Capacidade de revolvimento teórica ( $m^3 h^{-1}$ );  
 $d_f$  = diâmetro externo do helicóide (m);  
 $d_s$  = diâmetro do eixo do helicóide (m);  
 $l_p$  = passo do helicóide (m);  
 $n$  = rotação de trabalho do helicóide transportador (rpm);

## 2.6 Eficiência volumétrica de transporte do revolvente

A eficiência volumétrica de transporte (EV) foi obtida pela relação entre a capacidade de revolvimento efetiva, a capacidade de revolvimento teórica do protótipo revolvente e a relação entre as massas específicas da água e dos grãos de café. A EV foi determinada para as rotações citadas anteriormente, conforme a Equação 3 adaptada (SRIVASTAVA *et al.*, 2006).

$$EV = \frac{Q_a}{\frac{\pi}{4} (d_f^2 - d_s^2) l_p \frac{n}{60}} \left( \frac{\rho_b}{\rho_w} \right) \quad \text{Eq. 3}$$

em que:

- $Ev$  = Eficiência volumétrica de transporte (%);  
 $\rho_b$  = Massa específica do grão ( $kg m^{-3}$ );

$\rho_w$  = Massa específica da água ( $\text{kg m}^{-3}$ ).

## 2.7 Eficiência de revolvimento

A importância do processo de revolvimento é homogeneizar o teor de água da massa de grãos, eliminando-se a frente de secagem e mantendo a uniformidade da distribuição de ar que atravessa a massa, já que ocorre a eliminação de camadas compactadas e a concentração de materiais finos.

Para realizar as medições do teor de água nas três faixas de espessura da massa de grãos dentro das câmaras de secagem, foi utilizado um “calador” septado para amostragem de grãos (Figura 2). As três faixas de espessura, inferior, médio e superior, correspondem à 0 - 0,2; 0,2 - 0,35 e 0,35 m até o limite superior da massa de café, entre 0,45 e 0,50 m, respectivamente.

Com a finalidade de se obter amostras representativas foram retiradas 4 subamostras em pontos fixos dentro das câmaras de secagem.



FIGURA 2. Calador septado posicionado na massa de grãos de café.

Foi utilizado o método da estufa (BRASIL, 2009) para determinar o teor de água nas três faixas referentes à espessura da camada de grãos dentro da câmara de secagem. A amostragem ocorreu imediatamente antes e depois do revolvimento.

Para verificar a ocorrência de mistura, proporcionada pelo processo de revolvimento, o valor do teor de água medido depois do revolvimento para cada faixa da câmara de secagem e nível de rotação, tem que ser o mais próximo, o que possibilitará obter as respostas quanto à

homogeneidade da massa de café no fim do processo de secagem e revolvimento.

## 2.8 Consumo de energia e potência do revolvedor

Na determinação da demanda de potência em campo foi utilizado o medidor universal de grandezas (MUG) (Figura 3).



FIGURA 3. Montagem do MUG e Inversor de frequência durante os ensaios.

Este medidor mensurou o fator de potência, voltagem e corrente a partir de um conjunto de multímetros ligados à rede elétrica que fornecia energia ao motor do protótipo durante todo o processo de revolvimento.

As medidas obtidas de corrente e tensão foram utilizadas para determinar o consumo de potência em watts (W) ao longo do processo de revolvimento, nos 3 níveis de rotações ensaiadas. Para se obter a potência real demandada pelo revolvedor, foi utilizada a Equação 4.

$$P = \sqrt{3} V I \cos \phi \quad \text{Eq. 4}$$

em que

P = Potência motora do revolvedor (W);

V = Tensão (v);

I = Corrente (a);

Cos $\phi$  = Fator de potência.

Após determinar a potência exigida pelo revolvedor e os picos de consumo para cada rotação ensaiada, o consumo específico de energia elétrica foi calculado conforme a equação 5 (TEIXEIRA, 2002).

$$C_e = \frac{P t}{m_r} \quad \text{Eq. 5}$$

em que

$C_e$  = Consumo específico de energia do revolvedor ( $\text{kWh kg}^{-1}$ );

$m_r$  = Massa de frutos de café (kg);

$t$  = Tempo de revolvimento (h).

## 2.9 Índice de grãos danificados

A verificação da porcentagem de grãos danificados (GD) é um importante parâmetro, pois pode diagnosticar se durante o processo de revolvimento esta ocorrendo danos nos grãos de café, o que resulta em decaimento da classificação quanto ao tipo e restrição quanto à armazenagem.

Para a obtenção da GD (Equação 6), partiu-se, inicialmente, da porcentagem de grãos danificados na amostra inicial ( $G_i$ ) coletada no momento do abastecimento das câmaras de secagem do secador e outra amostra obtida após o revolvimento ( $G_R$ ), colhida depois de cada operação de revolvimento. Os grãos foram classificados como danificados quando o pergaminho apresentou-se quebrado ou trincado, já que não foi verificado quebra do grão.

$$GD = \frac{G_R - G_i}{100 - G_i} - 100 \quad \text{Eq. 6}$$

em que:

GD = Grãos danificados (%);

$G_R$  = Grãos danificados após revolvimento (%);

$G_i$  = Grãos danificados da amostra inicial (%).

## 2.10 Teor de água dos frutos de café

O teor de água foi determinado pelo método da estufa, com circulação forçada de ar a  $105 \pm 3^\circ \text{C}$ , durante 24 horas (BRASIL, 2009). As repetições foram compostas por uma massa de, aproximadamente, 40 g. Essas amostras foram coletadas no momento em que os secadores estavam sendo abastecidos e após cada revolvimento com o revolvedor, de forma aleatória dentro da câmara de secagem. De posse dos dados referentes ao teor de

água foi elaborado gráfico de superfície para a secagem de cada lote em relação aos níveis de rotações ensaiadas.

### **2.11 Qualidade da bebida do café**

Características fundamentais podem ser notadas na classificação da bebida do café, algumas podem valorizar a bebida e outras podem resultar em depreciação do café. Essas características dependem das exigências do mercado consumidor para serem apreciadas.

A classificação subdivide-se em bebidas que apresentam-se isentas do gosto “rio” e outras que possuem a presença do gosto “rio” em diferentes intensidades, são “**bebidas finas**” e “**bebidas fenicadas**”, respectivamente, (SEGGES 2001).

Foram coletadas amostras de 1 kg após o término do revolvimento para cada rotação. Essas amostras foram encaminhadas à Associação dos Produtores de Café Especiais das Serras de Minas (ARCA), onde foram realizadas análises dos grãos quanto à qualidade da bebida pela prova de xícara (BRASIL, 2009).

O procedimento do teste para bebida foi de uma prova de xícara para o número ímpar de sub-amostras de 100 g, após classificação em peneira “Mocha” 12, peneira 17 e Fundo. Os grãos retidos na peneira 17 e presente na caixa Fundo são pesados e levados para a torra de acordo com a metodologia descrita pela Instrução Normativa nº 8 (BOREM *et al.*, 2008).

### **2.12 Análise estatística**

Para todas as variáveis foi verificada a pressuposição de distribuição normal dos dados utilizando-se o teste de Anderson-Darling, com a finalidade de proceder análises de variância e aplicação do teste t.

As variáveis teor de água estratificada e porcentagem de danos mecânicos aos grãos foram estudadas por meio do teste t para amostras dependentes, a fim de se detectar possíveis diferenças entre o grau do teor de água contido nos grãos de café antes e após passarem pelo protótipo em cada rotação utilizada.

As variáveis capacidade de transporte, eficiência de revolvimento e teor de água dos grãos foram submetidas a análise de variância de regressão. Os critérios adotados para a escolha dos modelos foram: regressão significativa (teste F), critério *Stepwise* para eliminação de coeficientes não significativos (teste t) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Todos os procedimentos estatísticos foram realizados tomando-se como referência o nível de 5% de significância. Os dados foram analisados com o auxílio do programa MINITAB® Release 14 versão demo.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Teor de água

Na Figura 4 observa-se que quando são fixados os níveis de rotação a variável teor de água dos grãos apresenta comportamento decrescente ao longo do processo de secagem e revolvimento.

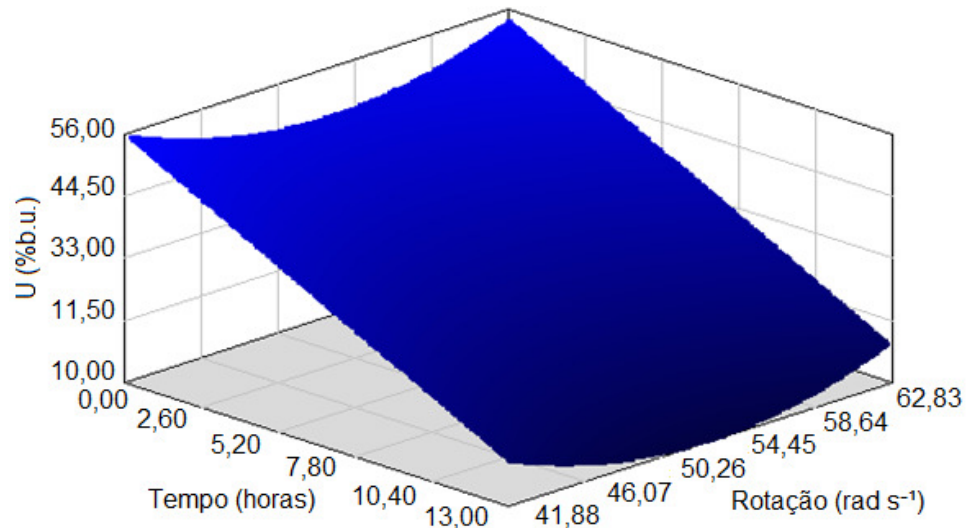


FIGURA 4. Superfície de resposta para o teor de água dos grãos de café (% b.u.) em função da rotação e do tempo (T).

A cada uma hora do processo de secagem, em todos os níveis de rotação, tem-se um decréscimo de 3,7395% no teor de água dos grãos.

Não obstante, pode-se verificar que a rotação de 52,36 rad s<sup>-1</sup> promoveu os menores valores de teores de água que os demais níveis de rotações, 41,88 e 62,83 rad s<sup>-1</sup>, para os mesmos tempos de coleta. Tal fato deve-se à capacidade de transporte, eficiência de revolvimento e à uniformidade do teor de água dos grãos de café proporcionado pelo protótipo revolvedor na rotação da rosca transportadora de 52,36 rad s<sup>-1</sup>.

O comportamento do teor de água (U) (%b.u.) nos grãos em função do tempo de secagem e respectivos níveis de rotações pode ser descrito na Equação 8 com R<sup>2</sup> igual a 0,9657 e 5% de significância para o teste t e o resumo da análise de variância da regressão encontra-se no Quadro 1A do apêndice A.

$$\hat{U} = 312,7398 - 3,795T - 9,7722Rot + 0,0926Rot^2 \quad \text{Eq. 8}$$



### 3.2. Capacidade real volumétrica de revolvimento

Na Figura 5 e na Tabela 1 encontra-se o comportamento da variável capacidade real volumétrica de revolvimento ( $Q_a$ ) em função do teor de água ( $U$ ) para os respectivos níveis de rotação 41, 88; 52,36 e 62,83  $\text{rad s}^{-1}$ , 400, 500 e 600 rpm, respectivamente. O comportamento quadrático decrescente foi verificado nos três níveis de rotação, sendo de forma mais intensa na rotação de 62,83  $\text{rad.s}^{-1}$  provocado pela maior rotação do helicóide e pelo maior atrito interno entre os grãos e a superfície do revolvedor.

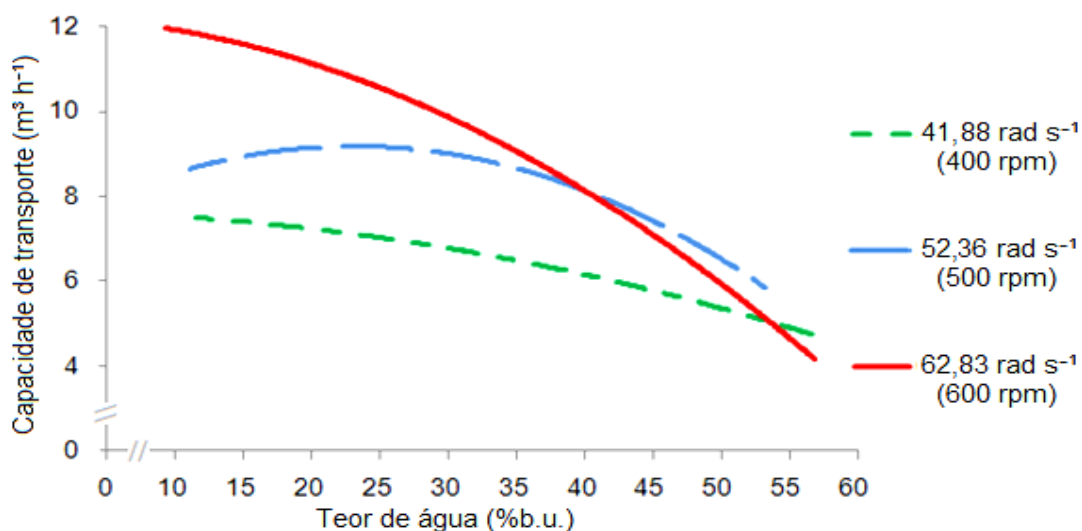


FIGURA 5. Estimativa da capacidade real volumétrica de revolvimento em função do teor de água dos grãos de café para os respectivos níveis de rotação do eixo helicoidal do revolvedor.

As equações ajustadas que descrevem o comportamento encontram-se na Tabela 1 e o resumo da análise de variância da regressão encontra-se no Quadro 1A do apêndice A.

TABELA 1. Equações de regressão ajustadas para a variável capacidade real volumétrica de revolvimento ( $Q_a$ ) em função do teor de água ( $U$ ) para as respectivas rotações

Rotação ( $\text{rad s}^{-1}$ )	Equação ajustada	$R^2$
41,88	$\hat{Q}_a = 7,6599 - 0,0044*U - 0,0008*U^2$	0,8518
52,36	$\hat{Q}_a = 7,217 + 0,171*U - 0,003*U^2$	0,9580
62,83	$\hat{Q}_a = 12,226 - 0,0089*U - 0,0023*U^2$	0,9536

\*: significativo ao nível de 5% de significância pelo teste t: U: teor de água dos grãos (%).

Observa-se ainda, que ao realizar o revolvimento com o protótipo trabalhando a 52,36  $\text{rad s}^{-1}$ , a  $Q_a$  apresenta seu ponto de máximo de 9,63  $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$

no teor de água igual aos 28,50% b.u., mas ainda mantendo-se superior à  $Q_a$  na rotação de 41,88 rad s<sup>-1</sup> para os mesmos teores de água.

O comportamento supracitado pode ser explicado pela associação da rotação do helicóide ser inferior aos 62,83 rad s<sup>-1</sup> com o fato de que a abertura da moega de entrada permitia o recocheteamento dos grãos com teor de água abaixo dos 28,50% b.u. e com o aumento do atrito entre os grãos e a superfície do transportador. A solução para esse fenômeno seria projetar uma janela de entrada com a abertura regulável.

Os valores máximos de  $Q_a$  foram 7,51; 9,63 e 11,91 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> para os teores de água 11,1, 28,50 e 9,9% b.u. e 41,88; 52,36 e 62,83 rad s<sup>-1</sup>, respectivamente.

### **3.3. Eficiência volumétrica de transporte**

Verifica-se na Figura 6 que a eficiência de transporte volumétrica (EV) dos grãos de café nas rotações de 41,88; 52,36 e 62,83 rad s<sup>-1</sup> diminui com o aumento do teor de água dos grãos. Os valores máximos de EV foram de 46,76; 45,58 e 44,00% para as rotações de 41,88; 52,36 e 62,83 rad s<sup>-1</sup> quando os grãos apresentavam teor de água de 12,94; 9,00 e 13,35% b.u., respectivamente. Esse comportamento decrescente é influenciado diretamente pela relação entre a queda da massa específica dos grãos de café e o aumento expressivo de capacidade volumétrica efetiva de revolvimento ( $Q_a$ ).

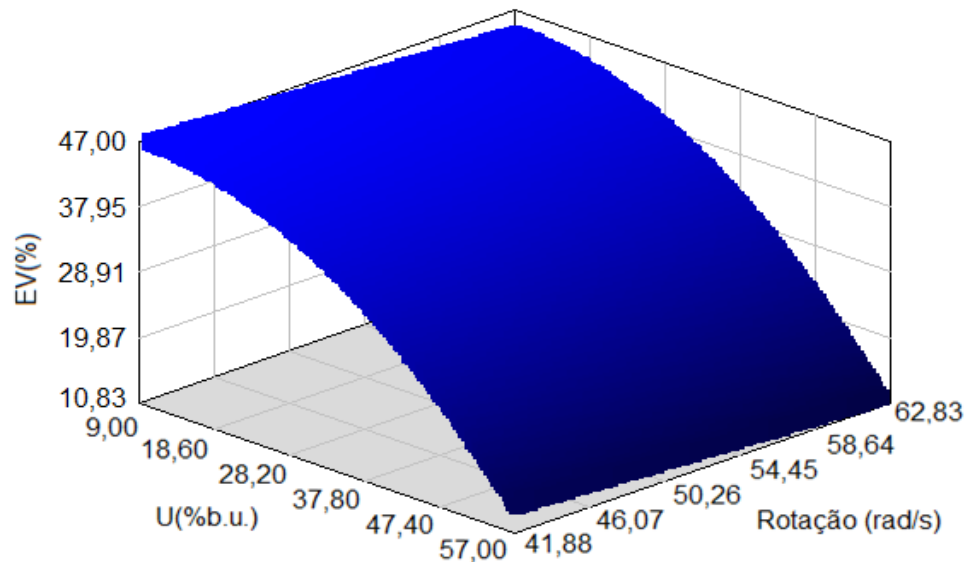


FIGURA 6. Eficiência de revolvimento (EV%) em função da rotação e teor de água dos grãos (U%).

A equação de regressão abaixo foi ajustada para EV em função do teor de água dos grãos (U) (% b.u.) e da rotação (Rot) ( $\text{rad s}^{-1}$ ) com  $R^2$  igual a 93,2% e nível de significância de 15% pelo teste t. O resumo da análise de variância encontra-se no Quadro 1A do apêndice A.

$$\hat{E}V = 51,3 - 0,129\text{Rot} + 0,253U - 0,0144U^2 \quad \text{Eq. 9}$$

De acordo com a Equação 6 é possível observar que as rotações de 41,88 e 52,88  $\text{rad s}^{-1}$  são as mais adequadas para realizar o transporte dos grãos por apresentarem maiores valores de EV em comparação com a rotação de 62,88  $\text{rad s}^{-1}$ , independente dos teores de água dos grãos.

### 3.4. Eficiência de revolvimento

Uma das mais importantes variáveis operacionais caracterizadas é a eficiência de revolvimento (ER). Com ela foi possível verificar se o protótipo revolvedor é capaz de homogeneizar e quebrar a frente de secagem da massa de grãos. Para avaliar a ER do revolvedor foram feitas mensurações do teor de água ao longo do processo de secagem depois do revolvimento na camada inferior, média e superior da câmara de secagem.

Vale ressaltar que a discussão se baseou nos resultados quanto ao teor de água nos grãos no final do processo de revolvimento, já que pequenos erros decorrentes da metodologia utilizada para a coleta dos

grãos com o calador segmentado, o que pode gerar falsas informações ao longo da secagem.

Com os dados de teor de água depois do revolvimento foi possível confeccionar as curvas de secagem para as camadas inferior, média e superior nas rotações de 41,88: 52,36 e 62,83  $\text{rad s}^{-1}$ , Figura 7, 8 e 9, respectivamente.

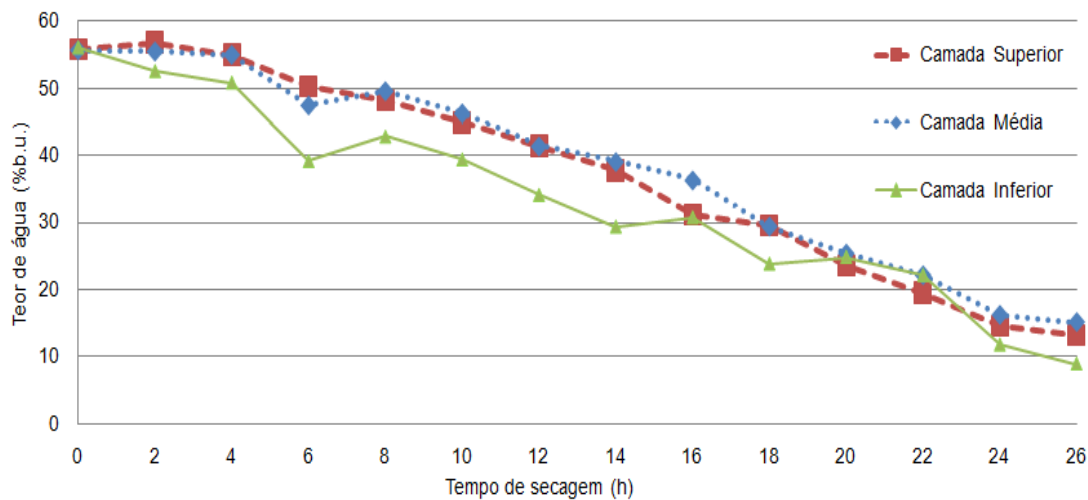


FIGURA 7. Curva de secagem com os dados de teor de água após o revolvimento na rotação de 41,88  $\text{rad s}^{-1}$ .

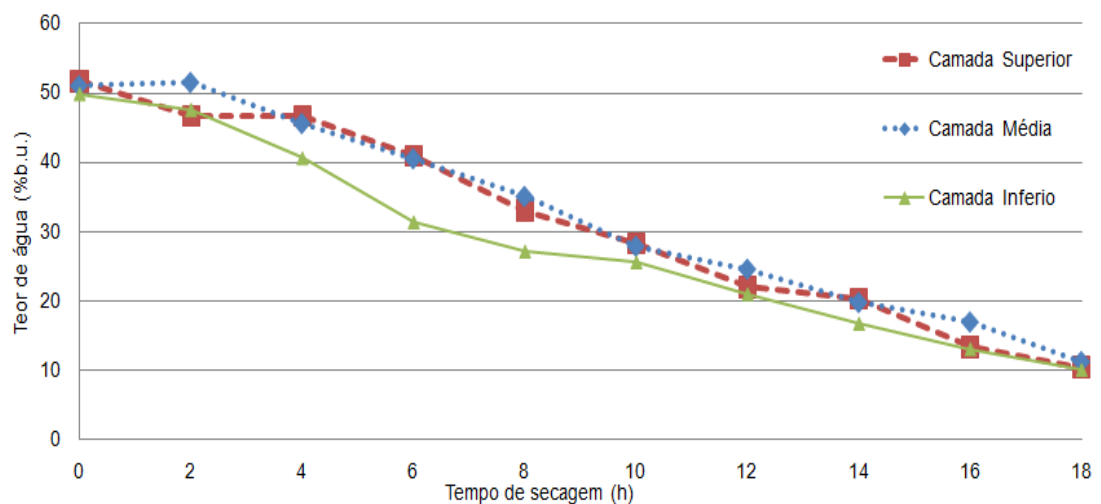


FIGURA 8. Curva de secagem com os dados de teor de água após o revolvimento na rotação de 52,36  $\text{rad s}^{-1}$ .

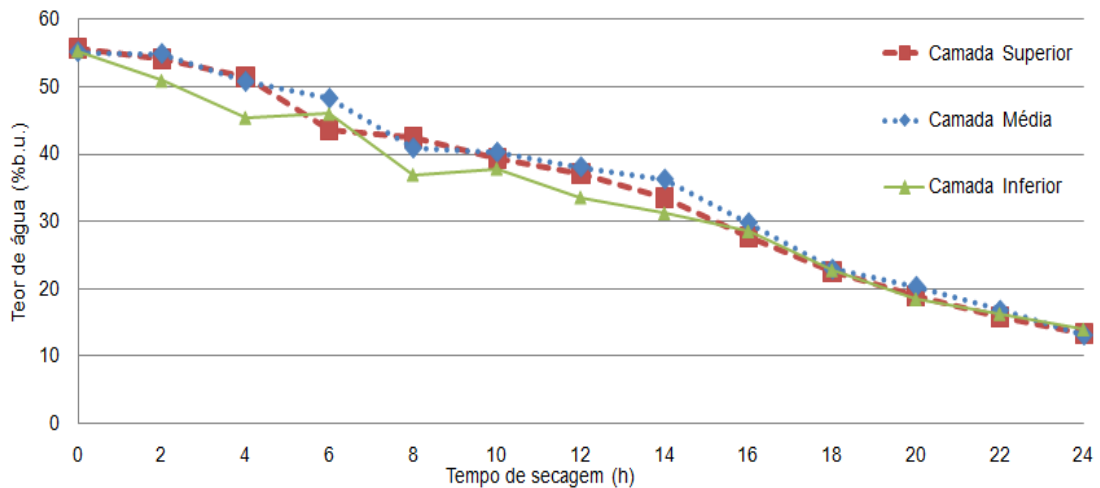


FIGURA 9. Curva de secagem com os dados de teor de água após o revolvimento na rotação de  $62,83 \text{ rad s}^{-1}$ .

De acordo com a Figura 7, é possível observar que os teores de água para os grãos no final da secagem, não se apresentaram próximos, principalmente na camada inferior, refletindo na falta de homogeneidade da massa e deficiência do revolvedor em realizar a mistura nesta camada.

A falta de homogeneidade da massa de café pode resultar na presença de grãos com teor de água superior ao limite de 12% b.u., implicando na deterioração do café ou redução da qualidade do produto ao ser armazenado (SOBRINHO *et al.*, 2003; SIMÕES *et al.*, 2008).

Nas rotações de  $52,36$  e  $62,83 \text{ rad s}^{-1}$ , Figuras 8 e 9, respectivamente, os teores de água da massa de grãos no final do processo de secagem e nas camadas inferior, média e superior, foram similares. Indicando que estas rotações do revolvedor foram eficazes ao realizar a movimentação e mistura dos grãos, homogeneizando o teor de água.

### 3.5. Demanda de energia

A avaliação da demanda de energia requerida pelo revolvedor se baseou nos dados de tensão, corrente e fator de potência, medidos pelo MUG no momento da operação do revolvedor.

De acordo com a Figura 7 pode-se notar que a mediana da demanda de energia elétrica específica diminui com o aumento da rotação do helicóide, o que demonstra uma maior eficiência no consumo de energia pela massa de café processado com o aumento da rotação do helicóide.

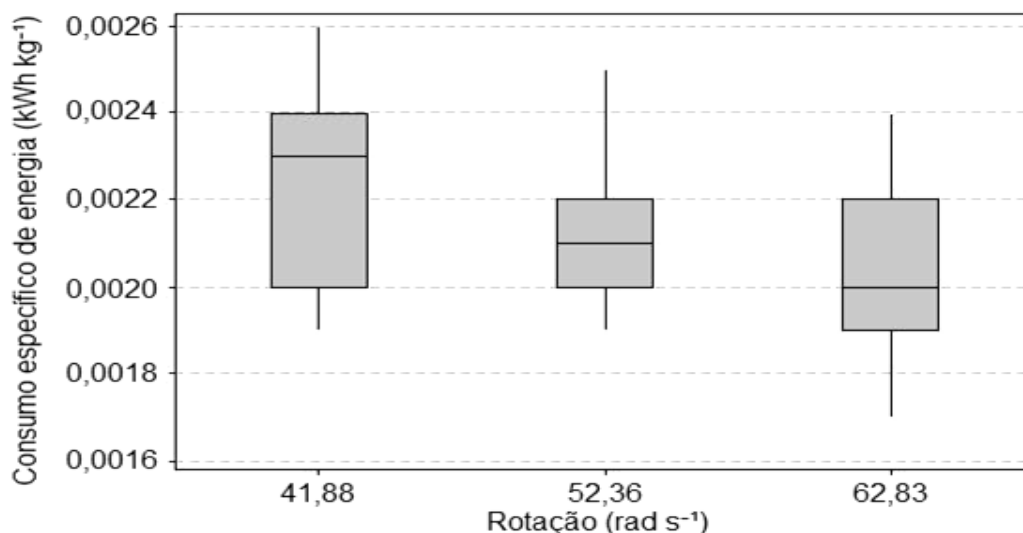


FIGURA 7. Resumo estatístico com os boxplot apresentando a mediana, os maiores e menores valores para os dados de energia elétrica específica ( $\text{kWh kg}^{-1}$ ) consumida pelo revolvedor trabalhando nos respectivos níveis de rotações.

De posse dos resultados é possível inferir que na rotação de  $51,88 \text{ rad s}^{-1}$  a mediana se encontra centrada no boxplot, indicando uma simetria dos valores, ou seja, a média está próxima da mediana.

TABELA 3. Estatísticas descritivas da variável energia elétrica específica consumida ( $\text{Wh kg}^{-1}$ ) para as respectivas rotações do revolvedor.

Rotações ( $\text{rad s}^{-1}$ )	N	Média	Desvio padrão	Menor	1º Quartil	Mi	3º Quartil	Maior
44,88	42	2,24	0,21	1,9	2,0	2,3	2,4	2,6
52,36	40	2,11	0,15	1,9	2,0	2,1	2,2	2,5
62,83	43	2,03	0,18	1,7	1,9	2,0	2,2	2,4

N: número de observações; Mi: Mediana.

Ao levar em consideração os resultados presentes na Tabela 3 para os três níveis de rotação, a máxima massa específica do café encontrada de  $690 \text{ kg m}^{-3}$  e o volume de café da câmara de secagem de, aproximadamente,  $2,4 \text{ m}^3$  tem-se as estimativas máximas para o consumo de energia elétrica específica de 4,305, 4,140 e 3,974 kWh para cada lote de produto processado com o revolvedor. Esses valores são inferiores aos 22,06 kWh encontrado por Greco *et al.* (2010) em ensaios similares com sistema de revolvimento mecânico para secadores de camada estacionária circular.

### 3.6. Danos mecânicos

A exposição às altas temperaturas (ZONTA *et al*, 2008) e o contato físico grão a grão e entre os grãos e as superfícies de transportadores pode resultar em danos ao pergaminho (FIGURA 8).



FIGURA 8. Danos encontrados nos grãos após o uso do revolvedor.

Na Tabela 4, verifica-se que a variável porcentagem de danos mecânicos aos grãos de café (GD) apresentou distribuição normal, pelo teste de Anderson-Darling ao nível de 5% de significância.

TABELA 4. Resumo do teste de normalidade de Anderson-Darling, estatísticas descritivas e resumo do teste t para danos mecânicos nos grãos de café.

Rotação (rad s <sup>-1</sup> )	Situação	N	Média	Desvio padrão	Anderson-Darling	t
41,88	Antes	3	6,3133	0,7270	0,272 <sup>NS</sup>	2,26 <sup>NS</sup>
	Depois	3	6,6566	0,5704	0,406 <sup>NS</sup>	
	Diferença	3	0,3433	0,2627	--	
52,36	Antes	3	5,9500	0,4467	0,273 <sup>NS</sup>	2,80*
	Depois	3	6,5400	0,4677	0,464 <sup>NS</sup>	
	Diferença	3	0,5900	0,3649	--	
62,83	Antes	3	4,0700	0,6359	0,210 <sup>NS</sup>	17,64*
	Depois	3	6,5400	0,7846	0,373 <sup>NS</sup>	
	Diferença	3	2,4700	0,2424	--	

NS: não significativo; \*: significativo ao nível de 5% de significância pelo teste t e Anderson Darling.

De acordo com o teste t para amostras dependentes (Tabela 4), nota-se que, apenas quando foi utilizada a rotação de 41,88 rad.s<sup>-1</sup>, não houve diferença significativa entre as amostras retiradas antes e depois da secagem, indicando que não houve aumento da GD. Observa-se ainda, que os níveis de rotações de 52,36 e 62,83 rad s<sup>-1</sup> causam aumento significativo de danos mecânicos aos grãos, de 0,59 e 2,47%, respectivamente.

Os resultados de GD para as rotações de 52,36 e 62,83 rad s<sup>-1</sup> da rosca helicoidal foram superiores aos encontrados por Magalhães (2003) nos ensaios de uma recolhedora de café em terreiro utilizando transporte pneumático.

Os resultados quanto às porcentagens de danos mecânicos aos grãos (GD) devem ser levadas em consideração na tomada de decisão da rotação a ser utilizada para o revolvimento da massa de grãos, pois pode acarretar no decaimento da classificação dos grãos de café quando avaliados quanto ao número de danos (BRASIL 2009), influenciando no valor final do café.

### **3.7. Classificação da bebida do café**

Os lotes de café que fizeram parte dos ensaios foram analisados quanto ao tipo de bebida pela prova de xícara, como determinado por Brasil (2009), na Associação de Produtores de Café Especiais das Serras de Minas (ARCA).

Os resultados para todos os lotes de café que foram processados pelo revolvedor obtiveram a classificação de “Bebida Dura”. Tais resultados foram comparados com amostras que não passaram pelo processo de revolvimento e obtiveram a mesma qualificação, demonstrando que a utilização do reolvedor, em nenhuma das rotações utilizadas durante os ensaios, alterou de forma negativa a qualidade do café quanto a “Bebida”.



#### 4. CONCLUSÕES

O protótipo revolvedor apresentou máxima capacidade de transporte de  $11,91 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  na rotação de  $62,83 \text{ rad s}^{-1}$ . Nas rotações de  $41,88$  e  $52,36 \text{ rad s}^{-1}$  os valores de capacidade de transporte máximo foram  $7,51$  e  $9,63 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , respectivamente.

As EV apresentaram-se entre  $44,00$  a  $46,76\%$ , para as rotações ensaiadas. Sendo os melhores resultados de EV para as rotações de  $41,88$  e  $52,36 \text{ rad s}^{-1}$ .

O revolvedro mostrou-se eficiente na mistura dos grãos no final do processo de secagem, quando foi realizado nas rotações de  $52,36$  e  $62,83 \text{ rad s}^{-1}$ .

A rotação de  $41,88 \text{ rad s}^{-1}$  apresentou maior demanda de energia elétrica específica e maior desvio padrão,  $2,6$  e  $0,23 \text{ Wh kg}^{-1}$ , respectivamente. O máximo consumo estimado foi de  $4,305 \text{ kWh}$  por câmara de secagem com volume de  $2,4 \text{ m}^3$  de café.

O revolvimento nas rotações de  $52,36$  e  $62,83 \text{ rad s}^{-1}$  resultaram em valores médios da porcentagem de grãos danificados de  $0,59$  e  $2,47\%$ , respectivamente. Já a rotação de  $41,88 \text{ rad s}^{-1}$  não acarretou aumento da porcentagem de danos.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOREM, F. M.; NOBRE, G. W.; FERNANDES, S. M.; PEREIRA, R. G. F. A.; OLIVEIRA P. D. de. Avaliação sensorial do café cereja descascado, armazenado sob atmosfera artificial e convencional. **Ciência Agrotécnica**. [online]. v. 32, n .6, p. 1724-1729, 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.

CONAB. Companhia nacional de abastecimento. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de café safra de 2009/2010, quarta estimativa, dezembro/2010**. Brasília, 2010.

CORADI, P. C. **Alterações na qualidade do café cereja natural e despulpado submetidos a diferentes condições de secagem e armazenamento**. 2006. 75f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Lavras.

FAVARIN, J. L.; VILLELA, A. L. G.; MORAES, M. H. D.; CHAMMA, H. M. C. P.; COSTA, J. D.; DOURADO NETO, D. Qualidade da bebida de café de frutos cereja submetidos a diferentes manejos pós-colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 187-192, fev, 2004.

GOMES, M. F. M.; ROSADO, P. L. Mudança na produtividade dos fatores de produção da cafeicultura nas principais regiões produtoras do Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. Brasília, v. 43. n. 4, 2005.

GRECO, M.; CAMPOS, A. T.; KLOSOWSKI, E. S. Variação de diferentes tempos de revolvimento em secador de camada fixa para café. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 32, n. 4, p. 577-583, 2010.

MAGALHÃES, A. C.; **Desenvolvimento e avaliação de uma máquina recolhedora de café em terreiro utilizando transporte pneumático**. 2003. 132f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas: Ensaio & certificação**. Piracicaba: Editora Fundação de Estudos Agrários, 1996. 722p.

NIEMANN, G. **Elementos de Máquinas**. 13. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2008. 220p. v. 1.

OLIVEIRA, M. V. M. **Desenvolvimento e avaliação de um dispositivo para derriça de café**. 2009. 137f. Dissertação (Mestrado em Engenharia agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. H. **Projeto na engenharia: Fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2005. 411p.

RUGANI, F. do L.; SILVEIRA, S. de F. R. Análise de risco para o café em Minas Gerais. **Revista de Economia e Agronegócio**, Viçosa, v. 4, n. 3, p. 343-364, 2006.

SEGGES, J. H. **Focalizando o café e a qualidade**. Seropédica: Editora Universidade Rural, p. 45-47, 2001.

SIMÕES, R. de O.; FARONI, L. R. D.; QUEIROZ, D. M. de; QUALIDADE DOS GRÃOS DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) EM COCO PROCESSADOS POR VIA SECA. **Caatinga**, Mossoró, v. 21, n 2, p. 139-146 maio/junho de 2008.

SILVA, J. S.; AFONSO, A. D. L.; DONZELES, S. M. L. **Secagem em Secadores** In: **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Cap 5. 1. ed. Viçosa: Editora Aprenda Fácil, 2000a. 32p.

SILVA, J. S.; FILHO, A. F. L.; VIEIRA, G.; **Manuseio de Grãos**, In: **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Cap 12. 1. ed. Viçosa: Editora Aprenda Fácil, 2000B. 32p.

SOBRINHO, J. C.; SILVA, J. N.; LACERDA FILHO, A. F. Secadores rotativos horizontais e vertical de fluxos cruzados na secagem de café: Análises energética e de qualidade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 388-397, 2003.

SRIVASTAVA, A. K.; GOERING, C. E.; ROHRBACH, R. P.; BUCKAMASTER, D. R. **Engineering Principles of Agricultural Machines**. 2. ed. Editora ASABE, 2006. 588p.

TEIXEIRA, C. A.; **Metodologia para adequação do uso de força motriz em processos agrícolas**. 2002. 174f. Dissertação (Mestrado em Engenharia agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

TEIXEIRA, C. A. **Avaliação energética e de custos em unidades armazenadoras**. 2006. 333f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

ZONTA, J. B.; ARAUJO, E. F.; ARAUJO, R. F.; REIS, M. S. Uso do teste Lercafé para a caracterização de danos em sementes de cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 11, p. 1601-1607, nov, 2008.

## ARTIGO 3

# ANÁLISE ERGONÔMICA DE UM REVOLVEDOR MECÂNICO PARA CAFÉ

## RESUMO

Objetivou-se com este trabalho realizar a avaliação ergonômica referente à carga física de trabalho ou esforço, verificar a necessidade de adequação do trabalho, avaliar os níveis de vibração e os seus possíveis danos às articulações, desempenhar a adequação antropométrica, verificar a biomecânica postural e os fatores climáticos durante o processo de revolvimento realizado pelo operador. A avaliação do esforço ou carga física foi determinada pela coleta da frequência cardiovascular dos operadores para as 3 rotações do revolvedor, enquanto os frutos se encontravam com teores de água de  $54 \pm 3\%$  b.u.. Foi observado que ao realizar o revolvimento com o protótipo revolvedor, a carga de trabalho físico foi considerada “moderadamente pesada”. Os valores para a carga cardiovascular superaram o limite de 40%, o que obrigou a realização de adequação da atividade com a introdução de pausas ou repousos durante a jornada de trabalho. Na rotação de  $41,88 \text{ rad s}^{-1}$ , foi encontrado o maior tempo de repouso, de 30 minutos, para uma jornada de trabalho de  $8 \text{ h dia}^{-1}$ . Os níveis de vibração foram mensurados por meio de um acelerômetro digital. Os resultados quanto à vibração, nas três rotações ensaiadas, se mantiveram abaixo do nível de alerta,  $2,5 \text{ m s}^{-2}$ , o que não representa risco algum aos operadores. A adequação antropométrica foi realizada com a finalidade de melhorar o equipamento quanto à abertura e altura das rabiças, ao posicionamento do interruptor e quanto a instalação da manete vertical. A avaliação biomecânica foi realizada usando a simulação da postura de operação do protótipo por meio dos softwares 3DSSPP da Universidade de Michigan e do Gimp 2.6. Os resultados mostraram que em nenhuma das duas posturas de trabalho com o revolvedor foram ultrapassados os valores de 42 e 43% da compressão limite para os discos L4/L5 e L5/S1, respectivamente, indicando não haver riscos de lesões nesses segmentos. Os joelhos, quadris e tornozelos apresentaram resultados de flexão

satisfatórios após a adequação e simulação das posturas de trabalho. Os fatores ambientais coletados foram temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e níveis de ruído. Os níveis de ruído foram mensurados em um raio de afastamento de 10 m por meio de um decibelímetro digital. Os valores máximos de ruído instantâneo foram de 81,9 dB, abaixo do limite máximo para uma jornada de 8 horas diárias de trabalho. A temperatura, velocidade e umidade relativa do ar foram coletadas por um psicrômetro e um anemômetro. Os valores mantiveram-se abaixo do recomendado pelas normas trabalhistas brasileiras, o que classificou tal atividade como insalubre, necessitando de adequação do trabalho.

Palavras chaves: Ergonomia, Mecanização Agrícola, Projeto de Máquinas.

### ARTICLE 3

## ERGONOMIC ANALYSIS OF A MECHANICAL COFFEE HOMOGENIZER

### ABSTRACT

This work aimed to perform the ergonomic evaluation on the physical load of work or effort, to verify the need of adapting work, to check the vibration levels and their potential damage to the joints, perform anthropometric adequacy, check the biomechanics of body posture and climatic factors during the process of revolving performed by the operator. The evaluation of stress or physical load was determined by collecting the cardiovascular frequency of the operators at three spinning speed, while the coffee grains were with water content of  $54 \pm 3\%$  wb. It was observed that when performing the revolving process using the mechanical homogenizer, the physical work load was considered "moderately hard". The values for the cardiovascular load surpassed the 40% limit, which forced the performing of the adapting activity with the introduction of pauses or repose during the workday. At spinning speed of  $41.88 \text{ rad s}^{-1}$  it was found the highest rest time, of 30 minutes, for an eight hours workday. Vibration levels were measured by means of a digital accelerometer. The results for vibration, at the three spinning speeds tested, remained below the warning level,  $2.5 \text{ m s}^{-2}$ , which poses no risk to operators. The Anthropometric adequacy performed in order to improve the equipment regarding the opening and height of the handlebars, placement of the switch and installation of vertical lever. Biomechanical analysis was performed using the simulation of the operation body posture using the mechanical homogenizer by the University of Michigan software 3DSSPP and the Gimp 2.6. The results showed that, for none of the body postures using the prototype, the values of 42 and 43% of compression limit for discs L4/L5 and L5/S1, respectively, were surpassed, indicating no risk of injury in these segments. The knees, hips and ankles showed satisfactory flexing results after the adequacy and simulation of working body postures. Regarding the environmental factors, were collected temperature, relative humidity, wind speed and noise levels. Noise levels were measured at a radius of 10 m spacing using a digital decibel meter. The maximum instantaneous noise values were 81.9 dB, below the maximum for

8-hour workday. The temperature, velocity and relative humidity were collected by an anemometer and a psychrometer. The values remained below recommended by Brazilian labor laws, which classify such activity as unhealthy, assuring the need of adequacy to the work.

Keywords: Ergonomics, Agricultural Mechanization, Machine Design.

## 1. INTRODUÇÃO

Assegurar a satisfação, segurança e bem-estar aos trabalhadores em relação ao trabalho, à tarefa, ao equipamento, ao ambiente e às relações pessoais no ambiente de trabalho são os objetivos da ergonomia, já que o ambiente físico e social pode exercer sobre os trabalhadores constrangimentos, exigindo-lhes gastos físico, mental, emocional e afetivo (ROYAS; MARZIALE, 2001; MORAES; MONT'ALVÃO 2000).

O estudo das relações entre o homem e o seu trabalho, equipamento e ambiente é caracterizado por ergonomia, (IIDA 2005). Os problemas surgidos entre essas relações, tem suas soluções na aplicação de conhecimentos multidisciplinares com: Anatomia, fisiologia, psicologia e outros.

Compreender o trabalho para depois transformá-lo só é permitido após a realização de uma análise ergonômica da atividade (DANIELLOU, 2004).

A adequação do ambiente de trabalho ao trabalhador, o respeito aos limites de habilidade do ser humano de acordo com os padrões do comportamento e da interação adequada e confortável para o homem, melhorando e conservando a saúde dos mesmos, são os objetivos principais da ergonomia (HERMSDORFF, 2010).

Os Fatores Humanos ou Ergonômicos são considerados, pela Associação Brasileira de Ergonomia (ABERGO), disciplinas científicas relacionadas ao entendimento das interações entre os seres humanos e outros elementos ou sistemas a fim de aperfeiçoar o bem estar humano e o desempenho global do sistema.

Nas avaliações de trabalhos que exigem elevado esforço físico, deve ser observado o tipo de tarefa com relação ao desgaste físico requerido, considerando o metabolismo, o consumo energético, as pausas, a alimentação, a postura escolhida e o ambiente físico de trabalho, (FIEDLER *et al.*, 2008).

De acordo com Laurig e Vedder (1998), a maioria das atividades agrícolas, em que o conjunto de músculos requisitados demanda um



aumento do fluxo sanguíneo para satisfazer suas necessidades metabólicas é classificada como trabalho muscular dinâmico pesado.

Segundo Alves (2001), é possível mensurar a carga de trabalho utilizando-se da frequência cardíaca, expressa em batidas por minuto (bpm), podendo ser medida por meio de monitores digitais ou pela medida direta em pulso.

Cada parte do corpo possui uma vibração natural, sendo a movimentação oscilatória de um corpo em torno de um ponto de referência composta de uma única frequência ou ser composta de diferentes frequências de movimentos oscilantes no mesmo instante (VENDRAME; PIANELLI, 2008).

Dores de cabeça constante, insônia, esquecimento, irritabilidade, alterações na circulação sanguínea, depressão e impotência são possíveis resultados da exposição aos altos níveis de vibração nas mãos, (FERNANDES; MORATA, 2002).

As consequências da vibração sobre o homem dependem, segundo Sebastião *et al.* (2007), da intensidade das vibrações, dos limites de frequência, da direção, do ponto de penetração, dos intervalos de tempo de exposição e da forma de aplicação durante a jornada de trabalho.

A união das palavras de origem grega que significam homem e medidas resulta na palavra antropometria, ou seja, significa medição do corpo humano (BRIDGER, 2003). De acordo com Añes (2001), o setor que mais se beneficiou e auxiliou no avanço da antropometria foi o setor militar principalmente pelo uso de ferramentas estatísticas, resultando em consideráveis avanços nos estudos detalhados do homem.

Com o objetivo de garantir a tríade ergonômica, ou seja, conforto, segurança e eficiência, as medidas antropométricas permitem verificar o dimensionamento e o grau de adequação dos produtos e postos de trabalho em geral (BRITO, 2007; FERNANDES, 2010). O que ressalta a importância em adaptar às características físicas da população que irá manusear as máquinas e ferramentas.

A distribuição de forças e as diferentes posturas corporais durante a operação de máquinas são analisadas pela biomecânica aplicada. Questões relacionadas aos postos de trabalho e ao dimensionamento de máquinas

que obrigam o operador a se manter em posturas ou realizar movimentos desconfortáveis tem como resultado as fadigas musculares, lombalgias, desperdício energético, além de afetar o estado emocional reduzindo, conseqüentemente, o desempenho das atividades.

Os fatores ambientais, tais como: temperatura, umidade relativa, ventilação, iluminação e nível de ruído, devem ser mensurados e adequados. As más condições ambientais podem prejudicar os trabalhadores em suas funções, resultando em perda de eficiência e elevando o risco de acidentes por perda de concentração

A zona de conforto térmico para seres humanos em países em desenvolvimento foi definida na carta bioclimática proposta por Givoni (1992).

Segundo Lopes *et al.* (2004), pode-se obter melhoras na eficiência, produtividade e qualidade do trabalho ao se propor melhorias na forma de realização das operações, aumento do conforto, bem-estar, saúde e segurança dos trabalhadores. Para isso se faz necessário comparar dados científicos das condições de exposição dos trabalhadores às condições climáticas, ruído e vibração com os valores mínimos e máximos estabelecidos pelas normas de segurança de trabalho.

Enfatizado por Fiedler *et al.* (2007), o ruído é definido como um som ou complexo de sons que causam sensações de desconforto auditivo, afetando física e psicologicamente o ser humano e, dependendo dos níveis, causando neuroses e lesões auditivas irreversíveis. Os problemas auditivos causados pelo ruído são determinados pelo nível da pressão sonora, freqüência e tempo de exposição. Para uma jornada de trabalho de 8 horas diárias sem proteção auricular o nível máximo é de 85 db (NR-15, 2008).

Oliveira (2009) ressalta que a mecanização das operações do setor cafeeiro tem como finalidade minimizar esforços, amenizando de alguma forma os trabalhos considerados pesados.

Objetivou-se com este trabalho avaliar a carga de trabalho ou de esforço, as posturas biomecânicas levando-se em conta o risco de lesões, a vibração e mensurar os fatores climáticos impostos ao operador durante a operação de revolvimento com o revolvedor e realizar a adequação antropométrica do protótipo revolvedor ao operador.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A coleta de dados para esta avaliação foi feita durante o processo de revolvimento ao se realizar a secagem dos grãos de café, considerando as atividades realizadas pelo operador ao operar o protótipo revolvente no secador de camada estacionária.

Os ensaios foram realizados na Área de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa MG (DEA-UFV) no período de maio à junho de 2009.

### 2.1 Avaliação da carga de trabalho

A avaliação da carga de trabalho foi realizada considerando o levantamento da frequência cardíaca durante a jornada de trabalho no processo de revolvimento dos grãos. Foram ensaiados 11 operadores para os respectivos níveis de rotação

Os dados foram coletados em intervalos de 30 segundos e analisados pelo transmissor "Polar Electro Oy". O mesmo foi fixado ao trabalhador na altura do tórax por uma correia elástica e os sinais de frequência emitidos foram captados pelo receptor de pulso (Figura 1).



FIGURA 1. Sistema "Polar Electro Oy".

Os dados foram transferidos para um computador e analisados. A carga cardiovascular foi calculada pela Equação 1.

$$C_V = \frac{F_T - F_R}{F_M - F_R} 100 \quad \text{Eq. 1}$$

em que

$C_V$  = Carga cardiovascular (%);

$F_T$  = Frequência cardíaca de trabalho (bpm);

$F_M$  = Frequência cardíaca máxima (220 – idade) (bpm);

$F_R$  = Frequência cardíaca de repouso (bpm).

Para uma  $C_V$  de 40%, a frequência cardíaca limite ( $F_L$ ) é obtida da Equação 2.

$$F_L = 0,40 (F_M - F_R) + F_R \quad \text{Eq. 2}$$

Para os casos em que a  $C_V$  foi superior aos 40%, faz-se necessário realizar o cálculo do tempo de repouso ou de pausas. Este foi determinado seguindo a Equação 3.

$$T_r = \frac{H_t (F_T - F_L)}{F_T - F_R} \quad \text{Eq. 3}$$

em que

$T_r$  = Tempo de repouso, descanso ou pausas, (min);

$H_t$  = Duração do trabalho, (min).

Esta metodologia possibilitou determinar a carga de trabalho físico imposta pela atividade de revolvimento semimecanizado e estabelecer os limites aceitáveis para o melhor “desempenho” do operador e ajustar o trabalho às normas brasileiras.

De posse desses dados foi possível, então, calcular a carga cardiovascular no trabalho e classificá-la por meio da Tabela 1 (SIMON, 1997).

TABELA 1. Classificação da carga de trabalho físico através da frequência cardíaca

Carga de trabalho físico	Frequência cardíaca (bpm)
Muito leve	< 75
Leve	75 a 100
Moderadamente pesada	100 a 125
Pesada	125 a 150
Pesadíssima	150 a 175
Extremamente pesada	> 175

## 2.2 Vibração

Os níveis de vibração foram quantificados pelo medidor de vibração MAESTRO 01 DB, acoplado a um acelerômetro triaxial montado na rabiça do revolvedor (Figura 2), já que este é o local de transmissão da energia às

mãos. Esse instrumento fornece os valores da magnitude de aceleração em  $m.s^{-2}$  ponderada nas frequências de 5 a 1.500Hz.



FIGURA 2. (a) MAESTRO 01 DB e (b) disposição da montagem do acelerômetro medidor de vibração triaxial no revolvedor.

Para realizar a avaliação da vibração imposta pelo revolvedor baseou-se na Diretiva 2002/44/EC da Comunidade Européia, que determina os limites de exposição baseadas nos níveis globais de aceleração para um período de trabalho de  $8 h d^{-1}$ . De acordo com a norma ISO 5349 (Figura 3), a mensuração das vibrações transmitidas pela rabiça do revolvedor deve ter sua origem na ponta do terceiro metacarpo, respeitando assim as coordenadas das posições dos eixos do acelerômetro.

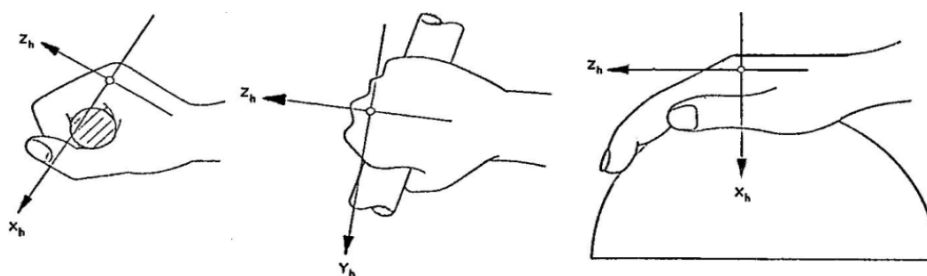


FIGURA 3. Sistema de coordenadas cartesianas para a mão conforme norma ISO 5349.

### 2.3 Avaliação biomecânica da atividade

A avaliação biomecânica foi realizada usando análise tridimensional e a técnica de fotogrametria em gravação em vídeo e/ou fotos. Os quadros de movimentos foram interpretados para medição dos ângulos dos diversos segmentos corporais pelo programa Gimp 2.6 (Figura 4). Esses ângulos foram utilizados para representar as posturas de operação do protótipo revolvedor.



FIGURA 4. Determinação dos ângulos dos segmentos corporais por meio do Gimp 2.6.

Através da representação das posturas, as forças envolvidas foram mensuradas pelo programa computacional “3D Static Strength Prediction Program” (3DSSPP), versão gratuita 6.0.4 (Figura 5), desenvolvido pela Universidade de Michigan (2010).

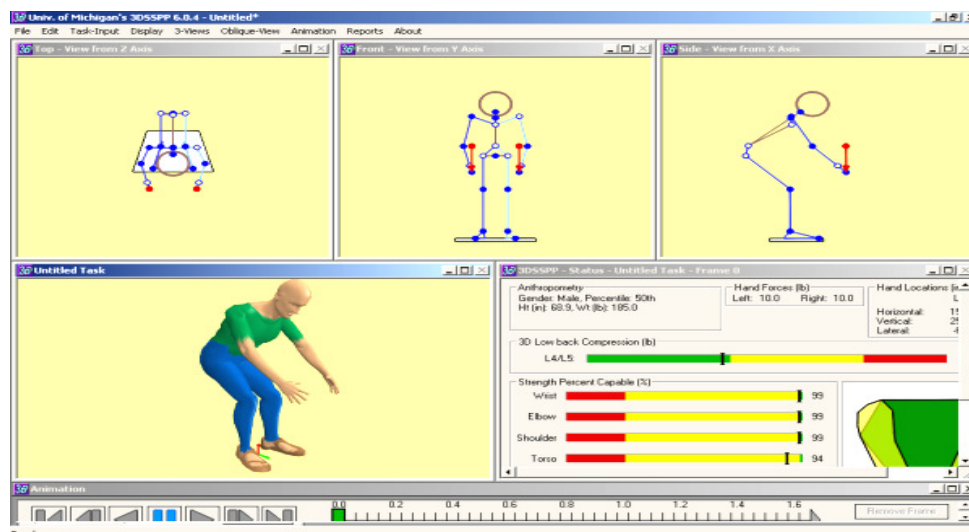


FIGURA 5. Tela do "3D Static Strength Prediction Program" 3DSSPP (UNIVERSITY OF MICHIGAN, 2010).

A análise realizada pelo programa 3DSSPP fornece a carga-limite recomendada (CLR), a carga-limite superior (CLS), carga-limite de compressão no disco (CLCD) e a carga-limite de compressão superior no disco (CLCS). A CLR corresponde ao peso que mais de 99% dos homens e mais de 75% das mulheres conseguem levantar sem causar danos às articulações do corpo. A CLS representa alto risco de lesão para determinada articulação, numa atividade em que menos de 25% das

pessoas são capazes de realizá-la com segurança. A CLCD é a força de compressão nos discos L4/L5 e L5/S1 da coluna vertebral, com o valor máximo tolerável de 3425,0 N. A CLCS é de 6361,0 N, sendo que os valores iguais ou superiores podem causar sérios danos ao sistema osteomuscular, inclusive ruptura do disco intervertebral.

#### **2.4 Determinação dos fatores climáticos**

A análise completa da situação do posto de trabalho deve se referir às variáveis referentes às condições ambientais que os trabalhadores estão expostos, como temperatura, umidade relativa do ar, ventilação, iluminação e nível de ruído.

Neste trabalho foram quantificados os parâmetros quanto à temperatura, umidade relativa do ar e nível de ruído em que os operadores estavam sujeitos no momento da avaliação ergonômica durante o processo de revolvimento da massa de grãos.

O monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar ambiente, durante o ensaio ergonômico, foi feito por meio de um psicrômetro (marca Incoterm) constituído por dois termômetros, bulbo seco e bulbo úmido, e tabela para conversão direta a partir da diferença entre as temperaturas. Este está instalado em abrigo meteorológico, localizado na área experimental, conforme as normas estabelecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Os pontos de temperatura base seca (b.s.) e umidade relativa base úmida (%b.u.), resultantes dessa coleta, foram plotados na carta bioclimática proposta por Givoni (1992), verificando a salubridade das condições de temperatura e umidade relativa do ar.

Para medição dos níveis de pressão sonora foi utilizado um decibelímetro digital da marca MINIPA, modelo MSL-1350 (Figura 6) no circuito de compensação "A". A escala utilizada para medida do nível de ruído dos equipamentos foi o decibel "A" (dB) padronizada internacionalmente pelas normas Normas IEC 651 e EB 386, citadas pela NBR-9999 (SILVA *et al.*, 2004)



FIGURA 6. Decibelímetro utilizado para a medição dos níveis de ruído.

Foram realizadas leituras de níveis de ruídos em um raio de afastamento até 10 metros de distância dos operadores durante os ensaios.

Para a comparação dos valores do ruído foram considerados os valores máximos permitido pela NR-15 (2008), para uma jornada de trabalho de 8 horas contínuas (Tabela 2).

TABELA 2. Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente

Níveis de Ruído (dB)	Máxima exposição diária (horas)	Níveis de Ruído dB	Máxima exposição diária (horas)
<b>85</b>	<b>8,00</b>	98	1,25
86	7,00	100	1,00
87	6,00	102	0,75
88	5,00	104	0,58
89	4,50	105	0,50
90	4,00	106	0,42
91	3,50	108	0,33
92	3,00	110	0,25
93	2,67	112	0,16
95	2,00	114	0,13
96	1,67	115	0,12

Fonte: NR-15 (2008) - Atividades e operações insalubres.

## 2.5 Variáveis antropométricas

Os ensaios para a caracterização operacional foram realizados em grande parte por um único operador, por esse motivo o protótipo foi inicialmente construído para se adequar a esse operador.

Para aplicação do desenvolvimento de futuros revolvedores, suas dimensões tem que atender a uma população local ou regional, por esse motivo foram selecionadas as variáveis antropométricas presentes na Tabela 2. Para compor o grupo foram selecionados 713 funcionários da UFV com idade entre 18 e 79 anos, sendo destes 405 homens e 308 mulheres.



A análise referente às medidas antropométricas (Tabela 3) foi realizada pelo método dos percentis. Foram utilizados os valores de 5, 50 e 95%, nos quais o percentil referente aos 95% quer dizer que 95% das pessoas mensuradas tem suas dimensões iguais ou inferiores ao valor encontrado e somente 5% apresentam dimensões maiores.

TABELA 3. Levantamento antropométrico das variáveis em percentis

Variáveis		Percentis		
		90%	95%	99%
Sentados	<b>Estatura</b>	<b>180,1</b>	<b>182,8</b>	<b>187,5</b>
	<b>Peso</b>	<b>86,0</b>	<b>89,7</b>	<b>96,3</b>
	Largura de cotovelos	46,0	47,6	50,5
	Largura de quadril	42,1	43,4	45,6
	Largura de ombros	39,5	40,5	42,4
	Comprimento do braço	32,0	35,5	39,2
	Altura do cotovelo em repouso	26,4	27,7	30,0
De PP	<b>Altura de cotovelos</b>	<b>117,4</b>	<b>121,2</b>	<b>128,2</b>
	Alcance vertical máximo	228,3	233,6	243,1
	<b>Alcance inferior máximo</b>	<b>35,5</b>	<b>62,0</b>	<b>75,0</b>
	<b>Alcance lateral do braço</b>	<b>92,5</b>	<b>94,0</b>	<b>96,7</b>
	Largura máxima do corpo	49,7	50,9	52,9
Larguras	<b>Largura de cotovelos</b>	<b>51,7</b>	<b>53,3</b>	<b>56,2</b>
	Largura do quadril	40,2	41,1	42,8
	Largura de ombros	43,2	44,1	45,8
Mão	Largura da mão no metacarpo	8,0	9,0	9,6
	Largura da mão no polegar	9,5	10,5	11,5
	Largura da mão fechada	7,0	8,0	8,8
	Diâmetro interno da pegada	5,3	7,1	11,4

## 2.6 Análise estatística dos dados

Neste trabalho foram ensaiadas 3 rotações do mecanismo de transporte, 41,88; 52,36 e 62,83 rad s<sup>-1</sup>. Para cada rotação foram avaliadas as respostas quanto à vibração, ruído, avaliação de carga provocada pela utilização do revolvedor e avaliação biomecânica durante todo o processo de revolvimento, e os resultados foram avaliados descritivamente.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Carga de esforço físico

Neste trabalho avaliou-se ergonomicamente o revolvimento mecanizado utilizando o revolvedor nas 3 rotações de trabalho 41,88; 52,36 e 62,83  $\text{rad s}^{-1}$ , durante o revolvimento da massa de grãos no secador de camada estacionária.

Foram observadas, que nas rotações de 41,88 e 52,36  $\text{rad s}^{-1}$ , as exigências de carga cardiovascular ( $C_V$ ) foram superiores aos 40% (Tabela 2), que é o valor limite estabelecido por Simon (1989). Para esses resultados foi necessário realizar a reorganização ergonômica do trabalho com pausas ou tempo de repouso ( $Tr$ ) do operador (Tabela 4).

TABELA 4. Avaliação da carga física de trabalho exigido e tempo de repouso em função da rotação de trabalho na operação de revolvimento.

Rotação ( $\text{rad s}^{-1}$ )	IDADE (anos)	$F_T$ (bpm)	$F_M$ (bpm)	$C_V$ (%)	FCL (bpm)	Classificação do trabalho	$Tr$ (min)
41,88	23	124,8	191,7	46,1	117,22	Moderadamente pesado	1,12
52,36	23	122,5	191,7	44,3	117,22	Moderadamente pesado	0,83
62,83	23	115,4	191,9	38,7	117,02	Moderadamente pesado	-

$F_T$ : Frequência cardíaca de trabalho;  $F_M$ : Frequência cardíaca máxima;  $C_V$ : Carga cardiovascular; FCL: Frequência cardíaca limite;  $Tr$ : Tempo de repouso.

De posse dos resultados da  $F_T$  da operação do revolvedor, foi possível classificar o trabalho quanto à carga como Moderadamente Pesado, o que não representa risco de graves lesões no trabalhador.

De acordo com os limites impostos pela NR-15 (2008) (Tabela 1) e a metodologia descrita para o  $Tr$  por Simon (1989), a cada revolvimento de um secador com volume de 2,4  $\text{m}^3$  de grãos de café, o operador terá uma capacidade operacional de 15,00; 15,48 e 16,90  $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ , para as rotações de 41,88; 52,36 e 62,83  $\text{rad s}^{-1}$ , respectivamente.

Os valores médios para a  $F_T$  nas rotações de 41,88 e 52,36  $\text{rad s}^{-1}$  foram superiores às FCL, o que indica que os trabalhadores estão expostos à situações de baixo risco, considerando o comprometimento de sua saúde,

tornando-os susceptíveis às DORT's, ao cansaço mental, entre outras patologias de menor magnitude.

É importante ressaltar que como os valores encontrados foram levemente superiores à FCL, estes podem ter sido resultado da falta de adaptação à operação do protótipo ao realizar a atividade de revolvimento, sendo necessário um prévio treinamento para o manuseio.

Na Figura 7 observa-se que os valores médios para as  $F_T$  aumentaram em todas as rotações de trabalho com o decorrer da atividade de revolvimento. Esse comportamento, da intensificação da atividade influenciando na resposta cardiovascular com o aumento do tempo da atividade, pode ser resultado da deficiência no condicionamento físico dos operadores avaliados.

Segundo Lucas e Farinatti (2007); Polito e Farinatti (2003), o treinamento com exercícios denominados “contra-resistência” proporcionam o aumento da força, da potência e da resistência muscular em adultos saudáveis, idosos e portadores de comprometimento cardiovascular, suavizando o comportamento supracitado.

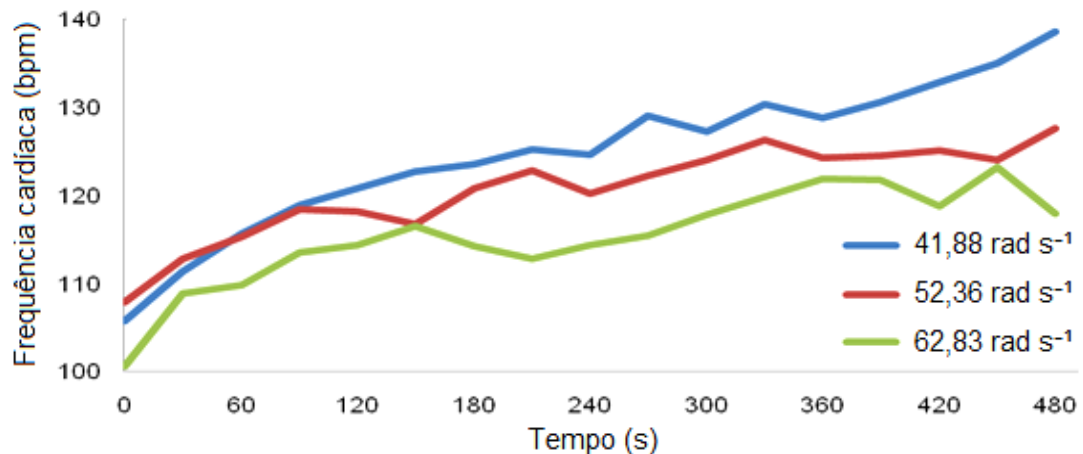


FIGURA 7. Frequência cardíaca observada durante a atividade de revolvimento mecanizado em função do tempo de revolvimento.

Observa-se que a partir dos 150 segundos de operação, existe a tendência de que quanto maior foi a rotação de trabalho, maior a  $F_T$  dos operadores. Em avaliações semelhantes Polito e Farinatti (2003) relataram que o incremento da  $F_T$ , em avaliações de maior tempo e com transporte de cargas, é mais lento chegando aos níveis de exercícios com cargas

elevadas. Já Hermsdorff (2010), ao ensaiar um coveador, obteve o aumento das  $F_T$  seguido do aumento do tempo de operação.

### **3.2. Avaliação Biomecânica**

A avaliação estimada da sobrecarga pela biomecânica tem se tornado importante, uma vez que lesões em músculos, ligamentos, fadiga muscular, transtornos músculo–esqueléticos e compressão de estruturas nervosas podem ser previstos com rapidez e elevada eficiência.

Na Tabela 5 estão contidas as simulações feitas no programa 3DSSPP com base nas fotos das operações de revolvimento mecanizado. Podem ser observados que a postura 1 apresentou índices inferiores ao recomendado para os quadris e tornozelo, 96 e 98%, respectivamente. Já na postura 2, o pulso, quadril, joelho e tornozelo apresentaram índice de 98, 97, 66 e 45%.

Esses resultados refletem a busca dos operadores por situações de maior firmeza durante o revolvimento, sobrecarregando os segmentos inferiores, o que pode acarretar DORT dependendo do tempo de exposição. Logo, é necessária a adequação da atividade com uma modificação da postura 2, alterando a flexão nesses segmentos.

Por outro lado, ao realizar uma análise das posturas 1 e 2 (Tabela 5) quanto a segurança do trabalho, optou-se pelo descarte da postura 1, já que o fato do operador trabalhar com as pernas arqueadas sobre o secador pode resultar em instabilidade e em acidentes graves.

TABELA 5. Fotos, simulações e estimativas da população capaz de executar o revolvimento nas posturas estudadas sem cometer lesão dos segmentos conforme simulação usando o software 3DSSPP

Revolvimento	Fotos e simulações no 3DSSPP	Estimativa	
		Segmento	%
Postura 1		Pulso	99
		Cotovelo	100
		Ombro	99
		Tronco	99
		Quadril	96
		Joelho	99
		Tornozelo	98
Postura 2		Pulso	98*
		Cotovelo	100
		Ombro	99
		Tronco	99
		Quadril	97*
		Joelho	66*
		Tornozelo	45*

\* Percentagens abaixo do recomendado pelo programa 3DSSPP (UNIVERSITY OF MICHIGAN, 2010).

Como sugestão para solucionar os problemas encontrados na flexão do quadril, joelho e tornozelo, foi realizada uma simulação da postura de operação do revolvedor em relação ao posicionamento das rabiças (Figura 8).

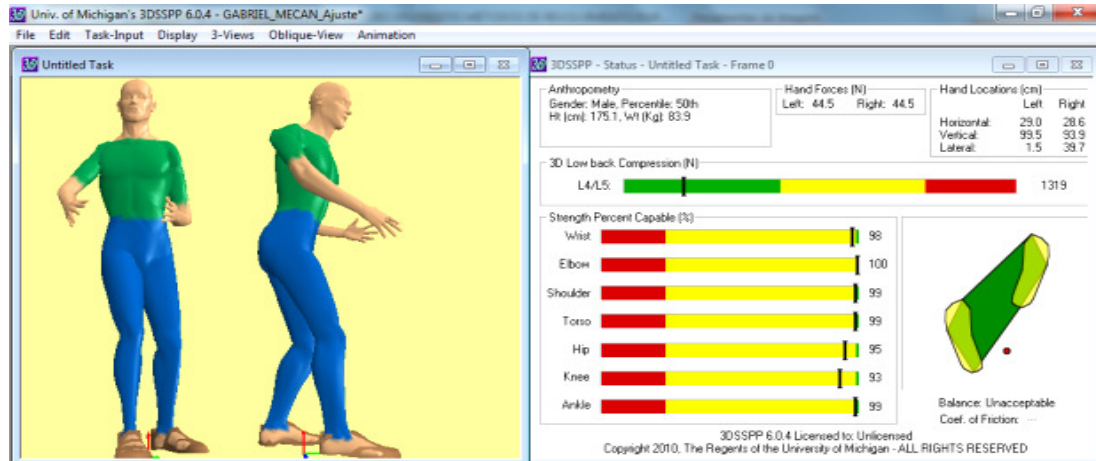


FIGURA 8. Simulação sugerida para solucionar as elevadas flexões no quadril, no tornozelo e nos joelhos para postura 2 de revolvimento mecanizado (UNIVERSITY OF MICHIGAN, 2010).

O resultado da simulação (Figura 9) apresentou uma queda em 2 pontos percentuais no segmento do quadril e uma melhora expressiva nos índices dos segmentos do tornozelo e do joelho para 99 e 93%, respectivamente, contra os índices anteriores de 66 e 45%, respectivamente. Ainda pode ser verificada a redução da compressão discal de 1346 N da postura anterior, para 1319 N, na simulação, o que reflete em um ganho em qualidade de vida por parte do operador do revolvedor.

Para realizar a simulação proposta na Figura 12, foi feita uma nova montagem em programa CAD (Figura 9a). A rabiça da direita teria aumento em aproximadamente 15 graus do ângulo de abertura em relação ao posicionamento anterior. Outra modificação sugerida para minimizar a flexão do pulso seria a inclusão de uma manete na ponta das rabiças (Figura 9b).

Essa modificação facilitará o deslocamento do protótipo dentro da câmara de secagem, pois seriam melhores aproveitadas as forças para tracionar o protótipo forçando menos os pulsos, que anteriormente estariam flexionados formando uma forte angulação com o antebraço.

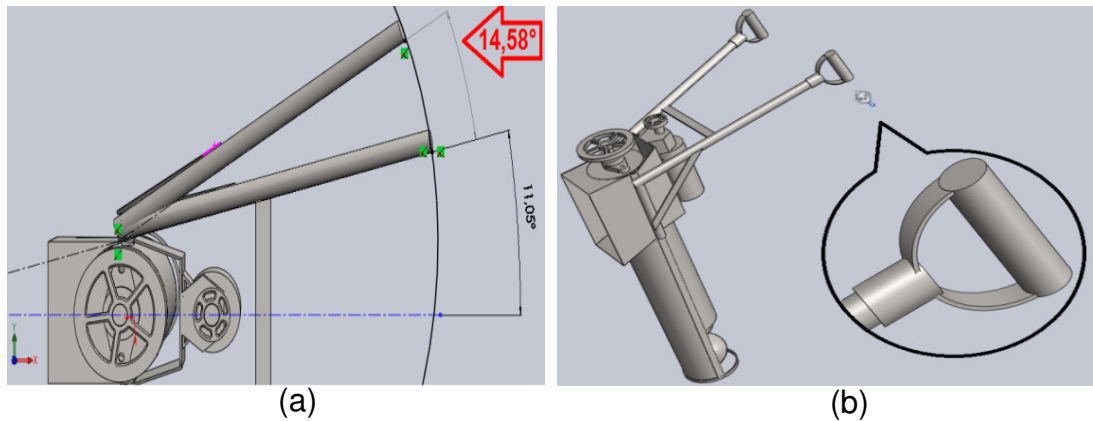


FIGURA 9. Desenho em CAD do revolvedor evidenciando (a) o aumento do ângulo e (b) a inclusão da manete na ponta das rabiças.

As compressões nervosas nos níveis das vértebras L4/L5 e L5/S1, podem resultar em limitações de movimentos dos membros inferiores, pés e dedos, respectivamente.

A Figura 10 representa o resultado da modelagem das posturas durante os processos de revolvimento mecanizado. Pode-se observar que em nenhuma das duas posturas utilizadas para realizar a operação de revolvimento com protótipo alcançaram o limite mínimo de 3425 N. O resultado máximo para a compressão alcançou os 42 e 43% da compressão limite para os discos L4/L5 e L5/S1, respectivamente. Em estudos semelhantes, Hermsdorff (2010), ao ensaiar um coveador mecanizado obteve valores de compressão para o disco L4/L5 que superaram o limite mínimo não lesivo em uma das condições de operação.

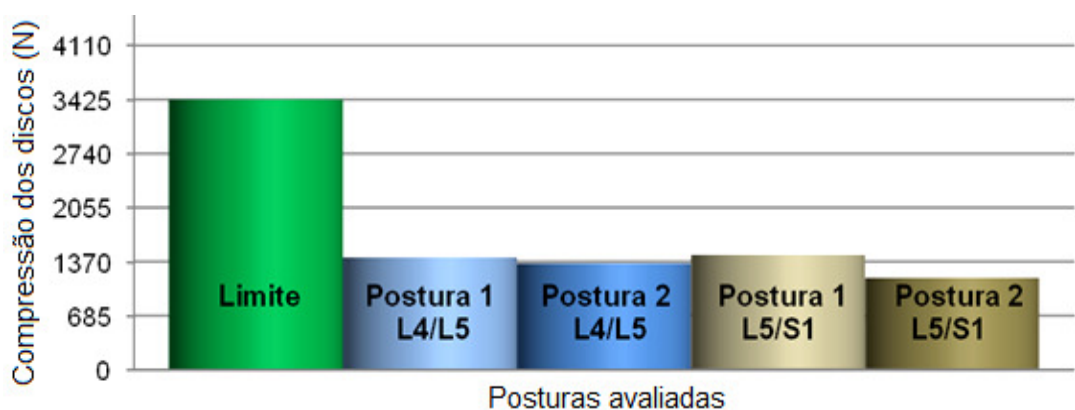


FIGURA 10. Compressão nos discos intervertebrais L4/L5 e L5/S1 em função das posturas simuladas e analisadas no 3DSSPP durante o revolvimento.

Para realizar a estimativa da população capaz de realizar as posturas de operação do revolvedor também foi utilizado o programa 3DSSPP. Os

resultados inferiores à 99% indicam que a operação requer adequação ergonômica com objetivo de amenizar ou solucionar os problemas relacionados à postura.

### **3.3. Adequação antropométrica**

Ao satisfazer a necessidade de adequar as medidas do protótipo de acordo com as medidas antropométricas presentes na Tabela 3, foram utilizados os percentis correspondentes à 95%.

A altura máxima que pode alcançar da ponta da rabiça do revolvedor até o solo se baseou na altura correspondente à altura do cotovelo (Tabela 3), que é de 1,212 m, o que mantém o operador com uma postura menos danosa.

Para ajuste da manete vertical, tem-se como diâmetro máximo o valor de 0,0114 m, correspondente ao “diâmetro da pega”. Entretanto, será utilizado o diâmetro de 0,032 m, por ser um diâmetro padrão para manetes de motocicletas (HERMENSDOFF, 2010), resultando em maior firmeza do operador ao realizar o revolvimento.

A abertura mínima das rabiças em relação ao eixo central do revolvedor baseou-se na largura dos cotovelos de 0,533 m (Tabela 3), o que possibilita ao operador uma maior firmeza durante o revolvimento.

De acordo com a simulação (Figura 9), para melhorar a operação do revolvedor quanto a flexão nos segmentos inferiores, realizou-se o aumento em aproximadamente 15 graus no ângulo de abertura da rabiça da direita, provocando uma abertura entre as rabiças de 0,70 m.

O interruptor para ligar e desligar o motor do revolvedor tem que ser posicionado na rabiça de forma segura não causando desequilíbrio ao operador ao ser acionado. Para isso será utilizada a medida de alcance lateral do braço de 0,94 m (Tabela 3) para a distância máxima entre o ombro do operador e o interruptor.

### **3.4. Vibração**

O estudo da vibração de qualquer equipamento a ser operado manualmente é previsto pelos órgãos de fiscalização das condições de trabalho. A Comunidade Européia possui a Diretiva 2002/448EC para os



limites máximos de exposição de mãos e braços, evitando riscos de pequenas lesões e perda da sensibilidade.

Os níveis de “Alerta” e “Limite” de vibração, presentes na Tabela 6, correspondem ao tempo máximo de operação do revolvedor quando utilizado o limite inferior de  $2,5 \text{ m s}^{-2}$  e o limite suportável de  $5 \text{ m s}^{-2}$ , respectivamente.

Os ensaios do protótipo foram realizados durante a operação de revolvimento da massa de grãos de café, simulando as condições reais de uso.

TABELA 6. Resultados dos ensaios para a vibração durante operação com o revolvedor nas rotações de 41,88; 52,36 e 62,83  $\text{rad s}^{-1}$

Rotações ( $\text{rad s}^{-1}$ )	Mão	Aceleração ( $\text{m s}^{-2}$ )		
		Global A(8)	Alerta ( $2,5 \text{ m s}^{-2}$ )	Limite ( $5,0 \text{ m s}^{-2}$ )
41,88	Esquerda	1,92	13'34"	#
	Direita	1,91	13'39"	#
52,36	Esquerda	1,91	13'39"	#
	Direita	1,93	13'29"	#
62,83	Esquerda	2,41	8'57"	#
	Direita	2,39	8'45"	#

#: superaram 24 horas.

Ao analisar os resultados para a aceleração global A(8) da Tabela 6, é possível inferir que os valores de vibração em nenhuma das mãos e das rotações de trabalho, durante a operação de revolvimento, ultrapassaram o valor limite de  $2,5 \text{ m s}^{-2}$ . Resultados estes que não foram observados por Hermsdorff (2010), já que ao ensaiar um coveador mecanizado os níveis de alerta se mantiveram abaixo das oito horas diárias, obrigando a uma adequação da atividade.

Observando-se os níveis de alerta (Tabela 6), percebe-se que o tempo de operação que mais se aproximou ao limite de  $8 \text{ h dia}^{-1}$  foi na rotação de trabalho de  $62,83 \text{ rad s}^{-1}$ . Logo, não existe restrição da utilização do revolvedor quando o fator analisado for os níveis de vibração impostos ao trabalhador.

### 3.5. Fatores ambientais

#### 3.5.1. Ruído

É importante ressaltar que a Tabela 2, presente na NR-15 (2008), foi elaborada para ser comparada aos valores de nível ponderado durante o período de medição, denominado de nível de ruído equivalente (Leq). O Leq é na verdade uma média ponderada, por esse motivo é sempre menor ou igual ao maior valor instantâneo encontrado durante os ensaios.

Na Figura 11, as isolinhas indicam as faixas de níveis de ruído semelhante aos quais os operadores estavam submetidos para as três rotações de trabalho do revolvedor.

Pode-se observar na Figura 11 que, em todas as rotações ensaiadas os níveis de ruído registrados se mantiveram inferiores ao limite de 85 dB para uma jornada de 8 h dia<sup>-1</sup>, conforme imposto pela NR-15 (2008). Trabalhando-se com a rotação de 52,36 rad s<sup>-1</sup>, a faixa de ruído máximo encontrado foi de 80 a 81,9 dB, sendo esta mais estreita em relação à distância, quando comparada com as outras rotações em ensaiadas.

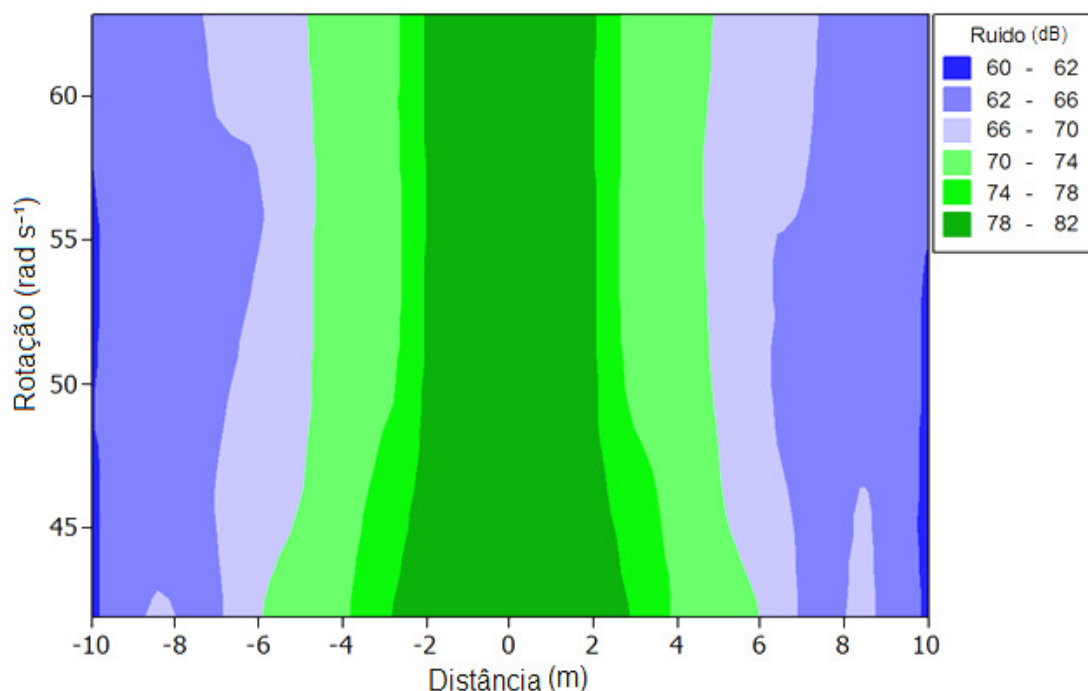


FIGURA 11. Isolinhas para os níveis de ruído aos quais os operadores estavam sujeitos no momento dos ensaios para as respectivas rotações.

Os valores instantâneos máximos encontrados foram de 81,9; 81,7 e 81,9 dB para 41,88; 52,36 e 62,83 rad s<sup>-1</sup>, respectivamente. Por outro lado, ao ensaiar motosserras Cunha (2000), encontrou níveis entre 103,4 e 105,6

dB demonstrando a necessidade da utilização de protetores auriculares, como recomenda a NR-15 (2008) e NR-6 (2009).

Foi possível ajustar a Equação 4 de regressão com  $R^2$  de 0,914 para as variáveis níveis de ruído (Ru) em relação à distancia (Dist) e à rotação de trabalho do helicóide (Rot).

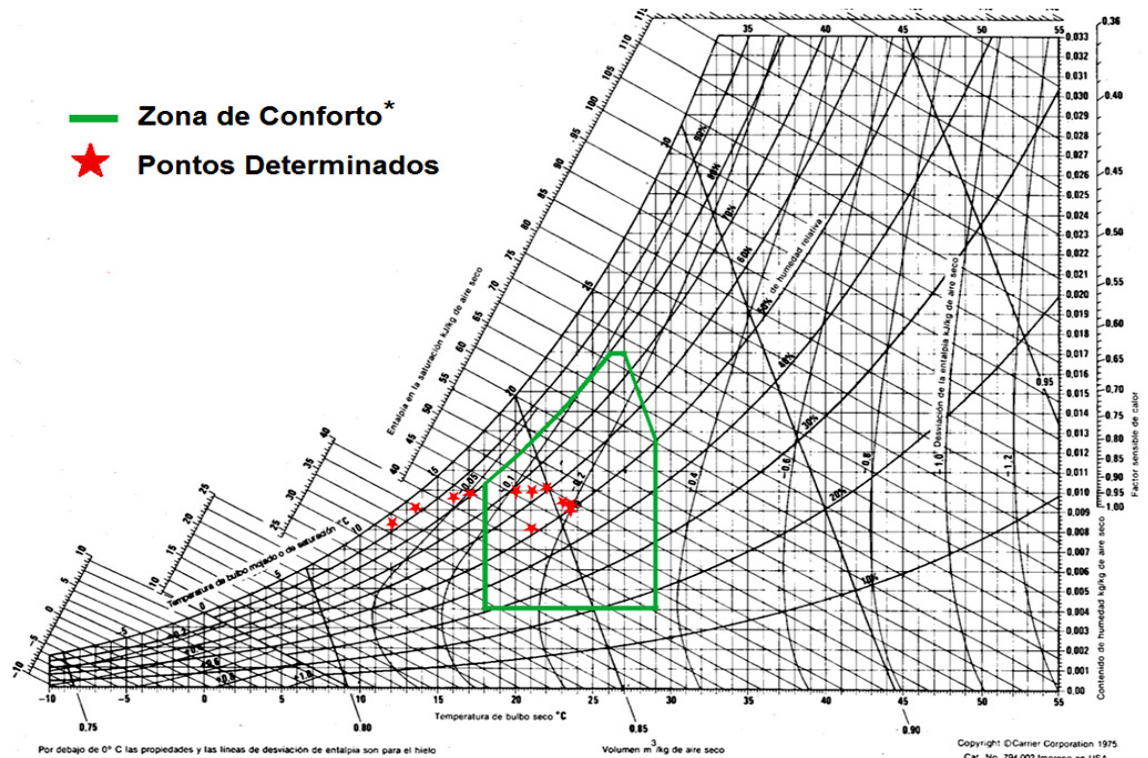
$$Ru = 85,765 - 2,1Dist - 0,069Rot \quad \text{Eq. 4}$$

A interpretação prática para esses resultados reflete na locação e construção das estruturas que compõem o secador de camada estacionária e na demarcação de áreas de segurança, em relação ao nível de ruído aos quais os operadores podem estar sujeitos.

### **3.5.2. Conforto térmico**

Segundo a American Society of Heating, Refrigerating Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) a definição de índices de conforto térmico agradáveis ao corpo dos seres humanos é considerada subjetiva, pois é dependente da sensação de comodidade durante o trabalho (CARMO FILHO, 2008; RORIZ, 2003).

De posse dos dados de temperatura base seca (Tbs) e umidade relativa do ar (%b.u.) para as condições climáticas durante os ensaios ergonômicos, foi possível estimar as condições de trabalho durante o revolvimento. A metodologia utilizada foi a de plotagem dos pontos de temperatura e umidade relativa do ar no momento dos ensaios e da área de conforto térmico, sugerida por Givoni (1992) no gráfico psicrométrico (Figura 12).



\*: Zona ou área de conforto térmico delimitada pelas linhas.

FIGURA 12. Gráfico psicrométrico com demarcações das condições de trabalho e da zona de conforto (GIVONI, 1992 e adaptado).

De acordo com os resultados de temperatura e umidade relativa do ar, pode-se verificar que algumas das operações de revolvimento encontram-se fora da área de conforto térmico, logo, foram consideradas insalubres. É recomendável seguir a NR-6 (2009) quanto aos equipamentos de proteção individual (EPI) contra riscos de origem térmica inferiores aos 18° C, capuz (NR-6-A.2), vestimentas (NR-6-E.1) e manga (NR-6-F.3).

#### 4. CONCLUSÕES

As rotações de 41,88 e 52,36 rad s<sup>-1</sup> superaram o limite de 40% da carga cardiovascular (C<sub>V</sub>) e os resultados da frequência cardíaca de trabalho (F<sub>T</sub>), 124,4 e 120,4 bpm, foram levemente superiores à frequência cardíaca limite (FCL) 117,22 e 119,20 bpm, respectivamente.

A operação do protótipo revolvedor foi considerada moderadamente pesada nas três rotações de trabalho ensaiadas.

Os resultados de C<sub>V</sub> e F<sub>T</sub> indicam ser necessário realizar a reorganização ergonômica do trabalho com pequenas pausas. A pausa máxima foi de 67,2 minutos para uma jornada de 8 h dia<sup>-1</sup> para o revolvimento na rotação de 41,88 rad s<sup>-1</sup>.

Os valores médios para as F<sub>T</sub> aumentaram com o decorrer da atividade de revolvimento em todas as rotações de trabalho, esse comportamento pode ser resultado da deficiência no preparo físico dos operadores avaliados.

O resultado da simulação biomecânica para a compressão alcançou 42 e 43% da compressão limite (3425N) para os discos L4/L5 e L5/S1 respectivamente. Já os resultados para quadris, joelhos e tornozelos ficaram abaixo do recomendado. A simulação da nova postura de operação unida à nova configuração do revolvedor representou melhora significativa nesses segmentos.

Os níveis de vibração, nas duas mãos, não ultrapassaram o valor limite de 2,5 m s<sup>-2</sup> em nenhuma das rotações de trabalho do protótipo durante a operação de revolvimento.

Os níveis de ruído não atingiram o valor limite imposto pela NR15 para uma jornada de 8h dia<sup>-1</sup>, que é de 85 db. A faixa de ruído máxima encontrada foi de 80 a 81,9 db nas três rotações ensaiadas.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. U. **Avaliação do perfil e condições de trabalho de operários na atividade de propagação de *Eucalyptus spp.* em viveiros.** 2001. 106f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

AÑES, C. R. R. Anthropometry and its application in ergonomics, **Brazilian Journal of Kinanthropometry and Human Performance**, v. 3, n. 1, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Medição do nível de ruído, no posto de operação de tratores e máquinas agrícolas:** NBR 9999. Rio de Janeiro, 1987. 21 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma reguladora. **Equipamentos de proteção individual.** NR6. Portaria No.125, de 12 de novembro de 2009(\*) (DOU de 13/11/09).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Atividades e operações insalubres.** NR15. Portaria No.43, de 11 de março de 2008(\*) (DOU de 13/03/08).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ergonomia.** NR17. Portaria n.13, de 21 de junho de 2007 (DOU de 26/06/07).

BRIDGER, R. S. **Introduction to ergonomics.** 2. ed. New York: Editora Taylor & Francis, 2003. 548 p.

BRITO, A. B. **Avaliação e redesenho da cabine do “Feller-Buncher” com base em fatores ergonômicos.** 2007. 151f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CARMO FILHO, J. C. do. **Conforto térmico em estabelecimento assistenciais de saúde (eas).** 2008. 58f. Monografia (Especialização em Arquitetura), Universidade Federal da Bahia, Bahia.

CUNHA, I. A., **Níveis de vibração e ruído gerados por motosserras e sua utilização na avaliação da exposição ocupacional do operador à vibração.** 2000. 175f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

DANIELLOU, F. (org.). **A ergonomia em busca de seus princípios: debates epistemológicos.** São Paulo: Edgard Blücher, 2004. 200p.

DIRECTIVE 2002/44/EC. On the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration) **Official Journal of the European Communities.** p. 177-183, jun, 2002.

FERNANDES, H. C.; BRITO, A. B. DE; MINETTI, L. J.; SANTOS, N. T.; RINALDI, P. C. N. Avaliação ergonômica da cabine de um trator florestal. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 3, p. 307-314, mai/jun, 2010.

FERNANDES, M.; MORATA, T. C. Estudos dos efeitos auditivos e extra-auditivos da exposição ocupacional a ruído e vibração. **Revista Brasileira de Otorrinolaringologia**, São Paulo, v. 68, n. 5, p. 168-173, 2002.

FIEDLER, N. C.; SANTOS, A. M. de L.; GATTO, C. A.; LOPES, E. da SILVA.; OLIVEIRA, J. T. da S. Avaliação das condições de trabalho em atividades de poda de árvores. **Revista Cerne**, Lavras, v. 13, n. 1, p. 19-24, jan./mar, 2007.

FIEDLER, N. C.; WANDERLEY, F. B.; GUIMARÃES, P. P.; ALVES, R. T. Avaliação dos limites recomendados de pesos no manuseio de cargas em marcenarias. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 2, p. 133-140, abr./jun, 2008.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**. v. 18, p. 11-23, 1992.

HERMSDORFF, W. L. **Desenvolvimento e avaliação ergonômica de um motocoveador hidráulico para plantio de espécies florestais**. Viçosa. 2010. 89f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

ISO 5349. **Guia para medição e avaliação da exposição humana à vibrações transmitida à mão**. UDC.534.1: 614.872. Ref.N.ºISO/DIS 5349-1979 (E)

LAURIG, W.; VEDDER, J. **Ergonomia: Herramientas y enfoques**. In: **ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO**. OIT, Madrid, 1998.

IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. 2. ed. São Paulo: Blücher, 2005. 614p.

LOPES, E. S.; ZANLORENZI, E.; COUTO, L. C.; MINETTI, L. J. Análise do ambiente de trabalho em indústrias de processamento de madeira na região Centro-Sul do Estado do Paraná. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 66, p. 183-190, 2004.

LUCAS, L.; FARINATTI, P.T.V. Influência da carga de trabalho e tempo de tensão sobre as respostas agudas de frequência cardíaca, pressão arterial sistólica e duplo-produto durante exercícios contra-resistência em mulheres idosas. **Revista brasileira de Cinemática e Movimento**. v. 15, n. 1, p. 75-82, 2007.

MORAES, A.; MONT'ALVÃO, C. **Ergonomia, conceitos e aplicações**. 2 ed. Rio de Janeiro: 2AB, 2000.

OLIVEIRA, M. V. M. **Desenvolvimento e avaliação de um dispositivo para derricha de café**. 2009. 618f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

POLITO, M. D.; FARINATTI, P. T. V. Respostas de frequência cardíaca, pressão arterial e duplo--produto ao exercício contra-resistência: uma revisão da literatura. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**, v. 3, n. 1. p. 79–91, 2003.

RORIZ, M. Flutuações horárias dos limites de conforto térmico: Uma hipótese de modelo adaptativo. In: **Anais VII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente**. Curitiba. PR, 2003.

ROYAS, A. D. V.; MARZIALE, M. H. P. A situação de trabalho do pessoal de enfermagem no contexto de um hospital argentino: um estudo sob a ótica da ergonomia. **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, Ribeirão Preto, v. 9, n. 1, p. 102-108, 2001.

SEBASTIÃO, B. A.; MARZIALE, M. H.; ROBAZZI, M. L. C. C.; Uma revisão sobre os efeitos adversos ocasionados na saúde de trabalhadores expostos à vibração. **Revista Baiana de Saúde Pública**, v. 31, n. 1, jan./jun. p. 178-186, 2007.

SILVA, R. P. da; FONTANA, G.; LOPES, A.; FURLANI, C. E. A.; Avaliação do nível de ruído em colhedoras combinadas, Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 381-387, maio/ago. 2004

SIMON, E. A. **Guidelines on ergonomic study in forestry**. Genebra: ILO, 1989. 241p.

SIMON, E. A. Temas de ergonomia aplicados al aumento de la productividad de la mano de obra en cosecha forestal. In: **Anais III SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL**, Vitória, 1997. Vitória: SIF, p. 46-60, 1997.

UNIVERSITY OF MICHIGAN. **3D static strength prediction program, version 2.0 – user’s manual - Versão gratuita 6.0.4**. Ann Arbor: University of Michigan, Ergonomic Center, 2010. 122p.

VENDRAME, A. C., PIANELLI, C. **Vibrações em corpo inteiro em operadores de empilhadeiras**, 2008. 69p.



## ARTIGO 4

### ÍNDICES ERGONÔMICOS DOS SISTEMAS DE REVOLVIMENTO DE CAFÉ EM SECADORES DE CAMADA ESTACIONÁRIA

#### RESUMO

Os secadores de camada estacionária exigem o revolvimento da massa de grãos em intervalos regulares de tempo. O revolvimento é realizado com a utilização de enxadas e é considerado por muitos um árduo trabalho, mas podem ser usadas máquinas capazes de reduzir os esforços e o tempo de operação durante a secagem de produtos agrícolas. Por esse motivo, faz-se necessário avaliar e comparar ergonomicamente os diferentes sistemas de revolvimento manual e mecanizado em secadores de camada estacionária ou leito fixo. Objetivou-se com este trabalho avaliar a carga de esforço físico nos processos de revolvimento manual e mecanizado, nas rotações de 41,88; 52,36 e 62,83 rad s<sup>-1</sup>, em secadores de camada estacionária. Também foram avaliadas as cargas nas articulações devido ao uso do revolvedor e do revolvimento manual da massa de grãos de café no secador de camada estacionária. A avaliação do esforço ou carga física foi determinada tendo como base a frequência cardiovascular durante os processos de revolvimento. Foi observado que ao realizar o revolvimento com o protótipo revolvedor nas três rotações, a carga de trabalho físico foi considerada moderadamente pesada. Os revolvimentos manuais com enxadas dentro dos secadores de camada estacionária apresentaram cargas de trabalho pesadíssimas. As cargas cardiovasculares medidas durante o uso do revolvedor não superaram os 47%, por outro lado o revolvimento manual alcançou índices de 75,1%. A avaliação biomecânica foi realizada por meio de medição dos ângulos corporais e simulação da postura das operações de revolvimento. Os resultados mostraram que nas das duas posturas de trabalho com o revolvedor os valores de compressão nos discos intervertebrais L4/L5 e L5/S1 se mantiveram abaixo do limite mínimo. Por outro lado, os resultados para os revolvimentos manuais mostraram que as posturas de trabalho com pá ultrapassaram os valores de 73% da capacidade de força disponível nas articulações e foram

encontrados valores acima do limite não lesivo para a compressão dos discos intervertebrais L4/L5 e L5/S1.

Palavras chaves: Ergonomia, Mecanização Agrícola, Projeto de máquinas

**ARTICLE 4**  
**ERGONOMIC COMPARISON BETWEEN DIFFERENT METHODS OF**  
**MIXING COFFEE LAYER STATIONARY**

**ABSTRACT**

Stationary layer Dryers demand the grain mass revolving at regular intervals of time. This process is performed using hoes and it is considered by many people an arduous work, but this sort of work can be performed using machines able to reduce the efforts and the operation time during the drying process of agricultural products. Therefore, it is necessary to evaluate and compare, ergonomically, the different systems, manual and mechanized, in stationary layer dryers or fixed bed. This work aimed to evaluate the burden of physical effort in manual and mechanized processes at spinning speeds of 41.88, 52.36 and 62.83 rad s<sup>-1</sup> in stationary layer dryers. It was also evaluated the load in the joints due to the use of the mechanical homogenizer and the manual revolving of coffee grain mass in the stationary layer dryer. The evaluation of stress or physical load was determined based on the frequency of cardiovascular procedures during revolving process. It was observed that, when performing the revolving process using the mechanical homogenizer in three spinning speeds, the work physical load was considered moderately heavy. The manual revolving process using hoes inside the stationary layer dryers showed very heavy workloads. Cardiovascular rates measured using the mechanical homogenizer did not surpassed 47%. On the other hand, the manual revolving reached values of 75.1%. The biomechanical analysis was performed by measuring the body angles and simulation of the body posture in the revolving operations. The results showed that, for both body posture using the mechanical homogenizer, the values of compression in intervertebral discs L4/L5 and L5/S1 remained below the minimal limit. On the other hand, the results for the manual revolving process showed that the work body posture using hoes surpassed the 73% of the power capacity available in the joints and it was found values above the not harmful limit to the compression of intervertebral discs L4/L5 and L5 / S1.

Keywords: Ergonomics, Agricultural Mechanization, project engineer.

## 1. INTRODUÇÃO

Mesmo com as grandes dificuldades encontradas no setor, o Brasil se destaca na atividade cafeeira como o maior produtor e segundo mercado consumidor mundial (CONAB, 2010).

Uma das principais dificuldades nas regiões produtoras de café tem sido a crescente escassez de mão de obra, provocada pelas árduas na colheita e pós-colheita. A falta de trabalhadores eleva expressivamente o custo da mão de obra e os custos da atividade cafeeira (SILVA; REIS, 2001).

Com o objetivo de elevar o lucro da cafeicultura busca-se evitar fermentações indesejadas antes e durante a secagem. Como o café possui elevada concentração de açúcar e o teor de água em, aproximadamente, 60% b.u., pode ocorrer alta taxa de deterioração dos grãos e frutos logo após a colheita (JASPER *et al.*, 2008).

De acordo com Santos *et al* (2009), a despolpa mecanizada, via úmida, é utilizada no Brasil como uma forma contornar problemas climáticos e de infra-estrutura das propriedades rurais, favorecendo a redução dos gastos com energia, pois tem-se um menor volume de produto processado diminuindo o tempo de secagem (REINATO, 2003; BOREM *et al.*, 2008; CORADI, 2006).

O processo de secagem dos frutos de café é uma das etapas mais importantes e de elevado custo. Segundo Silva (2000a) até a década de 70, a secagem era feita por ventilação natural no campo ou em terreiros, no entanto, a partir dessa década os secadores por ventilação forçada tiveram grande impulso.

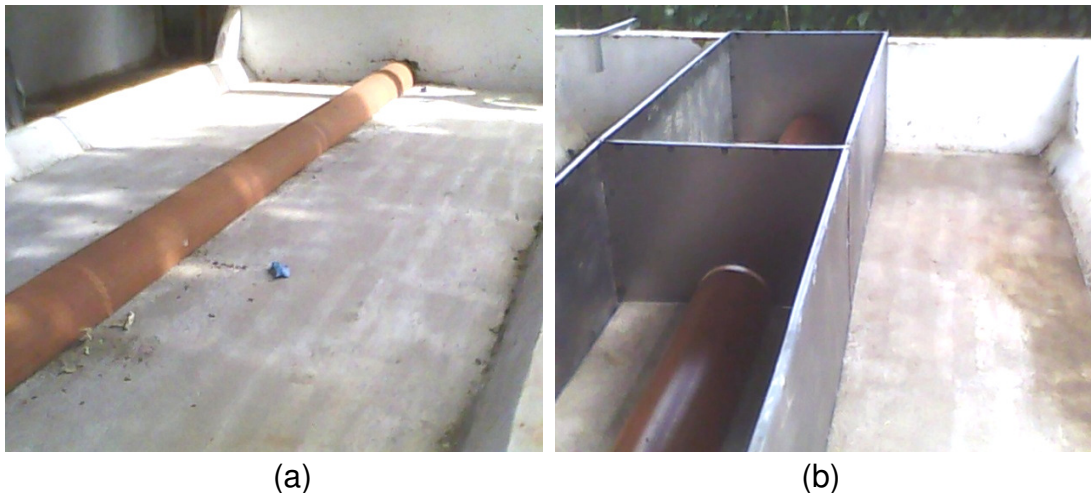
Os secadores mecânicos são equipamentos nos quais o ar aquecido, ou à temperatura ambiente, é forçado a passar através da massa de frutos, com ou sem intermitência no processo, até que o produto tenha um teor de água entre 11 e 12% b.u.. Segundo Coradi *et al.* (2008), não é recomendado ultrapassar 80° C para o ar de secagem, o que pode acarretar grãos de cor amarelada e a redução da qualidade final do produto.

Em função dos problemas decorrentes da utilização da secagem em terreiros somada à redução do custo de aquisição e manutenção dos

secadores de camada estacionária, estes se tornaram mais acessíveis aos produtores (ANDRADE *et al.*, 2000).

Secadores de camada estacionária podem ter ou não movimentação dos grãos, mas segundo Silva *et al.* (2000b), é recomendado fazer a movimentação em intervalos regulares de tempo entre as camadas, objetivando uma melhor homogeneidade do teor de água da massa de grãos.

Secadores de camada estacionária podem apresentar ou não a restrição lateral da câmara de secagem (Figura 1). Esta interfere na utilização de revolvedores mecânicos ou no revolvimento manual, mas possibilita minimizar a área utilizada como câmara de secagem dos grãos, por outro lado necessita de revolvimento intensificado.



(a) (b)  
FIGURA 1. Secador de camada estacionaria (a) sem restrição lateral e (b) com a adaptação da restrição lateral metálica.

O revolvimento realizado com a utilização de uma enxada é considerado por muitos um árduo trabalho humano, mas podem ser usadas máquinas capazes de dar maior agilidade, reduzindo os esforços, a exposição dos trabalhadores às más condições de trabalho e o tempo de operação. Este último apresenta-se como um fator importante quando se trata de condições climáticas adversas durante a secagem de produtos agrícolas (MAGALHÃES, 2003).

O revolvedor mecânico de café foi uma opção desenvolvida para realizar o revolvimento da massa de café dentro de secadores de camada estacionária. Esse revolvedor possui como princípio básico uma rosca transportadora trabalhando no interior de um duto (TEIXEIRA, 2002).

Pelos motivos supracitados, faz-se necessário avaliar ergonomicamente os diferentes métodos de revolvimento manual e mecanizado em secadores de camada estacionária.

Diversas leis e normas visam assegurar melhores condições de trabalho. As NR-15 (2008) e NR-17 (2007) possuem exigências mínimas que devem ser seguidas para condições de temperatura, iluminação, ventilação, níveis de ruído e vibração durante o trabalho.

Segundo Lida (2005), pode-se optar por uma Ergonomia de Concepção, que deve ocorrer na fase inicial de projeto, baseada em hipóteses e simulações, com o objetivo de evitar desgaste e acidentes com os operadores e desperdício de recursos pelos fabricantes. Já o estudo da biomecânica postural, com programas computacionais, é uma importante ferramenta na elaboração de simulações em relação à operação de máquinas e operadores.

Para estimar a carga de esforço durante o trabalho, pode ser utilizada a medida da frequência cardíaca que é expressa em batidas por minuto (bpm) (ALVES, 2001).

Os Altos níveis de vibração nas mãos impostos por máquinas podem causar dores de cabeça constante, insônia, esquecimento, irritabilidade, alterações na circulação sanguínea, depressão e impotência (FERNANDES; MORATA, 2002).

Compreender as relações entre os seres humanos e o trabalho para depois transformá-lo só é permitido após a realização de uma análise ergonômica (DANIELLOU *et al.*, 2004). A aplicação dos conhecimentos de anatomia, fisiologia e psicologia são utilizados na solução dos problemas surgidos dessas relações (IIDA 2005).

Objetivou-se com este trabalho a realização do estudo comparativo ergonômico considerando o revolvimento manual e o uso do revolvedor mecânico, avaliando a carga de esforço físico e as cargas nas articulações durante o revolvimento dos grãos de café no secador de camada estacionária com e sem restrição lateral da câmara de secagem.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Para realizar o estudo ergonômico das formas de revolvimento de grãos de café em secadores de camada estacionária com e sem restrição lateral da câmara de secagem, foram coletados dados durante as atividades dos operadores no processo de revolvimento dos grãos de café.

Os ensaios foram realizados na Área de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (DEA-UFV).

### 2.1 Avaliação da carga de trabalho físico por meio da frequência cardíaca

A avaliação de carga de trabalho foi realizada medindo-se a frequência cardíaca durante o processo de revolvimento dos grãos. Os dados foram coletados em intervalos de 30 segundos e analisados usando o sistema finlandês "Polar Eletro Oy" (HERMSDORFF, 2010). O transmissor foi fixado no trabalhador na altura do tórax e os sinais de frequência emitidos foram captados pelo receptor de pulso. A carga cardiovascular foi calculada pela Equação 1.

$$C_V = \frac{F_T - F_R}{F_M - F_R} 100 \quad \text{Eq.1}$$

em que

$C_V$  = Carga cardiovascular (%);

$F_T$  = Frequência cardíaca de trabalho (bpm);

$F_M$  = Frequência cardíaca máxima (220 – idade) (bpm);

$F_R$  = Frequência cardíaca de repouso (bpm).

Para uma  $C_V$  de 40%, a frequência cardíaca limite (FL) é obtida da Equação 2.

$$F_L = 0,40 (F_M - F_R) + F_R \quad \text{Eq. 2}$$

Para os casos em que a  $C_V$  é superior a 40%, o tempo de recuperação ( $T_r$ ), descanso ou de pausas foi determinado seguindo a Equação 3.

$$T_r = \frac{H_t (F_T - F_L)}{F_T - F_R} \quad \text{Eq. 3}$$

em que

$T_r$  = Tempo de repouso, descanso ou pausas, (minutos);

$H_t$  = Duração do trabalho (minutos).

A metodologia acima possibilita estabelecer os limites aceitáveis para o melhor desempenho do operador evitando que o coração eleve o envio de sangue para os músculos e resulte em problemas de irrigação sanguínea em outros órgãos.

De posse desses dados foi possível, então, calcular a carga cardiovascular no trabalho e classificá-la por meio da Tabela 1, conforme metodologia proposta por Simon (1997).

TABELA 1. Classificação da carga de trabalho físico através da frequência cardíaca (SIMON, 1997).

Carga de trabalho físico	Frequência cardíaca (bpm)
Muito leve	< 75
Leve	75 a 100
Moderadamente pesada	100 a 125
Pesada	125 a 150
Pesadíssima	150 a 175
Extremamente pesada	> 175

## 2.2 Avaliação biomecânica da atividade

A avaliação biomecânica foi realizada a partir da análise tridimensional, usando-se a técnica de gravação em vídeo. A gravação foi dividida em quadros de movimentos para a medição dos ângulos dos diversos segmentos corpóreos pelo programa Gimp 2.6 (Figura 2).

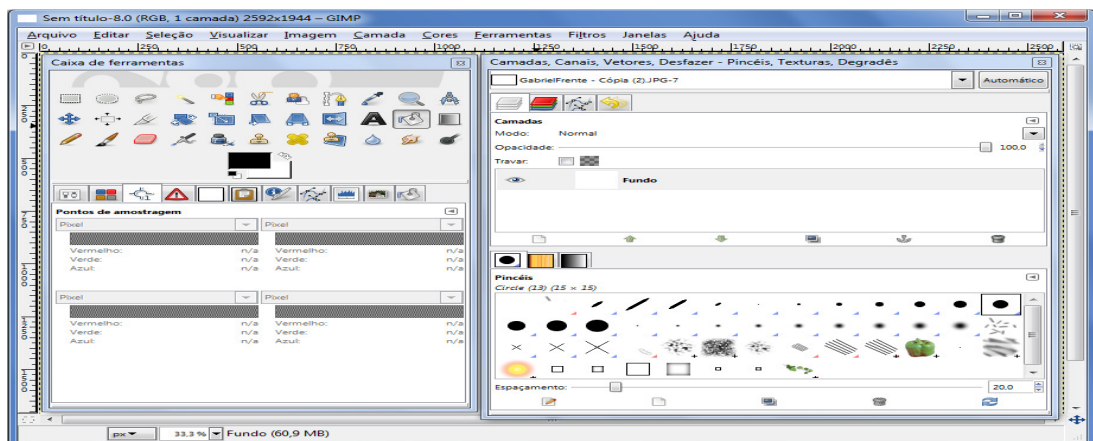


FIGURA 2. Tela de trabalho do software Gimp 2.6.



Cada quadro teve os segmentos corpóreos analisados quanto ao ângulo, sendo utilizada a técnica de fotogrametria e esses ângulos foram utilizados para representar as posturas durante as operações de revolvimento com protótipo revolvedor e a enxada (Figura 3).



FIGURA 3. Determinação do ângulo dos segmentos corporais durante o revolvimento mecanizado nas posturas do (a) Protótipo<sup>1</sup>, (b) Protótipo<sup>2</sup> e dos revolvimentos manuais (c) com e (d) sem restrição lateral da câmara de secagem, utilizando o software Gimp.

A partir da representação das posturas, as forças envolvidas foram mensuradas usando o programa computacional “3D Static Strength Prediction Program” (3DSSPP), versão gratuita 6.0.4 (Figura 4), desenvolvido pela Universidade de Michigan (2010). Com ele foi possível analisar a carga-limite recomendada (CLR) sem causar danos às articulações do corpo.

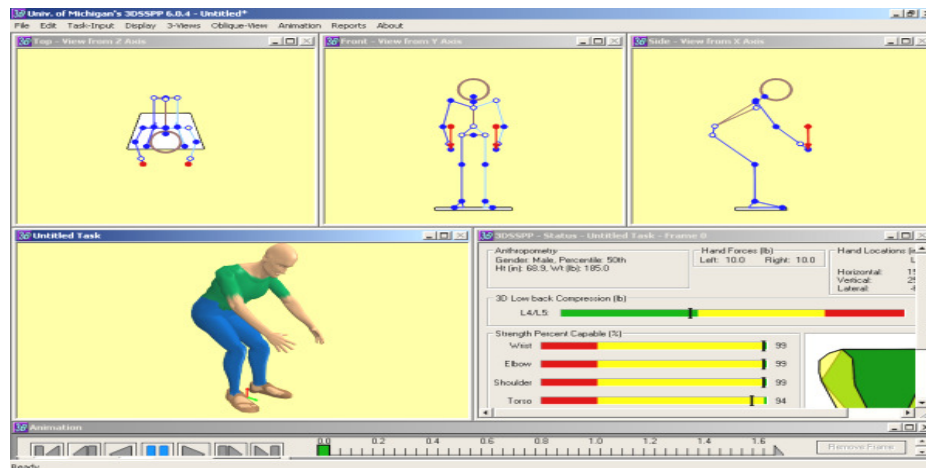


FIGURA 4. Tela do "3D Static Strength Prediction Program" (UNIVERSITY OF MICHIGAN, 2010).

A análise realizada pelo programa computacional fornece a carga-limite recomendada (CLR) correspondente ao peso que mais de 99% dos homens conseguem levantar sem causar danos às articulações do corpo; a carga-limite superior (CLS) que representa alto risco de lesão para determinada articulação, numa atividade em que menos de 25% das pessoas são capazes de realizá-la com segurança; a força de compressão no disco L4/L5 da coluna vertebral, com o valor máximo de 3425,0 N, o tolerável pela maioria dos trabalhadores jovens e em boas condições de saúde, correspondente à carga-limite de compressão no disco (CLCD). A carga-limite de compressão superior no disco (CLCS) é de 6361,0 N, os valores iguais ou superiores a esse podem causar sérios danos ao sistema osteomuscular, inclusive ruptura do disco intervertebral.

As posturas ensaiadas durante as operações de revolvimento manual e mecanizado estão discriminadas na Tabela 2.

TABELA 2. Legenda das nomenclaturas utilizadas para as posturas

Sigla	Descrição
Protótipo <sup>1</sup>	Primeira postura ensaiada durante o revolvimento com o revolvedor mecânico.
Protótipo <sup>2</sup>	Segunda postura ensaiada durante o revolvimento com o revolvedor mecânico.
Manual <sup>3</sup>	Primeira postura ensaiada durante o revolvimento manual em secador de camada estacionária sem restrição lateral.
Manual <sup>4</sup>	Segunda postura ensaiada durante o revolvimento manual em secador de camada estacionária sem restrição lateral.
Manual <sup>5</sup>	Primeira postura ensaiada durante o revolvimento manual em secador de camada estacionária com restrição lateral.
Manual <sup>6</sup>	Segunda postura ensaiada durante o revolvimento manual em secador de camada estacionária com restrição lateral.
Manual <sup>7</sup>	Terceira postura ensaiada durante o revolvimento manual em secador de camada estacionária com restrição lateral.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Carga física de trabalho

O processo de revolvimento demanda grande esforço físico por parte dos operadores rurais. Neste trabalho foi possível comparar ergonomicamente o revolvimento manual e mecanizado utilizando o protótipo revolvente, nos três níveis de rotações de trabalho, 41,88; 52,36 e 62,83  $\text{rad s}^{-1}$ , no secador de camada estacionária com e sem a restrição lateral da câmara de secagem.

Foram observadas que nas rotações de 41,88 e 52,36  $\text{rad s}^{-1}$  os valores de carga cardiovascular ( $C_V$ ) superaram os 40%, considerado o valor limite estabelecido por Simon (1997) (Tabela 3).

TABELA 3. Avaliação da carga física de trabalho exigido em função da rotação de trabalho na operação de revolvimento.

Condição		Idade (anos)	$F_T$ (bpm)	$F_M$ (bpm)	$C_V$ (%)	FCL (bpm)	Classificação do trabalho
Mecanizado	Rotação (rad $\text{s}^{-1}$ )						
	41,88	23	124,8	191,7	46,1	117,22	Moderadamente pesado
	52,36	23	122,5	191,7	44,3	117,22	Moderadamente pesado
	62,83	23	115,4	191,9	38,7	117,02	Moderadamente pesado
Manual	Com restrição	29	157,6	187,3	75,1	117,07	Pesadíssimo
	Sem restrição	29	155,3	187,3	73,1	117,07	Pesadíssimo

$F_T$ : Frequência cardíaca no trabalho;  $F_{CR}$ : Frequência cardíaca em repouso;  $F_M$ : Frequência cardíaca máxima;  $C_V$ : Carga cardiovascular; FCL: Frequência cardíaca limite.

De posse dos resultados quanto à classificação do trabalho pela  $C_V$ , é possível dizer que o revolvimento mecanizado apresentou as menores cargas em relação aos revolvimentos manuais. Isto indica que o revolvimento manual pode resultar em graves lesões ao longo dos anos dependendo da exposição diária do trabalhador.

Em trabalhos similares ao ensaiar coveadores mecânicos, Hermensdoff (2010) encontrou valores para as  $C_V$  inferiores aos 40%, o que classificou o trabalho como leve, já, Silva *et al.* (2007), encontraram valores de  $C_V$  superiores aos 50%, indicando a necessidade da adequação da

atividade. Freitas (2006), ao ensaiar um pulverizador costal manual, encontrou valores de  $C_V$  superiores aos 40% para 63,6% dos trabalhadores ensaiados.

Durante o revolvimento manual, os valores médios alcançados de 155,3 e 157,6 bpm, para os revolvimentos manuais com restrição e sem restrição lateral, respectivamente, foram expressivamente superiores ao FCL, indicando que os trabalhadores estão expostos às situações de riscos que podem comprometer a integridade de sua saúde, elevando a possibilidade de torná-los susceptíveis às DORT's, ao estresse, ao cansaço mental, a problemas cardiovasculares, entre outras patologias.

Por outro lado, os valores médios para a frequência cardíaca de trabalho ( $F_T$ ), quando o revolvimento foi realizado com o protótipo, também se encontraram levemente acima da FCL, o que pode ser resultado da falta de adaptação à operação do protótipo para realizar a atividade de revolvimento, sendo necessário um prévio treinamento para a operação do protótipo revolvedor. Os valores de 159 a 179 bpm obtidos por Silva *et al.* (2007), no ensaio de um coveador semi-mecanizado, mostraram-se bem superiores aos encontrados para o revolvedor.

Para os resultados em que os valores de  $C_V$  foram superiores à 40%, foi realizada a reorganização ergonômica do trabalho com pausas ou tempo de repouso ( $Tr$ ) a cada 8'30" de operação do revolvedor (Tabela 4).

TABELA 4. Capacidade operacional das operações de revolvimento

Revolvimento	Condições	Vol (m <sup>3</sup> )	Tr (min)	Co (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )
Mecanizado	41,88	2,4	1,12	15,00
	52,36	2,4	0,83	15,48
	62,83	2,4	0,00	16,90
Manual	Com restrição	2,4	2,70	12,83
	Sem restrição	2,4	2,44	13,11

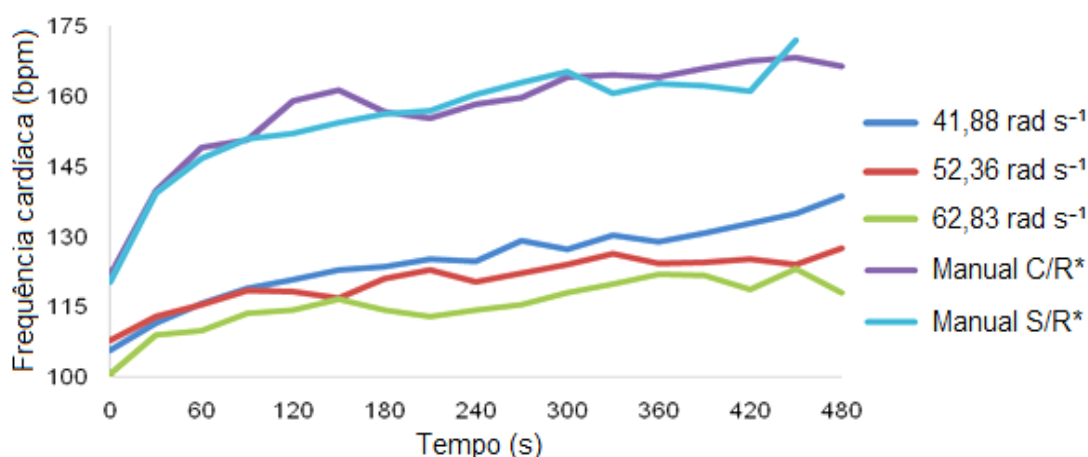
Vol: Volume revolvido; Co: Capacidade operacional; Tr: Tempo de repouso.

Ao observar o  $Tr$ , é importante salientar que os revolvimentos manuais apresentaram menores capacidades operacionais ( $Co$ ) quando comparados com os revolvimentos mecanizados, sendo que quanto menor o

Tr, maior será o tempo disponível de operação de revolvimntno, refletindo na maior Co.

O menor valor de Co ( $12,83 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ) foi encontrado no revolvimento manual com enxada no secador de camada estacionária com a restrição lateral. Já o revolvimento com o revolvedor na rotação de  $62,83 \text{ rad s}^{-1}$  apresentou o maior valor para a Co,  $16,90 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  (Tabela 4).

Ao se quantificar as frequências cardíacas dos operadores durante o processo de revolvimento manual e mecanizado (Figura 5), foram encontrados os maiores valores médios para as situações em que o revolvimento foi realizado de forma manual.



C/R\*: com restrição lateral; S/R\*: sem restrição lateral

FIGURA 5. Frequência cardíaca observada durante as atividades de revolvimento ensaiadas.

Ao observar a Figura 5 verifica-se que os valores de  $F_T$ , em todos os processos de revolvimento, aumentam com o decorrer da atividade, o que pode ser resultado da deficiência no preparo físico dos avaliados. Verifica-se também que as operações de revolvimento manuais apresentaram os valores de  $F_T$  superiores aos valores encontrados durante o revolvimento mecanizado.

De posse dos dados de  $F_T$  foi possível estimar equações que explicassem o comportamento da frequência cardíaca ao longo do processo de revolvimento nas três rotações do revolvedor e nos revolvimentos manuais, já que o tempo de revolvimento influenciou no desempenho dos operadores.

Com objetivo de prever o comportamento da  $F_T$  durante o processo de revolvimento, foram ajustadas regressões (Tabela 5) para os grupos de trabalhadores ensaiados.

O resumo da análise de variância de regressão da frequência cardíaca em função do tempo de trabalho dos operadores durante o revolvimntno mecânico e manual se encontra no Quadro 2A (Apêndice).

TABELA 5. Equações de regressão ajustadas para a  $F_T$  em função do tempo de trabalho dos operadores durante o revolvimento.

Revolvimento		Equações	$R^2$	
Mecanizado	Rotação (rad s <sup>-1</sup> )	41,88	$\log(FCT) = 2,0209 + 0,05825*\log(T)$	0,9052
		52,36	$\log(FCT) = 2,0080 + 0,05760*\log(T)$	0,9336
		62,83	$\log(FCT) = 2,0088 + 0,05793*\log(T)$	0,9303
Manual	Com restrição Lateral		$\log(FC) = 2,1070 + 0,08230*\log(T)$	0,9852
	Sem restrição Lateral		$\log(FC) = 2,0909 + 0,07686*\log(T)$	0,9892

\* Significativo ao nível de 5% de significância pelo teste t; T tempo

De posse dos resultados para o grupo estudado é possível observar que os operadores apresentaram crescimento para os valores de  $F_T$  com o aumento do tempo de operação.

### 3.2. Avaliação biomecânica

A avaliação biomecânica tem-se tornado importante, pois estima a sobrecarga postural, que por sua vez pode provocar lesões em músculos, ligamentos, fadiga muscular, transtornos músculo–esqueléticos e compressão de estruturas nervosas. As compressões nervosas nos níveis das vértebras L4/L5 e L5/S1 podem resultar em limitações de movimentos dos membros inferiores, pés e dedos, respectivamente.

#### 3.2.1. Compressão nos discos L4/L5 e L5/S1

As lesões nos tecidos moles e membros inferiores advindas da sobrecarga muscular são responsáveis por 12% das lesões na indústria. Os danos nas costas resultantes da compressão nos discos L4/L5 e L5/S1 representam 85 a 99% (COUTO, 1995; GONÇALVES, 1998).



As Figuras 6 e 7 demonstram os resultados da modelagem das posturas durante os processos de revolvimento manual e mecanizado para compressão dos discos L4/L5 e L5/S.

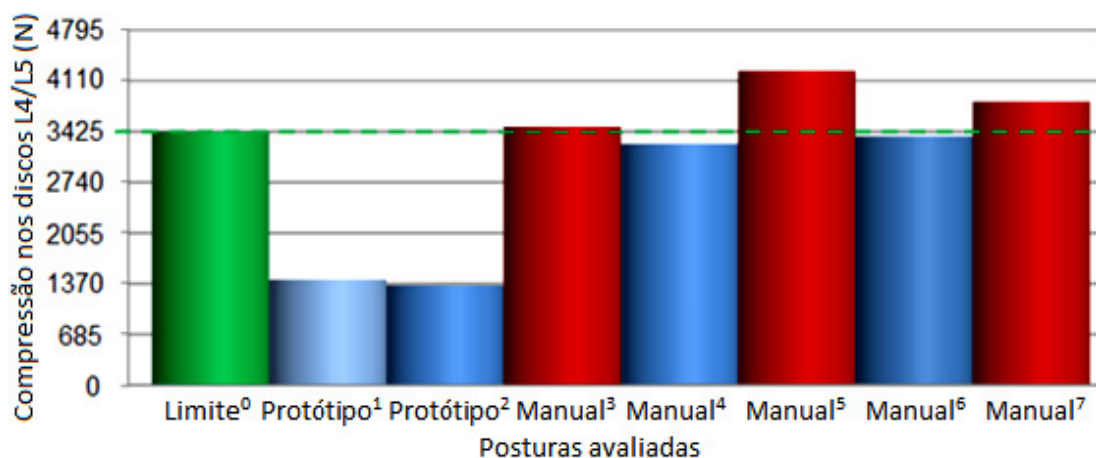


FIGURA 6. Compressão nos discos intervertebrais L4/L5 em função das posturas analisadas durante o revolvimento.

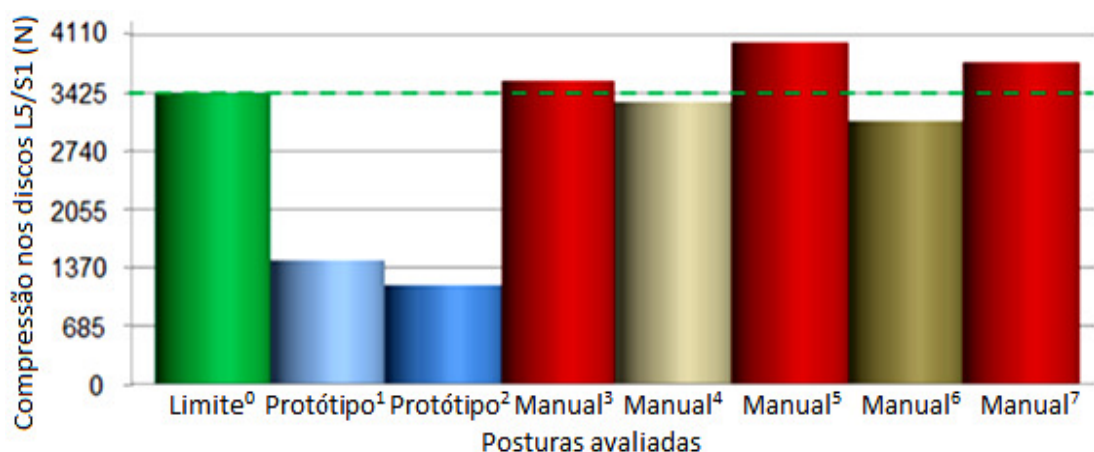


FIGURA 7. Compressão nos discos intervertebrais L5/S1 em função das posturas analisadas durante o revolvimento.

Nas Figuras 6 e 7 observa-se que as posturas durante os revolvimentos Manual<sup>3</sup>, Manual<sup>5</sup> e Manual<sup>7</sup> apresentaram valores de compressão superiores ao limite de 3425 N estabelecido pela University of Michigan. Isso pode resultar em riscos de lesões gravíssimas na coluna, resultando na perda dos movimentos dos pés e dedos. Por outro lado, as duas posturas avaliadas durante o revolvimento mecanizado com revolvedor, Protótipo<sup>1</sup> e Protótipo<sup>2</sup>, não alcançaram 42% do limite.

As posturas resultantes dos revolvimentos Manuais<sup>4</sup> e Manuais<sup>6</sup> apresentaram-se com valores próximos aos limites recomendados para compressão dos discos L4/L5 e L5/S, por esse motivo é recomendada a



adequação do ambiente de trabalho ou das ferramentas utilizadas durante o revolvimento manual com enxadas, evitando a fadiga muscular e possíveis lesões dos músculos e ligamentos.

O revolvedor mecânico foi responsável pela melhoria das condições de trabalho nas duas posturas ensaiadas em comparação com as posturas do revolvimento manual. Em trabalhos anteriores Hermsdorff (2010), ao ensaiar o protótipo de um motocoveador, encontrou valores que ultrapassaram o limite de compressão dos discos para algumas das situações ensaiadas.

### **3.2.2. Flexões dos segmentos**

Embora os resultados para compressão dos discos possam ser utilizados na tomada da decisão na necessidade ou não da adequação do trabalho, é importante realizar o estudo quanto à intensidade da flexão nos segmentos corpóreos.

O programa 3DSSPP<sup>®</sup> fornece o percentual da população capaz de executar as posturas ensaiadas e simuladas sem sofrer qualquer tipo de lesão. Segundo University of Michigan (2010), os resultados inferiores à 99% indicam que a operação requer adequação ergonômica com objetivo de amenizar ou solucionar os problemas relacionados à postura.

De acordo com a Tabela 6, observa-se que a postura durante a operação de revolvimento manual na câmara de secagem, Manual<sup>5</sup>, resultou em elevada flexão do tronco, o que representa o risco máximo de lesão.

Durante a operação do revolvedor na postura denominada Protótipo<sup>2</sup>, são preocupantes as condições do joelho, tornozelo e quadril, pois esses segmentos apresentaram percentuais de 66, 45 e 97%, respectivamente, o que pode acarretar em DORT dependendo do tempo de exposição (Tabela 6). Esse resultado deve-se ao fato do operador buscar uma postura mais firme, o que sobrecarrega estes segmentos, flexionando o joelho e o quadril e sobrecarregando os tornozelos. Logo é necessária uma modificação da postura alterando a flexão nesses segmentos.

Os ensaios de coveadores mecanizados e as simulações pelo programa 3DSSPP<sup>®</sup>, realizados pelos autores Silva *et al.* (2007) e Hermsdorff (2010), demonstraram que os segmentos quadril, joelho e


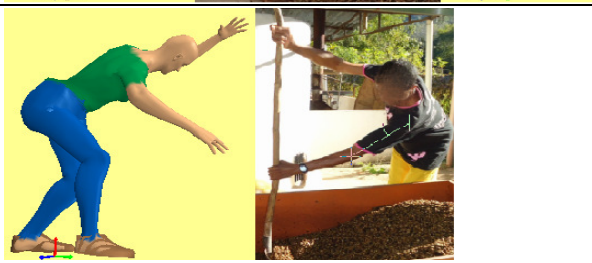
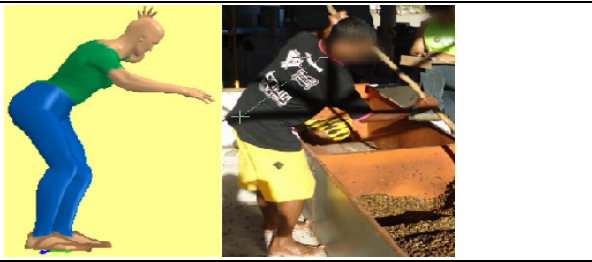

tornozelo também sofreram flexões que tornavam a atividade lesiva aos operadores.

TABELA 6. Foto, simulação e estimativa da população capaz de executar o revolvimento nas posturas estudadas sem ocorrer em lesão dos segmentos realizada no software 3DSSPP

Tipo de Revolvimento	Fotos e simulações no 3DSSPP	Estimativa	
		Segmento	%
Mecanizado com Postura 1 (Protótipo <sup>1</sup> )		Pulso	99
		Cotovelo	100
		Ombro	99
		Tronco	99
		Quadril	96
		Joelho	99
		Tornozelo	98
Mecanizado com Postura 2 (Protótipo <sup>2</sup> )		Pulso	98*
		Cotovelo	100
		Ombro	99
		Tronco	99
		Quadril	97*
		Joelho	66*
		Tornozelo	45*
Manual no secador de camada estacionária sem restrição lateral 1 (Manual <sup>3</sup> )		Pulso	97*
		Cotovelo	99
		Ombro	99
		Tronco	91*
		Quadril	60*
		Joelho	93*
		Tornozelo	86*

\*: Valores menores que o recomendado por 3DSSPP (UNIVERSITY OF MICHIGAN, 2010).

TABELA 6 (Continuação)

<p>Manual em secador de camada estacionária sem restrição lateral 2 (Manual<sup>4</sup>)</p>		<p>Pulso 97* Cotovelo 98* Ombro 99 Tronco 88* Quadril 38* Joelho 12* Tornozelo 27*</p>
<p>Manual no secador de camada estacionária com restrição lateral 1 (Manual<sup>5</sup>)</p>		<p>Pulso 93* Cotovelo 100 Ombro 96* Tronco 00* Quadril 61* Joelho 66* Tornozelo 83*</p>
<p>Manual no secador de camada estacionária com restrição lateral 2 (Manual<sup>6</sup>)</p>		<p>Pulso 93* Cotovelo 100 Ombro 99 Tronco 95* Quadril 39* Joelho 70* Tornozelo 77*</p>
<p>Manual no secador de camada estacionária com restrição lateral 3 (Manual<sup>7</sup>)</p>		<p>Pulso 94* Cotovelo 99 Ombro 94* Tronco 91* Quadril 55* Joelho 99 Tornozelo 99</p>

\*: Valores menores que o recomendado por 3DSSPP (UNIVERSITY OF MICHIGAN, 2010)

Como pode ser observado na Tabela 6, nos revolvimentos manuais os resultados não foram satisfatórios em nenhuma das posturas analisadas, Manual<sup>2</sup>, Manual<sup>3</sup>, Manual<sup>4</sup>, Manual<sup>5</sup>, Manual<sup>6</sup> e Manual<sup>7</sup>. Em alguns casos há possibilidade de danos irreversíveis. O revolvimento manual no secador de camada estacionária com restrição lateral, Manual<sup>5</sup>, alcançou para a flexão do tronco, 0,0% da população capaz de realizar tal movimento sem se lesionar. Outro dado importante é a elevada possibilidade de lesões nos quadris quando se realiza o revolvimento manual, o que não é verificado quando o revolvimento é feito de forma mecanizada com o protótipo revolvedor.

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados quanto à frequência cardíaca de trabalho, mostraram que a operação de revolvimento é árdua. Todas as operações de revolvimento ensaiadas apresentaram valores superiores às “frequências cardíacas limites”.

A carga de trabalho foi considerada moderadamente pesada quando o revolvimento foi realizado com o revolvedor e pesadíssima quando realizado revolvimento manual.

O revolvimento manual apresentou índices de carga cardiovascular de 75,1 e 73,1%. Estes foram superiores aos índices encontrados durante o revolvimento mecanizado, 46,1, 44,3 e 38,7%.

Com o tempo de repouso calculado foi possível obter a capacidade operacional máxima de  $16,90 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , esta foi encontrada na rotação da rosca transportadora de  $62,83 \text{ rad s}^{-1}$ , sendo que os menores valores foram encontrados no revolvimento manual,  $13,11$  e  $12,83 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ .

A compressão do disco L4/L5, nas duas posturas de revolvimento com o revolvedor se mantiveram a 42% abaixo do limite não lesivo (3425 N). Por outro lado, o revolvimento manual apresentou valores acima do limite, 3426, 4239 e 3824 N, o que pode resultar em lesões ao longo do tempo de exposição.

Durante o revolvimento manual, foi ultrapassado o valor limite de 3425 N para compressão do disco L5/S1, já o revolvimento mecanizado não ultrapassou a carga correspondente aos 1456 N.

Ao avaliar a porcentagem de pessoas capazes de realizar as posturas sem sofrer lesões, o revolvimento manual no secador de camada estacionária com restrição lateral apresentou situações totalmente lesivas aos quadris e troco. O revolvimento manual quando realizado no secador sem restrição lateral e o revolvimento mecanizado apresentaram condições de risco de lesão nos segmentos inferiores.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. U. **Avaliação do perfil e condições de trabalho de operários na atividade de propagação de *Eucalyptus spp.* em viveiros.** 2001. 106f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

ANDRADE, E. T. de; FILHO, D. O.; VIEIRA, G. Conservation potential of energy in the coffee pre-processing. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 2, n. 2, p. 71-82, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Atividades e operações insalubres.** NR15. Portaria No.43, de 11 de março de 2008(\*) (DOU de 13/03/08).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ergonomia.** NR17. Portaria n.13, de 21 de junho de 2007 (DOU de 26/06/07).

BOREM, F. M.; NOBRE, G. W.; FERNANDES, S. M.; PEREIRA, R. G. F. A.; OLIVEIRA P. D. de. Avaliação sensorial do café cereja descascado, armazenado sob atmosfera artificial e convencional. **Ciência Agrotécnica**. [online]. v. 32, n. 6, p. 1724-1729, 2008.

CONAB. Companhia nacional de abastecimento. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de café safra de 2009/2010, quarta estimativa, dezembro/2010.** Brasília, 2010.

CORADI, P. C. **Alterações na qualidade do café cereja natural e despulpado submetidos a diferentes condições de secagem e armazenamento.** Lavras, 2006. 75f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CORADI, P. C.; BOREM, F. M.; OLIVEIRA, J. A. Qualidade do café natural e despulpado após diferentes tipos de secagem e armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental [online]**. v. 12, n. 2, p. 181-188, 2008.

COUTO, H. A., **Ergonomia Aplicada ao Trabalho: O Manual Técnico da Máquina Humana**, Belo Horizonte: Ergo Editora, 1995. v. 1.

DANIELLOU, F. (org.). A ergonomia em busca de seus princípios: **Debates Epistemológicos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004. 200p.

FERNANDES, M.; MORATA, T. C. Estudos dos efeitos auditivos e extra-auditivos da exposição ocupacional a ruído e vibração. **Revista Brasileira de Otorrinolaringologia**, São Paulo, v. 68, n. 5, p. 168-173, 2002.

FREITAS, C. de S. **Análise ergonômica da atividade com pulverizador costal manual na cultura do café no município de Caratinga - MG.** 2006.

70f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Sustentabilidade), Centro Universitário de Caratinga, Caratinga.

GONÇALVES, M. Variáveis biomecânicas analisadas durante o levantamento manual de carga. **Motriz**, v. 4, n. 2, p. 85-90, 1998.

HERMSDORFF, W. L. **Desenvolvimento e avaliação ergonômica de um motocoveador hidráulico para plantio de espécies florestais**. Viçosa. 2010. 89f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

IIDA, I. **Ergonomia: Projeto e Produção**. 2. ed. São Paulo: Editora Blücher, 2005. 614p.

JASPER, S. P.; BIAGGIONI, M. A. M.; RIBEIRO, J. P. Performance of a drying system for small farmers. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.32, n.4, p.1055-1061, jul./ago, 2008.

MAGALHÃES, A. C. **Desenvolvimento e avaliação de uma máquina recolhedora de café em terreiro utilizando transporte pneumático**. 2003. 132f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

REINATO, C. H. R. Avaliação técnica, econômica e qualitativa do uso de lenha e GLP na secagem de café. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, Especial, n. 7, p. 3-13, 2003.

SANTOS, M. A.; CHALFOUN, S. M.; PIMENTA, C. J. Influência do preparo por via úmida e tipos de secagem sobre a composição física, físico química e química do café *Coffea arabica* L. **Ciência Agrotécnica**. [online]. 2009, v. 33, n. 1, p. 213-218.

SILVA, J. M. da; REIS, R. P. Custos de produção do café na região de Lavras/MG: Estudo de casos. **Ciência Agrotécnica**. Lavras, v. 25, n. 6, p. 1287-1294, nov/dez, 2001.

SILVA, J. S. **Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas**. 1. ed. Viçosa: Editora Aprenda Fácil, 2000a. 502p.

SILVA, J. S.; AFONSO, A. D. L.; DONZELES, S. M. L. Secagem em Secadores, In: **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Cap 5. 1. ed. Viçosa: Editora Aprenda Fácil, 2000b. 32p.

SILVA, E. P.; MINETTI, L. J.; SOUZA, A. P. Análise ergonômica do trabalho de coveamento semimecanizado para o plantio de eucalipto. **Scientia. Forestalis**., Piracicaba, n. 76, dez. p. 77-83, 2007.

SIMON, E. A. Temas de ergonomia aplicados al aumento de la productividad de la mano de obra en cosecha forestal. In: **Anais III Simpósio brasileiro sobre colheita e transporte florestal**, Vitória: SIF, p. 46-60, 1997.



TEIXEIRA, C. A.; **Metodologia para adequação do uso de força motriz em processos agrícolas.** 2002. 174f. Dissertação (Mestrado em Engenharia agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

UNIVERSITY OF MICHIGAN. **3D static strength prediction program, version 2.0 – user’s manual - Versão 6.0.4.** Ann Arbor: University of Michigan, Ergonomic Center, 2010. 122p.

## APÊNDICE A

QUADRO 1A. Resumo da análise de variância de regressão para as variáveis: capacidade real volumétrica de transporte ( $Q_a$ ) em função do teor de água dos grãos de café (U); eficiência de revolvimento (EV) em função da rotação de trabalho do revolvedor e do teor de água dos grãos de café (U); teor de água dos grãos de café (U) em função do tempo de secagem (T) e da rotação; e nível de ruído (Ru) em função da distância em cada nível de rotação.

FV	GL / Quadrados médios													
	GL	Cap (41,88 rad.s <sup>-1</sup> )	GL	Cap (52,36 rad.s <sup>-1</sup> )	GL	Cap (62,83 rad.s <sup>-1</sup> )	GL	EV	GL	Teor de Água	GL	Ru (41,88 rad.s <sup>-1</sup> )	Ru (52,36 rad.s <sup>-1</sup> )	Ru (62,83 rad.s <sup>-1</sup> )
Regressão	2	5,273*	2	7,653*	2	49,730*	3	1683,4**	3	3178,50*	1	876,07*	749,23*	710,95*
Resíduo	11	0,167	9	0,072	11	0,440	37	10	37	9,10	18	2,90	4,15	3,97

\* significativo ao nível de 5% de significância pelo teste F, Ru Ruído (db), \*\* significativo ao nível de 15% significância pelo teste F

QUADRO 2A. Resumo da análise de variância de regressão da frequência cardíaca em função do tempo de trabalho dos operadores da secadora de café em cada rotação.

FV	GL	Quadrado médio				
		Revolvimento mecanizado com revolvedor			Revolvimento manual com enxadas	
		(41,88 rad.s <sup>-1</sup> )	(52,36 rad.s <sup>-1</sup> )	(62,83 rad.s <sup>-1</sup> )	Com restrição	Sem restrição
Regressão	1	0,0715**	0,0699**	0,0707**	0,1459**	0,1220**
Desvio	15	0,00049	0,00033	0,00035	0,00013	0,00095

\*\* = significativo ao nível de 1% de significância pelo teste F