

BRUNO BATISTA DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA MÁQUINA DE LIMPEZA A AR E ROLETES
• PARA FRUTOS DE CAFÉ DERRIÇADOS**

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
2017

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

Silva, Bruno Batista da, 1987-

S586d
2017

Desenvolvimento de uma máquina de limpeza a ar e roletes
para frutos de café derriçados / Bruno Batista da Silva. – Viçosa,
MG, 2017.

ix, 49 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Mauri Martins Teixeira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 42-49.

1. Máquinas agrícolas - Projetos. 2. Café - Processamento.
3. Café - Tecnologia pós-colheita. I. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 631.3

BRUNO BATISTA DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA MÁQUINA DE LIMPEZA A AR E ROLETES
PARA FRUTOS DE CAFÉ DERRIÇADOS**

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: 10 de novembro de 2017.



Marcus Vinicius Morais de Oliveira



Edney Leandro da Vitoria



Mauri Martins Teixeira
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Sebastião Batista da Silva e Marlene Diogo Batista da Silva, por todo amor, carinho e educação que me deram durante todos esses anos, e aos meus irmãos Mychele Batista da Silva e Diego Allan Batista da Silva, pelo companheirismo.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial o Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade do desenvolvimento desse trabalho.

Ao professor Mauri Martins Teixeira, pela orientação, conselho e confiança para a realização deste trabalho.

Aos meus conselheiros, professores Haroldo Carlos Fernandes e Paulo Roberto Cecon, pela ajuda e conselho.

O Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro.

Ao funcionário da UFV, do Departamento de Engenharia Agrícola, Marcelo do Carmo Freitas, pela ajuda durante a montagem do protótipo.

Aos colegas da pós-graduação do DEA, pela companhia e ajuda, principalmente, ao Rubén Ruiz, Gustavo Sant'Ana, Felipe Gustavo, Luan Briosche, Tiago Furtado, Marco Zanella, Matheus Aguiar, Paulo Forastiere, Jessica Pontes e Cleonice Campos, por auxiliarem na realização do experimento.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

Bruno Batista da Silva, filho de Sebastião Batista da Silva e Marlene Diogo Batista da Silva, nasceu em São Paulo/SP, no dia 29 de junho de 1987.

Ingressou no curso de Engenharia Mecânica, na Universidade Paulista, no ano de 2009, e concluiu em janeiro de 2015.

Em agosto de 2015 ingressou no programa de Pós Graduação - Stricto Sensu - em Engenharia Agrícola, em nível de mestrado, na área de concentração Mecanização Agrícola, no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de dissertação em novembro de 2017.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE QUADROS.....	vii
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 – Economia e produção do café.....	4
2.2 – Cafeicultura de montanha.....	5
2.3 – Etapas da colheita de café.....	6
2.4 – Tecnologias para a limpeza do café.....	8
2.5 – Metodologia de projetos de máquinas.....	9
2.6 – Modelagens de produtos.....	12
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1 Local de construção do protótipo.....	14
3.2 Metodologia do novo projeto da máquina de limpeza.....	14
3.2.1 Otimização da máquina de limpeza.....	14
3.2.2 Etapas do novo projeto da máquina de limpeza.....	15
3.2.3 Projeto da máquina em software CAD.....	17
3.3 Ensaio da máquina de limpeza.....	18
3.4 Avaliação das características da máquina.....	19
3.4.1 Capacidade operacional.....	19
3.4.2 Eficiência de limpeza.....	21
3.5 Determinação da velocidade do ar na coluna pneumática.....	24
3.6 Análise estatística.....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
4.1 Modificações da máquina de limpeza dos frutos de café.....	27
4.1.1 Sistema de transmissão.....	27
4.1.2 Estrutura metálica da máquina de limpeza.....	28
4.1.3 Sistema de alimentação.....	29
4.1.4 Coluna pneumática.....	30
4.1.4.1 Ventilador centrífugo.....	31
4.1.5 Montagem da máquina de limpeza dos frutos de café.....	32

4.2 Desempenho operacional da máquina	33
4.2.1 Capacidade operacional da máquina	34
4.2.2 Eficiência da máquina de limpeza	36
5. CONCLUSÃO	40
6. RECOMENDAÇÕES	41
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Derrichamento de frutos de café manualmente(a)	5
Figura 1 - Frutos de café derriçados no pano (b).	5
Figura 2 - Recolhimento do café derriçado.....	7
Figura 3 - Máquina abanadora de frutos de café a ar e peneira.	8
Figura 4 - Processos de desenvolvimento do produto.	10
Figura 5 - Protótipo da máquina de abanação de frutos de café.	15
Figura 6 - Etapas do processo de limpeza do produto.	15
Figura 7 - Roletes da mesa separadora da máquina de limpeza.....	16
Figura 8 - Esboço do sistema de abanação do protótipo.....	17
Figura 9 - Esboço do sistema de ventilação do protótipo.	17
Figura 10 - Esboço do protótipo da nova máquina de limpeza do café derriçado.....	17
Figura 11 - Protótipo da máquina de limpeza do café derriçado em 3D.	18
Figura 12 - Inversor de frequência modelo CIMR- V7AA21P5	20
Figura 13 - Tacômetro marca MINIPA.....	20
Figura 14 - Balança para a pesagem das amostras e das cargas de produto.	23
Figura 15 - Balança de precisão marca Toledo.....	24
Figura 16 - Termo-anemômetro digital marca Vectus.....	25
Figura 17 - Engrenagem dos roletes da mesa de separação de impurezas.....	27
Figura 18 - Eixo sem-fim da máquina de limpeza.....	28
Figura 19 - Estrutura metálica da máquina de limpeza.....	28
Figura 20 - Moega de alimentação da máquina de limpeza.....	29
Figura 21 - Calha de saída de frutos da máquina de limpeza	30
Figura 22 - Transição da coluna pneumática da máquina de limpeza	30
Figura 23 - Coluna pneumática da máquina de limpeza.....	31
Figura 24 - Diafragma do ventilador centrífugo	32
Figura 25 - Montagem da máquina de limpeza de frutos de café.....	33
Figura 26 – Capacidade operacional específica da máquina em função da carga aplicada e da velocidade angular dos roletes.	35
Figura 27– Eficiência de limpeza da máquina.	38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Índice de maturação dos frutos de café.....	33
Quadro 2 - Análise de variância da regressão referente à avaliação estatística dos dados coletados da Capacidade Operacional da máquina em função da variação das cargas volumétricas aplicadas e da variação das velocidades angulares da máquina de limpeza dos frutos de café.....	34
Quadro 3 - Parâmetros da regressão referente ao modelo que melhor expressa o comportamento da Capacidade Operacional da máquina em função da variação das cargas volumétricas aplicadas e da variação das velocidades angulares no eixo dos roletes da máquina de limpeza dos frutos de café.....	34
Quadro 4 - Resultados da capacidade operacional da máquina de limpeza dos frutos de café, em $m^3 m^{-2} h^{-1}$, em função da velocidade angular dos roletes da mesa separadora	34
Quadro 5 - Análise de variância referente à avaliação estatística dos dados coletados da eficiência de limpeza da máquina diante da variação das cargas aplicadas e da variação da vazão de ar na máquina de limpeza dos frutos de café.....	37
Quadro 6 - Parâmetros da regressão referente ao modelo que melhor expressa o comportamento da eficiência de limpeza da máquina diante da variação das cargas aplicadas e da variação da vazão de ar na máquina de limpeza dos frutos de café.....	37
Quadro 7 - Resultado da eficiência da máquina de limpeza dos frutos de café, em porcentagem.....	37

RESUMO

SILVA, Bruno Batista, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2017. **Desenvolvimento de uma máquina de limpeza a ar e roletes para frutos de café derriçados.** Orientador: Mauri Martins Teixeira. Coorientadores: Haroldo Carlos Fernandes e Paulo Roberto Cecon.

O Brasil é o maior produtor de café no mundo e o Estado de Minas Gerais é o maior produtor de café do país. Na região da Zona da Mata mineira o cultivo de café realiza-se predominantemente em locais de regiões montanhosas. Para as etapas de colheita, com declividade acentuada, como: arruação, derriça, varrição, recolhimento, abanação e transporte, encontra-se escassa a mão de obra trabalhadora. A etapa de abanação é um dos processos mais onerosos e exige muito tempo durante o dia de trabalho para a retirada de impurezas dos frutos derriçados. Nesse contexto, objetivou-se com este trabalho desenvolver uma máquina de limpeza dos frutos do café após seu derriçamento. A máquina aprimorada foi projetada empregando-se um sistema diferenciado de limpeza dos frutos do café, conjugando o uso de uma mesa separadora, constituída de roletes, e de uma coluna pneumática com ventilador centrífugo, visando oferecer ao produtor uma alternativa ao processo de limpeza do café. Com isso, espera-se tornar o sistema mais eficiente, bem como diminuir os custos e o tempo requerido nessa etapa de produção. Foram utilizados frutos de café da região da Zona da Mata, provenientes do município de Teixeiras, Minas Gerais, da espécie café arábica e variedade catuaí vermelho. O produto utilizado foi derriçado manualmente no pano e, em seguida, colocado no terreiro para realização dos testes. Foram estudados os efeitos da separação de impurezas em duas etapas. A etapa inicial do processo consistiu em analisar a capacidade operacional com diferentes cargas volumétricas. Na etapa seguinte avaliou-se a eficiência de limpeza da máquina com base em diferentes condições de carga e vazão de ar, para diferentes teores de impurezas. Com base nos resultados obtidos nos testes, pôde-se concluir que a máquina proporcionou uma capacidade operacional máxima de $18,07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ e uma eficiência de limpeza máxima próxima de 89,30% do produto analisado.

ABSTRACT

SILVA, Bruno Batista, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, November, 2017.
Development of an cleaning machine with air and rollers for melted coffee fruits.
Advisor: Mauri Martins Teixeira. Co-Advisors: Haroldo Carlos Fernandes and Paulo Roberto Cecon.

Brazil is the largest coffee producer in the world with Minas Gerais (MG) state being the largest producer of coffee in the country. In the region of Zona da Mata- MG, coffee trees is predominantly grown in the hills. The harvest steps: stripping, cleaning, selection, and transport in mountainous regions are often labor-intensive. The cleaning step is one of the most costly processes and requires long hours to remove impurities from the picked cherries. The objective of this study was to develop a coffee cherries cleaning machine, after the picking process. The cleaning machine was designed using a differentiated coffee cherry cleaning system. It is composed of a table that separated ripe beans, rollers, and a pneumatic column with centrifugal fan. This is expected to make the system more efficient and still reduces the costs and time required on this stage of production. In Teixeiras city-MG, ripe coffee beans from Arabica species and the red Catuai variety were used. The product used was manually stripped over a cloth and placed on the terrace to perform the tests. The tests consisted of two stages to separate impurities. The first stage of the process consisted in analyzing the operational capacity of the machine with different bulk loads. In second step, machine efficiency of cleaning based on different conditions of load and air flow in different levels of impurities was tested. Based on the results obtained in the tests. We concluded that the machine provided a maximum operating capacity of $18.14 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ and a maximum cleaning efficiency of approximately 90.9% of the analyzed product.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil mantém a posição de maior produtor e exportador mundial de café e de segundo maior consumidor do produto. Majoritariamente, o cultivo está presente nos estados de Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Rondônia, Paraná e Goiás, e corresponde a 98% da produção nacional. O Espírito Santo destaca-se em café conilon (*Coffea canephora*), e Minas Gerais em café arábica (*Coffea arabica*) (MAPA, 2017).

Nos últimos anos, a demanda por cafés de alta qualidade vem crescendo muito. Ao mesmo tempo, o setor cafeeiro vem investindo com mais intensidade na produção de cafés diferenciados, com a finalidade de atender esse mercado consumidor (SANTOS; WEISS, 2015).

Segundo Gomes; Rosado (2005), o processo de globalização resultou na expansão econômica do mercado brasileiro, aumentando os investimentos em toda a cadeia produtiva da cafeicultura. Isso decorreu de um investimento maior no setor produtivo para obter produtividades mais significativas e também contribuir para manter expressiva influência desse setor nos mercados nacionais e internacionais.

O café arábica é um dos principais produtos da Zona da Mata mineira, sendo responsável pela geração de renda e emprego. Porém, nos últimos anos, a carência de mão de obra tem agravado a situação da cultura, não somente no Estado de Minas Gerais, mas em toda região em que a colheita do café é feita de forma manual ou semimecanizada (SANTOS, 2016).

Por se tratar de uma cultura que apresenta custos de produção elevados, uma das opções da cafeicultura moderna é a otimização dos processos, aumento da produtividade e consequente redução dos custos (SANTINATO *et al.*, 2014).

Para isso, a mecanização vem se desenvolvendo cada vez mais nas diferentes etapas do ciclo produtivo do café, possibilitando a substituição da mão de obra manual pela mecanização das lavouras (FERNANDES *et al.*, 2012).

Em regiões nas quais as lavouras e topografias são favoráveis, a mecanização, nas mais diferentes operações, desenvolve-se rapidamente. Além disso, máquinas trabalhando dentro do setor agrícola são uma alternativa para o país continuar aumentando sua produção de café.

Entretanto, introduzir novos projetos de máquinas voltados à cafeicultura de montanha ainda é um desafio para os pesquisadores e produtores devido à dificuldade de

se trabalhar com máquinas para a colheita em regiões com declividade excessiva (CUNHA *et al.*, 2016).

A colheita é processo muito árduo para o trabalhador, principalmente em áreas de maior declividade, que necessita de máquinas para facilitar seu trabalho diário. Assim, quanto mais seu trabalho for otimizado, melhor é sua eficiência em cada etapa da colheita.

Nesse processo, as atividades de colheita do café podem ser organizadas em etapas, sendo elas: arruação, derriça, recolhimento, varrição, abanação e transporte. A arruação consiste na limpeza da área ao redor e sob o cafeeiro; a derriça é a retirada do fruto da planta; o recolhimento trata da operação de ajuntamento do café derriçado sobre o lençol plástico; a varrição é a operação de amontoamento ou recolhimento, após a derriça do café caído no chão, por terem secado na planta; a abanação refere-se à retirada das impurezas do café por meio de peneiras manuais ou máquinas abanadoras; o transporte, por sua vez, consiste no envio dos frutos para o terreiro (BIAGGION, 2015).

Pode-se dizer que, após a derriça, a abanação é a etapa que requer, além de bastante esforço humano, muito tempo de trabalho, chegando a 15% do tempo gasto nas atividades da produção total. Isso ocorre porque é necessário grande esforço físico para separar os frutos de café das impurezas (galhos, folhas e impurezas menores) (SILVA, 2016).

Desse modo, torna-se mais viável, economicamente, fazer o peneiramento por vibração e/ou com o auxílio de fluxo de ar usando ventiladores centrífugos para formar a coluna pneumática. Entretanto, existem sistemas de limpezas de frutos de café apenas com peneiras ou usando a coluna pneumática.

A velocidade do ar ou a vibração, de certa forma, é responsável por simular o processo manual de abanação do café, limpando e proporcionando a separação dos frutos e das impurezas, removendo parte destas.

O sistema de vibração para limpeza de frutos de café ocorre em sua maioria por peneiras vibratórias. O processo consiste em separar os frutos das impurezas mediante os movimentos alternados das peneiras. Ou seja, os frutos de café são conduzidos da parte superior para as partes inferiores, enquanto a impureza é conduzida para fora da máquina.

Segundo Mesquita *et al.* (1977), o sistema de limpeza por coluna pneumática baseia-se na velocidade do ar, na qual o produto sofre pressões decorrentes de um fluxo. Como a densidade dos frutos é superior às impurezas dos frutos de café (folhas, ramos e outras impurezas), a passagem deles por fluxos incessantes do ar faz com que se obtenha o trabalho de separação. Ou seja, a corrente de ar é responsável por separar as impurezas

leves dos frutos de café, conduzindo-as para fora da máquina, obtendo-se no final do processo frutos mais limpos e prontos para as outras etapas da pós-colheita.

Desse modo, máquinas que utilizam métodos de peneiramento e/ou coluna pneumática necessitam de um estudo para sua projeção. São necessárias análises teóricas do produto direcionadas à modelagem e simulação em softwares, com intuito de estabelecer condições ideais para se iniciar o processo de fabricação da máquina. Isso possibilita obter informações que contribuam para a melhoria das condições de trabalho, procurando não só propiciar mais eficiência ao sistema, mas também rentabilidade na produção agrícola (JAVAREZ, 2013).

Nesse sentido, os *softwares* de CAD (Desenho Assistido por Computador), por exemplo, empregados na projeção da máquina, começaram a ser desenvolvidos na década de 70, tendo seu aperfeiçoamento no ambiente virtual (DINIZ *et al.*, 2013). O CAD é um recurso para projetos de Engenharia e Arquitetura, sendo que, hoje, a maioria das indústrias que necessitam de fabricação e montagem de peças, utiliza os desenhos em formato 3D. Esse tipo de *software* tem sua importância na evolução da indústria, ao diminuir tempo e custo de projetos, e melhorar a confiabilidade do mesmo (MIRALLES, 2009).

Diante do exposto, e como forma de contribuir para aperfeiçoar uma das etapas da colheita do café, objetivou-se realizar a limpeza mecanizada de frutos do café utilizando um sistema de abanação e conjugando o uso de uma mesa separadora por roletes e uma coluna pneumática com ventilador centrífugo. Visa-se, com isso, oferecer ao produtor uma alternativa para aumentar a eficiência do processo de limpeza do café, bem como diminuir os custos e o tempo requerido nessa etapa de produção. O *software CAD* será utilizado para iniciar a análise de projeto do protótipo.

Além disso, pretendeu-se com este projeto:

- Projetar a máquina de limpeza a ar e mesa separadora por roletes;
- Construir e montar o protótipo da máquina de limpeza;
- Determinar as características técnicas da máquina de limpeza;
- Avaliar a capacidade operacional e eficiência de limpeza da máquina.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 – Economia e produção do café

O Brasil há vários anos tem-se notabilizado como o maior produtor, exportador e segundo maior consumidor de café, em nível mundial. A estimativa da produção de 2016/17 indica mais de 55,44 milhões de sacas por ano, com aumento de 9,2 % da safra anterior, sendo que 31,58 milhões de sacas por ano são de exportações (OIC, 2017).

Segundo a CONAB, em 2017, apenas o Estado de Minas Gerais foi responsável por 25,7 milhões de sacas dessa produção, no qual a região mais produtiva é a Zona da Mata, que obteve um aumento de 19,6% de café em relação à safra anterior.

Com esses dados, observa-se uma grande escala produtiva da cultura de café. No entanto, grande parte dessa produção é mantida com a mão-de-obra do trabalhador rural, utilizando processos manuais e/ou mecanizados, buscando uma colheita de melhor qualidade e eficiência.

Contudo, as práticas manuais acarretam um custo operacional total (COT) elevado, dos processos de colheita e pós-colheita alcança a média a R\$ 472,01 por saca, no ano 2015. Porém, com a utilização de máquinas, o custo ficou em média R\$ 353,54 por saca, no mesmo período (CNA, 2015).

Segundo Santinato (2014), alguns fatores contribuem para essa discrepância de custos, principalmente a pouca utilização de tecnologias na cafeicultura em regiões com declividade. Desse modo, o trabalho no campo torna-se bastante oneroso, pois a maioria dos trabalhadores rurais utilizam suas atividades de colheita de forma braçal (Figura 1).



(a)

(b)

Figura 1 - Derruçamento frutos de café manualmente (a) e Frutos de café derruçados no pano (b).

Para esse processo oneroso de mão-de-obra braçal e menos produtivo do que sistemas mecanizados, os empresários do setor rural optam por utilizar máquinas durante a colheita dos frutos de café, buscando a redução dos custos de produção da cultura, aumentando o lucro financeiro e redução de perdas (OLIVEIRA *et al.*, 2007).

Além disso, a mecanização na agricultura gera uma diferença significativa de tempo e custo para quem a utiliza, bem como proporciona ao agricultor uma atividade mais constante de produção e manter a demanda de vendas do produto.

2.2 – Cafeicultura de montanha

O cafeeiro em regiões montanhosas está sujeito a condições específicas de solo e clima, além de altitudes elevadas e temperaturas amenas. Essas regiões caracterizam-se por possuir solos de média fertilidade, devido à boa distribuição das chuvas, ao contrário das regiões mais planas, que são mais secas e com solos de baixa fertilidade natural (LEPSCH, 2016; PORTUGAL *et al.*, 2010). Essas condições podem, em alguns casos, influenciar na maturação dos frutos e no tempo ideal para a colheita, interferindo na qualidade e no sistema de produção de frutos de café arábicos (ALVES, 2005; MARTINS *et al.*, 2015).

Segundo Inaes (2010), as regiões do Sul e da Zona da Mata mineira possuem relevos mais acidentados do que em outras regiões do Estado de Minas Gerais. Entretanto, a produção de café dessas regiões, em seu conjunto, pode chegar a 70% de todo estado, com mais de 220 municípios envolvidos com sua cafeicultura.

Contudo, segundo Frederico (2013), o elevado custo de produção de café em regiões montanhosas, é influenciado pela escassez e elevado custo da mão de obra, um dos principais problemas enfrentados pela cafeicultura local.

A falta de mão-de-obra na região de montanha tem obrigado os produtores a buscar trabalhadores rurais em áreas fora das localidades em que se desenvolve a cultura, o que aumenta o custo de produção (SOUZA *et al.*, 2015).

A necessidade de suprir a carência de mão de obra requerida para os tratos culturais do café e a pouca viabilidade de máquinas para operar em regiões montanhosas incentiva o desenvolvimento de equipamentos adaptados ao trabalho nessas regiões (INAES, 2010).

2.3 – Etapas da colheita de café

A colheita dos frutos de café é uma das atividades mais importante do processo produtivo, requerendo atenção em cada etapa para se evitar desperdício e proporcionar melhor qualidade do produto (TAVARES *et al.*, 2016). Basicamente são seis etapas requeridas durante a colheita, que podem ser definidas como: arruação, derriça, recolhimento, varrição, abanação e transporte (SOUZA *et al.*, 2006).

A arruação é a parte inicial da colheita que consiste na limpeza da área ao redor e sob o cafeeiro, iniciando-se quando os frutos estão próximos à maturação, antes de começarem a cair. Consiste em fazer uma limpeza em baixo da planta do cafeeiro, seja com rastelo ou rodo de madeira, para evitar corte das raízes. Para Pereira *et al.* (1999), quando os cafeeiros apresentarem cerca de 80 a 90% dos frutos no estágio cereja, deve-se iniciar a colheita dos frutos evitando perdas de peso e qualidade.

A derriça manual ou mecânica é a etapa relacionada à retirada dos frutos maduros. O processo pode ser feito várias vezes dependendo das condições da planta ou do fruto. Sendo que, para Souza *et al.*(2006), o derriçamento semimecanizado de frutos de café tem 1,4 vez mais capacidade do que o derriçamento manual.

O recolhimento (Figura 2), por sua vez, envolve um processo simples de ajuntamento do café derriçado sobre o lençol plástico. Normalmente é feito manualmente,

mas em alguns lugares podem ser empregadas máquinas recolhedoras. Entretanto, Silva *et al.*(2007) afirmam que é essencial a varrição, pois a cada duas passadas na colheita, cerca de 10 a 20% do volume derriçado e colhido cai no chão.



Figura 2 – Recolhimento do café derriçado.

A varrição é a operação que consiste em recolher os frutos de café caídos no chão após o derriçamento, sendo normalmente uma operação braçal, feita após o repasse no caso da colheita manual ou mecanizada.

A abanação é o processo de retirada das impurezas do café varrido ou derriçado, por meio de peneiras manuais ou máquinas abanadoras, são retiradas folhas, gravetos, torrões, pedras etc. Sendo que para Rigitano (1975), o tempo gasto de um trabalhador rural, utilizando seu trabalho manualmente pode chegar até 15% durante toda a etapa da colheita.

Entretanto, pode-se dizer que, entre as etapas apresentadas, o sistema de abanação é a que exige maior esforço humano, além de requerer um tempo maior de operação, para separar os frutos de café das impurezas (galhos, folhas e impurezas menores) (MAGALHÃES, 1999).

Para Silva *et al.* (2013), a separação das impurezas pode evitar contaminações por micro-organismos e suas consequências. A eliminação das impurezas evita possíveis problemas no uso dos lavadores e nas operações subsequentes, em razão do alto custo de energia, desgaste de ferramentas e mão de obra nessas operações.

Contudo, após a limpeza por abanação, deve-se passar, o mais rápido possível, por um lavador para a retirada de material fino aderido à superfície dos frutos e à

separação dos frutos e materiais estranhos por diferença de densidade, como os frutos cerejas, verdes e secos (RIGUEIRA *et al.*, 2010).

Ainda há o transporte, uma das últimas etapas da colheita de frutos de café, que consiste no envio dos frutos que estão na lavoura para o terreiro, dando continuidade ao processo de pós-colheita.

2.4 – Tecnologias para a limpeza do café

A mecanização da cafeicultura em áreas com grande declividade ainda é um desafio para os pesquisadores e produtores devido à dificuldade em se trabalhar com as máquinas, as quais auxiliam e agilizam o processo de colheita, bem como facilitam a realização das atividades mais onerosas e a redução dos custos (CUNHA *et al.*, 2016b).

De acordo com Monte; Teixeira (2006), utilizar novas tecnologias torna o processo da colheita e pós-colheita mais eficiente, sendo fundamental para que o cafeicultor consiga mais rentabilidade e competitividade na cultura. Entretanto, ainda para o pequeno e médio agricultor, o emprego dos métodos de limpeza por meio de máquinas na cultura de café, em regiões com declividade, é pouco utilizado, devido a poucas opções de equipamentos no mercado.

Segundo Magalhães (1999), para a limpeza de frutos derrichados, o recurso mais comum ainda é o trabalho manual, porém já é viável investir na utilização de máquinas de limpeza de ar e peneira, dependendo da sua produção, conforme retrata a Figura 3.



Figura 3 - Máquina abanadora de frutos de café a ar e peneira. Fonte: www.pinhalse.com.br

No mercado agrícola, já são comercializados equipamentos dedicados à atividade de limpeza de grãos ou frutos de café (SILVA *et al.*, 2006). O princípio de funcionamento desses equipamentos é baseado no emprego de peneiras vibratórias que podem possuir ou não uma coluna pneumática, utilizando ventiladores axiais ou centrífugos (SOUZA *et al.*, 2005).

Para Figueiredo Neto *et al.* (2012), existem máquinas de limpeza no mercado cujo funcionamento baseia-se apenas no uso da coluna pneumática, com ventiladores centrífugos com maior pressão estática e velocidade do ar.

A coluna pneumática, por meio da ventilação, tem a função de substituir o processo manual de abanação do café, pois removem parte das impurezas leves que acompanham os frutos do café, proporcionando a separação dos frutos das impurezas (SOUZA *et al.*, 2005).

Segundo Melo *et al.* (2015); Mesquita *et al.* (1977), o sistema por ventilação é caracterizado por fluxos de ar, no qual o produto sofre pressões decorrentes da corrente de ar na saída do ventilador. Como a densidade dos frutos é maior do que a das folhas, dos ramos e outras impurezas, ao passar por fluxos constantes do ar e com velocidade terminal maior do que as impurezas obtém-se o processo de separação.

Já a limpeza de frutos de café por vibração é realizada nas peneiras, nas quais a separação dos frutos das impurezas ocorre por meio de energia vibracional, mediante movimentos alternados das peneiras. Os frutos de café são conduzidos das peneiras superiores para as inferiores, passando por peneiras de orifícios maiores para menores, enquanto a impureza é conduzida para fora da máquina (MAZETTO, 2008; TEIXEIRA, 1988).

Entretanto, segundo Javarez (2013), para desenvolver esses equipamentos é indispensável uma análise de projeto de máquinas para sua manufatura, baseado nas características das propriedades físicas do produto e na composição de modelagem e simulação em softwares, visando estabelecer condições ideais para iniciar o processo de fabricação da máquina e, com isso, utilizar o melhor método para obter mais eficiência da máquina.

2.5 – Metodologia de projetos de máquinas

Elaborar um projeto consiste em utilizar metodologias para atender necessidades específicas ou solucionar um problema. Caso o planejamento do projeto resulte em algo

concretizado, o produto avaliado deverá ser confiável, seguro, operacional, competitivo, sendo que esse produto também deverá ser usado, produzido e vendido (BUDYNAS; NISBETT, 2011).

Para isso, segundo Andrade *et al.* (2010), é necessário um processo de gerenciamento que pode ser desenvolvido em seis etapas, conforme a Figura 4.

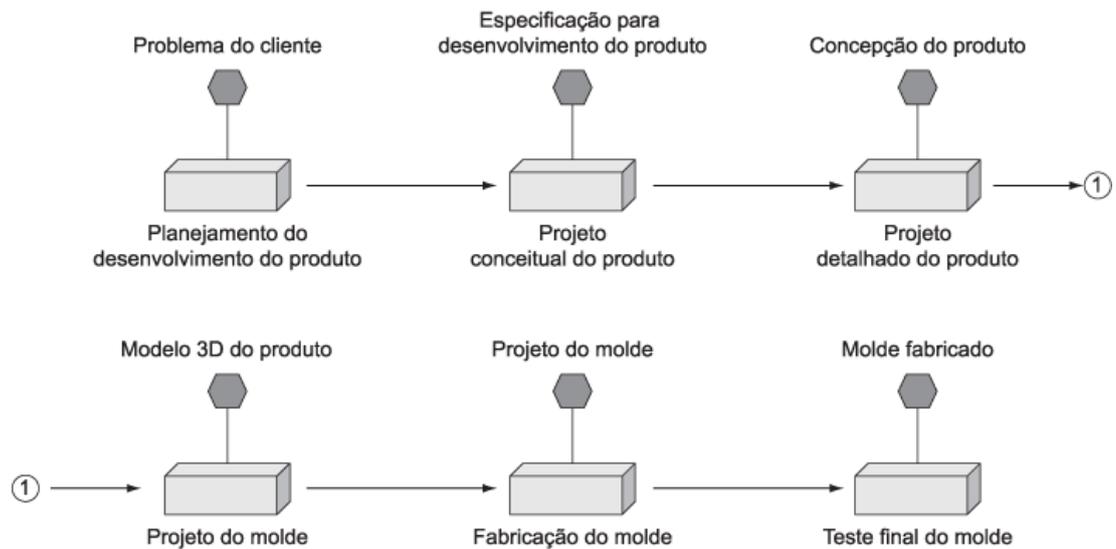


Figura 4 - Processos de desenvolvimento do produto. Fonte: Andrade *et al.*, 2010.

Segundo Widomar; Carpes (2014), o projeto informacional consiste em levantar os conteúdos informativos pertinentes dos produtos, ou seja, é necessário realizar pesquisas adequadas ao mercado e analisar a necessidade do público-alvo, para identificar os requisitos necessários que atendam ao cliente, bem como determinar os requisitos básicos que aprovam ou reprovam o produto.

Para Callefi *et al.* (2016), o projeto teórico ou projeto conceitual consiste em um estágio de definição do problema do produto, inicia-se por meio de um conceito, determinado por informações, que identificam sua funcionalidade de forma integral. Sua função global deve ser determinada por hipóteses, desdobrar-se em funções sobre outras funções até serem identificadas como elementares, podendo prosseguir na busca de princípios de solução para elas. Dessa forma, ocorrerão algumas mudanças no produto e, entre as funções, será escolhida a que melhor atenda aos requisitos.

A fase do projeto preliminar destina-se ao estabelecimento final do esboço do produto e à concretização dos aspectos técnicos viáveis. São desenvolvidos planos de modelagens computacionais e manufaturas ideais para a operação do produto. O modelo do projeto passa por novos trâmites de avaliação para que, logo em seguida, sejam

efetuadas as novas etapas do processo, que consistem na fase de detalhamentos do projeto (MELO *et al.*, 2015).

A modelagem computacional pode ser realizada empregando-se um ou mais geometrias gráficas que auxiliam no detalhamento e elaboração do produto a ser projetado. Funciona por meio de softwares com modalidade em CAD, contendo funções internas que contribuem para elaborar desenhos com várias perspectivas geométricas, cálculos estruturais, entre outras execuções necessárias para a modelagem do protótipo (HANSEN *et al.*, 2014). Esse sistema é fundamental para que, após concluí-lo, sejam efetivados outros processos referentes a aplicações de gestão, tais como: fabricação e a validação do produto, finalização das especificações dos componentes e a gestão da manufatura do produto de forma mais aprofundada (AMARAL *et al.*, 2008).

Após finalizar todos os procedimentos necessários devem ser analisadas as soluções finais para o encerramento e a aprovação do projeto. Ou seja, todos esses procedimentos são realizados com o intuito de atender à necessidade iminente para obtenção de um resultado (PAHL; BEITZ, 2005).

Entretanto, segundo Santos *et al.* (2012), existem produtos que são desenvolvidos com base em outros produtos já existentes, sem precisar ser projetos inovadores partindo do zero. Esses produtos podem ser projetos já inventados com o objetivo de melhorias ou desenvolvimentos.

A engenharia reversa é uma metodologia que requer um exame diferente, é preciso desmontar o produto para saber suas funcionalidades e analisar peça por peça (PONTICELLI *et al.*, 2017). Pode-se dizer que esse método começa com o produto em funcionamento, por meio do qual busca analisar o projeto, no sentido oposto, para chegar a uma explicação que define o produto, conforme descrita por Pahl; Beitz (2005). Ao fazer isso, coleta-se o máximo de dados possíveis acerca do entendimento da sua programação visual e dos métodos tecnológicos que foram utilizados para produzi-lo.

Segundo Eder *et al.* (2014), a engenharia reversa também pode contribuir para entender o funcionamento de algo, para desenvolver o objeto de estudo ou mesmo produzir algo completamente novo, com base nos dados coletados, sem qualquer semelhança com o original. Desde sua primeira utilização, a engenharia reversa cresceu muito, possibilitando desde o entendimento até a melhoria daquilo que se estuda.

Para fins mecânicos, a engenharia reversa pode envolver a obtenção de dados em três dimensões usando scanners a laser ou a tomografia computadorizada. Contudo, é

necessária uma superfície paramétrica para representar a forma geométrica da peça. Programas como CAD são usados para auxiliar nessas projeções (SILVA, 2014).

Para Kerzner (2016), o conhecimento do desenvolvimento do produto, suas constituições e seus defeitos é primordial para melhorar um novo projeto e é decorrente da avaliação do projeto antigo.

Contudo, deseja-se que, após o termino do processo do produto, o pressuposto dos ideais impostos sejam alcançados (PAHL; BEITZ, 2005).

2.6 – Modelagens de produtos

A expansão e a polarização da informação industrial ocorreram na década de 70, com a presença da microinformática para o desenvolvimento de produtos, consistindo na aplicação de diferentes tipos de gráficos de organização, como fluxogramas, organogramas e diagramas em geral (CUNHA, 2008).

Entretanto, segundo Mesacasa (2016), com a necessidade de produzir cada vez mais para fins humanos e a demanda para o desenvolvimento de novos produtos, nos anos 80, os softwares ficaram mais sofisticados e com recursos amplos e abrangentes. Surgiram programas computacionais mais específicos, os quais auxiliam o trabalho de elaboração dos produtos por visualizações em dimensões.

Os softwares CAD (computer-aided design) e CAE (computer-aided engineering) podem auxiliar no desenvolvimento de novos produtos, diminuindo os custos e melhorando a qualidade na fabricação do produto. Resultando em um melhor desempenho operacional das organizações e integrando, por meio de ferramentas computacionais, todos os setores industriais (DINIZ *et al.*, 2013).

Para Fraga Filho *et al.* (2014), o CAD é um recurso que tem aplicações destinadas à operação sobre os modelos geométricos de objetos para projetos de Engenharia e Arquitetura, sendo que em sua maioria os formatos começam com desenhos dimensionais para ser transformados em formato tridimensionais.

Já a ferramenta CAE, segundo Oliveira (2012), é utilizada como uma preconfirmação da viabilidade do produto e pode ser iniciada após o uso do CAD, realizando ensaios por meio de cálculos, auxiliando o engenheiro no dimensionamento de seu projeto de ensaios dentro do software.

Para Valério *et al.* (2010), o software SolidWorks® é uma ferramenta de CAD que pode ser utilizado como CAE, dependendo da finalidade do projeto e tendo como base a

computação paramétrica. A criação de sólidos ou superfícies inicia-se por definições de esboços que estabelecem a conectividade e certos relacionamentos geométricos entre vértices, linhas e curvas.

Esse tipo de software, como outros semelhantes, tem sua importância para que a indústria continue a progredir, visto que diminui o tempo de elaboração e os custos de projetos, melhora a confiabilidade, economiza no tempo gasto e torna o produto mais viável (MIRALLES, 2009).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de construção do protótipo

A máquina de limpeza de frutos do café foi projetada e construída no Laboratório de Mecanização Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola, pertencente à Universidade Federal de Viçosa - UFV.

3.2 Metodologia do novo projeto da máquina de limpeza

Primeiramente, antes de passar pelo seu processo de fabricação, estudou-se o melhor conceito para o novo projeto da máquina, de forma a determinar seu desenvolvimento ideal. Com essa premissa, foi observado que o projeto antigo da máquina de limpeza precisava de aprimoramento do processo de limpeza. Para isso, foram caracterizadas as etapas e as modificações necessárias à máquina com uma nova modelagem do projeto, por meio do software CAD.

Em seu processo fabril foram utilizadas as dependências do Laboratório de Mecanização Agrícola, um torno mecânico, marca Nardini Nodus, para usinagem superficial das peças.

3.2.1 Otimização da máquina de limpeza

O projeto da máquina de limpeza de frutos de café foi realizado com o intuito de melhorar o protótipo desenvolvido anteriormente por Silva (2016). O mesmo era composto por uma estrutura de tubos quadrados de aço, moegas, calhas, rosca sem-fim, engrenagens e um motor elétrico (Figura 5).

A máquina possuía mecanismos de roletes, dotados de discos, responsáveis pelo movimento rotacional e direcionamento de folhas e gravetos, de maneira a conduzi-los para fora da máquina, bem como fazer com que os frutos de café passem entre os roletes, direcionando-os ao ponto de saída da máquina. Possui também um motor elétrico que acionava um parafuso sem-fim, para acionar os roletes por meio de engrenagens e fazer a limpeza dos frutos.



Figura 5- Protótipo da máquina de abanação de frutos de café (SILVA, 2016).

3.2.2 Etapas do novo projeto da máquina de limpeza

Primeiramente, foi realizado um estudo das etapas do processo de limpeza dos frutos, no qual se estabeleceu uma sequência com as etapas básicas da limpeza dos frutos, Figura 6.

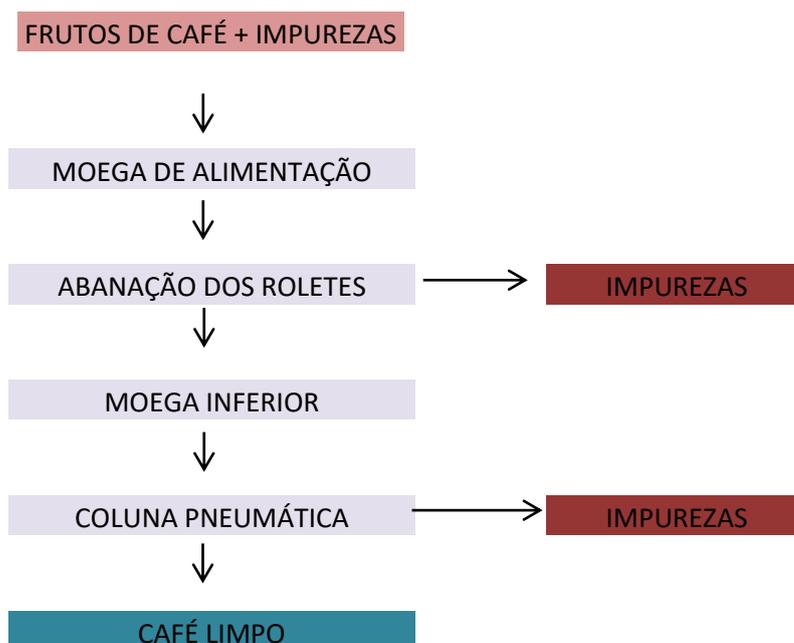


Figura 6 – Etapas do processo de limpeza do produto.

O protótipo teve seu desenvolvimento estrutural dividido em duas partes básicas, ou seja, a separação de impurezas graúdas, por meio de roletes, e a separação das impurezas finais, empregando-se uma coluna pneumática.

Para separação de impurezas por meio de roletes foram mantidos, no sistema de transmissão, os roletes e o eixo sem-fim do projeto anterior. A mesa de peneiração desenvolvida por Silva (2016), composta por 14 roletes e acoplados em dois suportes, manteve a área de limpeza com geometrias de 660 x 410 mm. Os roletes posicionados na superfície separadora da máquina são compostos por uma barra cilíndrica de 25,4 mm de diâmetro, com 10 discos de 190 mm de diâmetro e 2 mm de espessura soldadas na barra, conforme a Figura 7.



Figura 7 - Roletes da mesa separadora da máquina de limpeza.

A coluna pneumática teve a função de finalizar a limpeza já iniciada pela separação de impurezas por meio de roletes e compõe-se de: duto de ar feito com chapas laminadas, motor elétrico, polias, correias e ventilador centrífugo com diafragma (vide Figura 8).

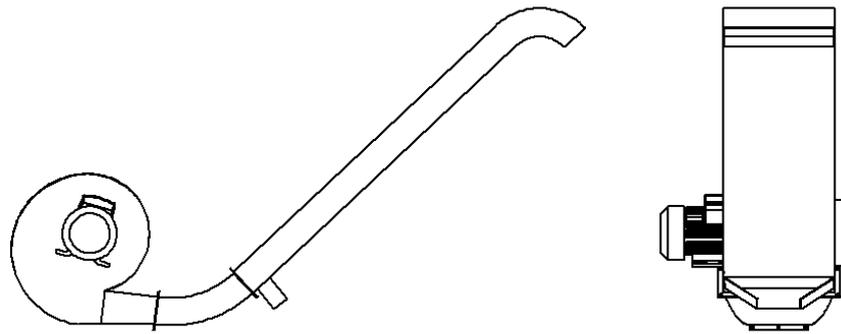


Figura 8- Esboço do sistema de ventilação do protótipo.

A união de todas as partes da máquina foi feita fixando suas peças, por meio de parafusos e/ou soldagem. Na Figura 9 é possível observar o esboço da nova máquina de limpeza de frutos de café.

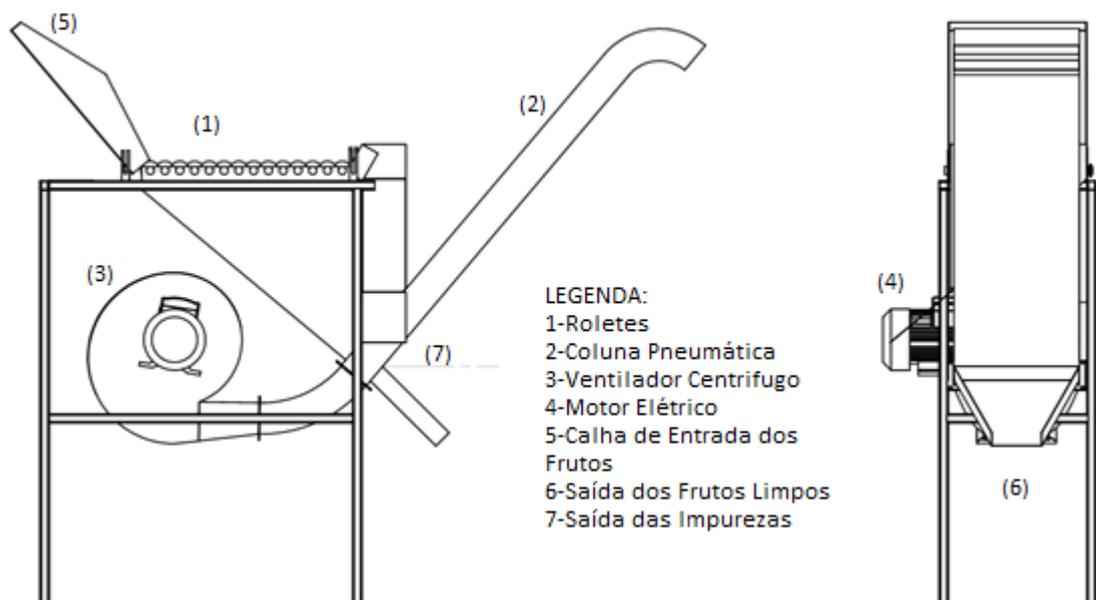


Figura 9 - Esboço do protótipo da nova máquina de limpeza do café derriçado.

3.2.3 Projeto da máquina em software CAD

Foram elaborados desenhos de fabricação definindo todas as peças que compõem a estrutura da máquina com todos os detalhes para encaixe e ligação, os quais determinam todas as operações de fabricação necessárias, sendo a modelagem feita no software CAD (Computer Aided Design). Este tem como base fundamental as operações de cálculos e os desenhos de projeto.

A análise referente ao projeto desenvolvido por Silva (2016) permitiu constatar que determinadas melhorias seriam pertinentes para uma eficiência maior da máquina. Sob essa perspectiva, destacou-se a necessidade de um sistema que permitisse separar as impurezas ainda existentes após a derrça. Com base nessa crítica, foram propostas modificações para o novo modelo de máquina, conforme a Figura 10.

O desenvolvimento da nova máquina de limpeza de frutos de café foi realizado em software CAD, utilizado para modelar, criar, montar e simular as peças da máquina em formatos tridimensionais, podendo também ser alteradas suas dimensões (3D para 2D), o que facilita a tomada de decisão para o processo de manufatura do protótipo (Figura 10).

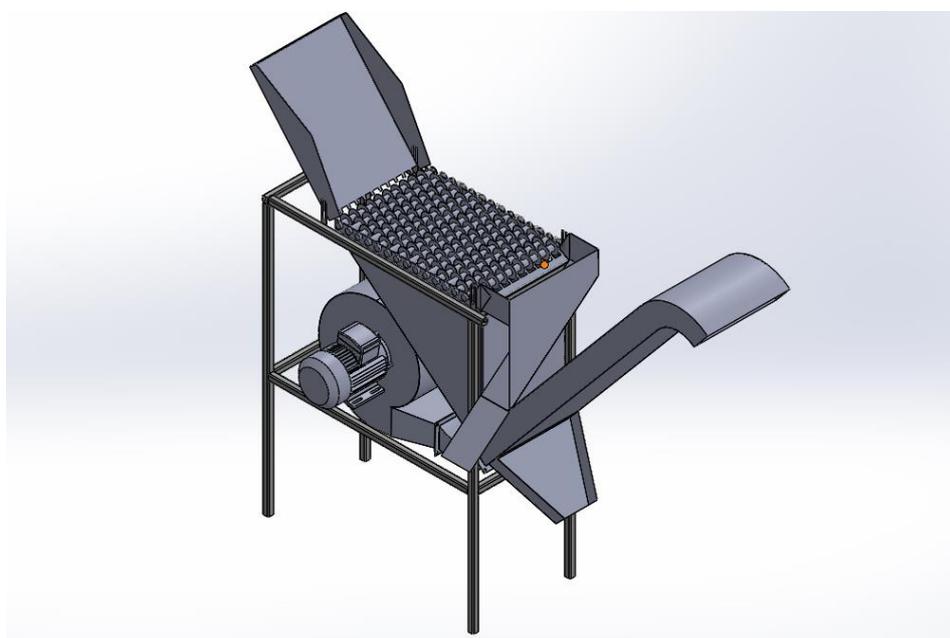


Figura 10 - Protótipo da máquina de limpeza do café derrçado em 3D.

O software possibilitou a modelagem computacional da máquina, de maneira a separar as etapas do processo, construindo-se as partes das peças separadas e unindo-as com ferramentas de montagem do programa. Isso facilitou a construção da máquina e as correções do seu projeto.

3.3 Ensaio da máquina de limpeza

Para o ensaio da máquina foram utilizados frutos do café provenientes de uma propriedade localizada na cidade de Teixeiras, região da Zona da Mata mineira situada a 20°38'34.5"S e 42°53'57.8"W e altitude de 649 m.

Os frutos de café foram conduzidos ao Laboratório de Mecanização Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV em junho de 2017, ocasião em que foram recolhidas amostras para os pré-testes de caracterização da máquina.

3.4 Avaliação das características da máquina

3.4.1 Capacidade operacional

A capacidade operacional da máquina foi determinada em função do tempo de trabalho, volume do material e área de aplicação, de acordo com a Equação 1.

$$C = \frac{V}{t A_p} \quad \text{Eq. (1)}$$

onde

C = Capacidade operacional específica da máquina, ($\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$);

V = Volume de café derriçado, (m^3);

t = Tempo do processo de limpeza, (horas); e,

A_p = Área da peneira, (m^2).

A capacidade operacional foi realizada medindo-se os volumes de frutos de café com impurezas em recipientes de 27, 22, 10 litros. Em seguida, os recipientes com o produto foram despejados na moega de entrada da máquina, iniciando-se a cronometragem de tempo, sendo finalizada sua determinação somente após a máquina encerrar o processo de limpeza.

Durante o experimento foram utilizadas as velocidades angulares de 5,25; 6,05; e 6,96 rad s^{-1} , uma vez que Silva (2016) afirma que as velocidades dos roletes operam com mais eficiência com rotações abaixo de 6,91 rad s^{-1} . Com isso, utilizou-se o inversor de frequência, modelo CIMR- V7AA21P5, para o controle das velocidades angulares dos roletes, conforme a Figura 11.



Figura 11 - Inversor de frequência modelo CIMR- V7AA21P5.

Para determinar as velocidades angulares dos roletes foi utilizado o tacômetro, marca MINIPA, modelo 2238, com leitura por contato na faixa de 0,5 a 2094,3 rad s⁻¹ (vide Figura 12).



Figura 12 - Tacômetro da marca MINIPA.

3.4.2 Eficiência de limpeza

A eficiência de limpeza da máquina foi calculada com base no índice de impurezas inicial, índice de impureza final e índice de descarte, obtidos das amostras coletadas.

Para se determinar o índice de impurezas inicial foram coletadas várias amostras do produto, despejando-as em uma lona, em diferentes locais. As amostras foram colocadas em um recipiente, homogeneizadas e despejadas em outra lona. Dessa amostra composta coletou-se uma amostra que foi dividida em quatro partes, sendo uma das partes a selecionada. A partir dessa parte selecionada, as impurezas foram separadas dos frutos de café e sua massa determinada como amostra de impurezas inicial. Já a massa dos frutos de café com impurezas, selecionada anteriormente, foi determinada como massa do produto da amostra inicial.

O índice de impurezas foi definido com base na relação das amostras do produto sujo e da massa das impurezas, de acordo com a Equação 2.

$$I_i = \frac{M_i}{M_{ai}} \quad \text{Eq. (2)}$$

onde

I_i = índice de impurezas inicial, (g g^{-1});

M_i = massa de impurezas na amostra inicial, (g); e,

M_{ai} = massa do produto da amostra inicial, (g).

Para determinar o índice de impureza final, obteve-se uma relação de massa total presente em uma média de amostras e a média de massa de impurezas da amostra. Foi coletada a amostra do café após o processo de limpeza da máquina. O índice de impureza final foi determinado considerando-se exclusivamente a massa de impurezas na amostra final em relação à massa da amostra final do café limpo – café mais as impurezas pesadas após o processo de limpeza dos frutos de café, empregando-se a Equação 3.

$$I_f = \frac{M_f}{M_{af}} \quad \text{Eq. (3)}$$

onde

I_f = índice de impurezas final, (g g⁻¹);

M_f = massa de impurezas presentes no fruto de café limpo, (g); e,

M_{af} = massa da amostra final do café limpo, (g).

Para determinar o índice de descarte, obteve-se uma relação entre a massa total presente em uma média de massa das amostras totais e a média de massa de impurezas da amostra, pesadas após o processo de descarte da limpeza dos frutos de café, empregando-se a Equação 4.

Foi coletada a amostra do café após a máquina descartar as impurezas dos frutos de café. Esse índice foi determinado considerando-se exclusivamente a massa de impurezas presentes no material descartado em relação à massa da amostra final descartada.

$$I_d = \frac{M_d}{M_{ad}} \quad \text{Eq. (4)}$$

onde

I_d = índice de descarte, (g g⁻¹);

M_d = massa de impurezas presentes no material descartado, (g); e,

M_{ad} = massa da amostra da carga, (g).

Para determinar a eficiência de limpeza da máquina, utilizou-se a metodologia proposta por Silva (2016), em que devem ser relacionados os índices de impurezas inicial, final e de descarte em cada parcela do produto testado, conforme a Equação 5.

$$E = \frac{(I_i - I_f) (I_d - I_i) I_d (1 - I_f)}{(I_d - I_f)^2 (1 - I_i) I_i} \quad \text{Eq. (5)}$$

onde

E = eficiência de separação;

I_i = índice de impurezas inicial;

I_f = índice final de impurezas; e,

I_d = índice de descarte.

Para quantificar a massa das cargas aplicadas à máquina utilizou-se uma balança, marca Cauduro Ltda, modelo RC180, com resolução de 100g, conforme a Figura 13.



Figura 13 - Balança para a pesagem das amostras e das cargas de produto.

Para a pesagem das amostras de impurezas, do processo de capacidade operacional e do processo de eficiência de limpeza utilizou-se uma balança de mais precisão, marca Toledo, com resolução de 0,001g, conforme a Figura 14.



Figura 14 - Balança de precisão marca Toledo.

3.5 Determinação da velocidade do ar na coluna pneumática

Mensurou-se a velocidade terminal dos frutos de café com o intuito de estimar as velocidades do ar para o ventilador centrífugo. Segundo Couto *et al.* (2003), a velocidade terminal dos frutos de café arábico da espécie catuaí vermelho é da ordem de $16,8 \text{ m s}^{-1}$.

Contudo, considerando que a velocidade do ar deve ser menor do que a velocidade terminal do café ($16,8 \text{ m s}^{-1}$) e que a densidade dos frutos de café é menor do que a densidade das impurezas pode-se estimar a velocidade máxima do ar, para que somente suas impurezas sejam projetadas para fora da coluna pneumática.

Por isso foram medidas as velocidades do ar na coluna pneumática, obtendo-se uma média em vários pontos da saída do bocal. Para essas medidas foi controlada a entrada de ar do ventilador centrífugo, com o auxílio da válvula diafragma, reduzindo-se, assim, o diâmetro de entrada de ar.

Foram determinados três diâmetros diferentes da entrada do diafragma (120, 180 e 240 mm), tendo-se o cuidado para que as velocidades de ar não ultrapassassem a velocidade terminal do café, possibilitando a máxima eficiência na separação.

O termo-anemômetro digital, marca Vectus, foi utilizado para controlar a velocidade do ar gerado pelo ventilador centrífugo, conforme na Figura 15.



Figura 15 - Termo-anemômetro digital marca Vectus

3.6 Análise estatística

A primeira etapa consistiu em analisar a capacidade de operação da máquina, baseando-se em um esquema fatorial 3 x 3, com três cargas de frutos de café e três velocidades rotacionais impostas pelos roletes no DIC (Delineamento Inteiramente Casualizado), com três repetições. As cargas de frutos de café aplicadas foram de 10, 22 e 27 litros e as rotações de 5,25; 6,02 e 6,93 rad s^{-1} , respectivamente.

A segunda etapa consistiu em determinar a velocidade do ar requerida na limpeza pneumática com base na velocidade terminal do café. Foi utilizado um fatorial 4 x 3 (quatro cargas de frutos e três velocidades do ar), no DIC, com três repetições. Foram utilizadas cargas de 10, 15, 20 e 30 kg e velocidades do ar de 7,50; 10,80; e 12,90 m s^{-1} .

Os resultados encontrados foram submetidos à análise de variância. Fundamentado nos resultados encontrados, foram gerados modelos de regressão linear para a capacidade operacional e eficiência em função da carga, velocidade do ar e velocidade angular. Os módulos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão e no coeficiente de determinação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Baseado no que foi apresentado no modelo anterior (Figura 5), fez-se uma crítica do que seria necessário para melhorá-lo. Foi observado que impurezas menores permaneciam no café mesmo após o processo de limpeza ou abanação, com eficiência de limpeza de 80% na ordem de 5,9 m² de material limpo por hora (SILVA, 2016).

A separação de impurezas por meio de roletes objetivou eliminar impurezas grossas, como folhas e ramos. O uso deste sistema foi necessário em virtude da dificuldade em separar folhas e ramos nos sistemas tradicionais, visto que as folhas obstruem os orifícios das peneiras. Esse sistema de separação é constituído por um motor elétrico, rosca sem-fim, engrenagens, moegas, roletes e um sistema de estrutura de apoio, conforme a Figura 16.

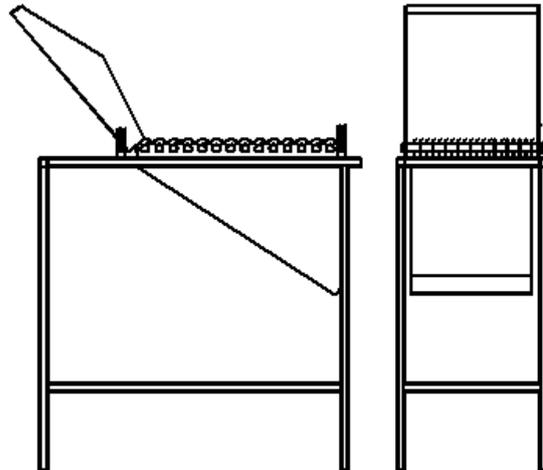


Figura 16 - Esboço do sistema de abanação do protótipo.

A crítica referente ao protótipo desenvolvido por Silva (2016) gerou uma lista de melhorias que seriam necessárias para um desempenho mais eficiente da máquina e constitui, principalmente: inserir em seu funcionamento mecanismos que proporcione uma maior capacidade operacional e eficiência.

Foram alteradas e colocadas novas peças na máquina, entretanto, sua maior modificação foi a criação de um sistema pneumático, com a finalidade de realizar a retirada de impurezas leves que a mesa, contendo roletes, não pode remover.

4.1 Modificações da máquina de limpeza dos frutos de café

4.1.1 Sistema de transmissão

O sistema de transmissão foi alterado utilizando-se engrenagens mais robustas com maior resistência mecânica e menor desgaste superficial, que permitem ainda rotações menores e torques maiores. Desse modo, proporciona-se um melhor encaixe nos dentes helicoidais do eixo sem-fim, além de transmitir maior desempenho e potência aos mecanismos, evitando desgastes e possível gripagem entre os materiais.

As engrenagens são cilíndricas de dentes retos, com diâmetro externo de 35 mm, diâmetro interno de 27 mm, passo de 6 mm e furo passante de 10 mm, construídas em aço SAE 1010, com base nas especificações das normas ISO 1328-1; ISO 1328-2 (1997), de acordo com a Figura 17.



Figura 17 - Engrenagem para o sistema de transmissão dos roletes da mesa de separação de impurezas.

O eixo helicoidal para acionamento das engrenagens foi confeccionado com base em uma barra redonda trefilada de aço carbono SAE 1010, com diâmetro de 19 mm (3/4”), permitindo uma redução de 17:1 (vide Figura 18). Os três componentes citados (eixo helicoidal, engrenagens e roletes) são acionados por um motor elétrico trifásico de 0,245 kW (1/3 cv) com 1650 rpm.



Figura 18 - Eixo sem-fim da máquina de limpeza.

4.1.2 Estrutura metálica da máquina de limpeza

Foram realizadas alterações nas estruturas metálicas correspondentes ao protótipo de Silva (2016), com o objetivo de poder realizar, simultaneamente, todas as operações da máquina de limpeza dos frutos de café.

Os materiais da estrutura da máquina utilizados foram: tubo quadrado de aço carbono SAE 1010, conhecido como metalon, de 15 x 15 mm e espessura de 1,5 mm (Figura 19). A montagem foi realizada pelo processo de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido.

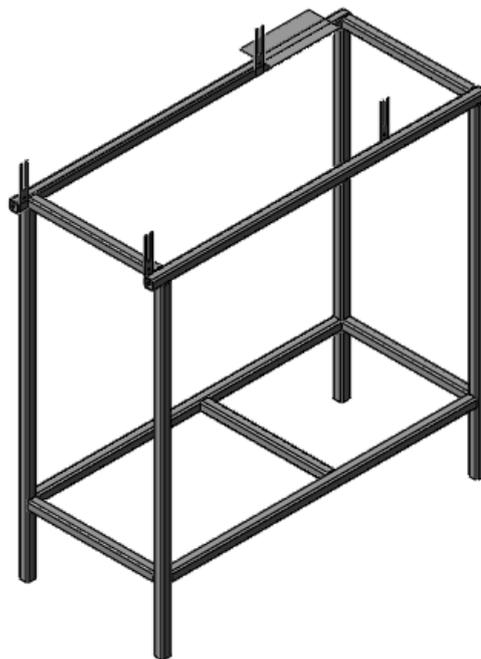


Figura 19 - Estrutura metálica da máquina de limpeza.

4.1.3 Sistema de alimentação

Para construção das moegas, calhas e coluna pneumática foram necessários alguns processos de manufatura. As etapas, ao longo da fabricação das peças, também sofreram modificações nos desenhos do projeto.

Primeiramente, foram necessários 8 m² de chapas galvanizadas, de 1,2 mm de espessura; e, para cortá-las, usou-se uma tesoura industrial.

Ao empregar uma dobradora com calandra acoplada, as chapas de aço carbono foram dobradas para permitir a construção da moega de alimentação e bicas de descarga dos produtos. Esse mesmo material foi empregado na confecção da coluna pneumática.

A moega de alimentação da máquina possui dimensões 388 mm de largura, 600 mm de comprimento e 200 mm de altura. Sua superfície tem inclinação de 50° em relação à horizontal para facilitar o escoamento do produto, conforme a Figura 20.

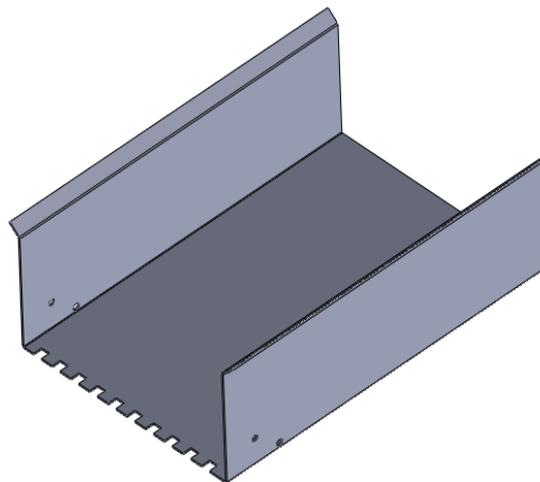


Figura 20 - Moega de alimentação da máquina de limpeza.

Entre a mesa separadora com roletes e a coluna pneumática tem-se uma calha com uma secção de entrada de frutos, com 660 mm de comprimento e 440 mm de largura, e secção de saída de 80 mm de largura e 440 mm de comprimento. A superfície do fundo da moega tem inclinação de 45° em relação à horizontal para facilitar o escoamento dos frutos, conforme a Figura 21.

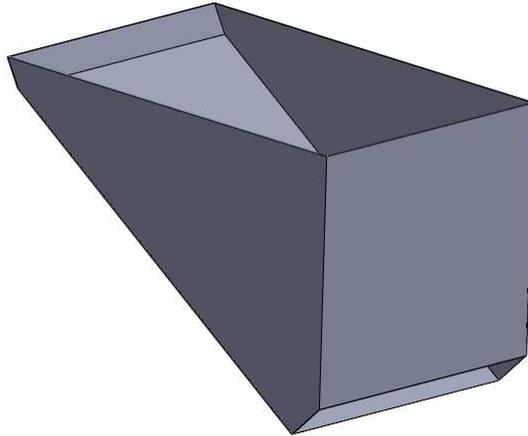


Figura 21– Calha de saída de frutos da máquina de limpeza.

Na boca de saída do ar do ventilador foi acoplada uma transição curva, cuja função é conduzir o ar até a coluna pneumática, sendo construída com uma secção de 300 mm de comprimento e 200 mm de largura. Em um dos seus bocais, encaixada na entrada do ventilador, suas medidas são de 250x100 mm e, na outra extremidade do bocal encaixada na coluna pneumática, suas medidas são de 400x100mm. Para construí-la foi necessário utilizar uma calandra, para que a chapa obtivesse um formato mais curvo, conforme a Figura 22.

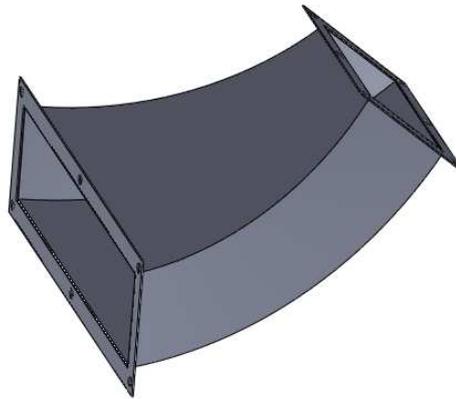


Figura 22– Transição da coluna pneumática da máquina de limpeza.

4.1.4 Coluna pneumática

A coluna pneumática, cuja atribuição é separar as impurezas leves, foi construída com uma chapa de aço SAE 1010 de 1,25 mm de espessura, com um comprimento de 400 mm, largura de 100 mm e altura 1500 mm, de acordo com a Figura 23.

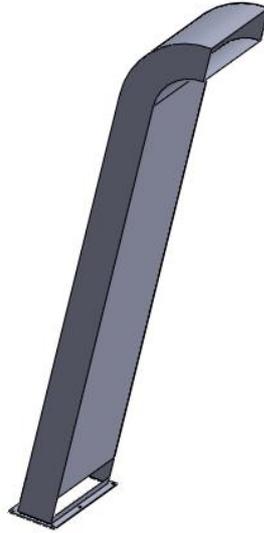


Figura 23– Coluna pneumática da máquina de limpeza.

4.1.4.1 Ventilador centrífugo

Foi selecionado um ventilador com características aerodinâmicas capaz de proporcionar velocidades e pressões do ar próximas à velocidade terminal do café. Para isso, utilizou-se um ventilador centrífugo, acoplado a um motor 2,2 kW (3,0 cv), com rotação igual a $366,5 \text{ rad s}^{-1}$ (3500 rpm) e dimensões de pás para trás de 86x90 mm; e diâmetro de entrada de 240 mm e secção de saída de ar de 120x100 mm.

Segundo Santiago (2013), a curva característica desse mesmo, proporcionou apresentou velocidade do ar na saída do bocal do ventilador de 48 m s^{-1} com uma abertura de 100%. Já para a abertura de 50%, sua velocidade de ar foi de 31 m s^{-1} .

No bocal de entrada de ar, o ventilador possui uma “válvula diafragma”, cuja função é controlar a vazão de ar do ventilador centrífugo, conforme a Figura 24.



Figura 24 – Diafragma do ventilador centrífugo.

Para acionamento do ventilador foram empregadas polias com diâmetros de 42 mm para o ventilador e 44 mm para o motor elétrico, respectivamente, e duas correias trapezoidais A-32.

4.1.5 Montagem da máquina de limpeza dos frutos de café

Em geral, mantiveram-se as partes constituintes do projeto elaborado por Silva (2016), como o sistema de separação por roletes; entretanto, foram feitas modificações para acrescentar a coluna pneumática.

A coluna pneumática foi instalada de modo a receber os frutos de café após a descarga da mesa dos roletes e da moega, em uma posição de 50° (cinquenta graus) com relação à superfície.

A montagem dos componentes da máquina foi feita empregando-se parafusos como elementos de fixação, o que facilitou o processo de montagem e desmontagem da máquina, além de facilitar o processo de manutenção da mesma, conforme a Figura 25.



Figura 25 – Montagem da máquina de limpeza de frutos de café.

4.2 Desempenho operacional da máquina

O fruto de café utilizado no ensaio foi da variedade catuaí vermelho, colhido manualmente. Logo após a colheita ele foi recolhido para a avaliação da máquina.

O fruto do café continha 64,51% de teor de água, medida pelo método padrão de estufa, e densidade de 1.022 g ml⁻¹. O teor de impureza inicial do produto é de 12,63%, contidas nos frutos de café, sendo essas impurezas compostas por folhas, galhos e impurezas menores.

As amostras dos frutos de café limpo foram separadas e classificadas de acordo com seu grau de maturação. Pode-se observar, após a separação, que a maioria (70,24%) dos frutos colhidos apresentava grau de maturação do tipo passa, e a minoria (7,20%) do tipo verdoengo (Quadro 1).

Quadro 1 - Índice de maturação dos frutos de café

Grau de Maturação	Massa da amostra (kg)	Porcentagem (%)
Verde	0,170	7,90
Verdoengo	0,154	7,20
Cereja	0,314	14,60
Passa	1,506	70,24

4.2.1 Capacidade operacional da máquina

Para os testes de capacidade operacional, alguns fatores foram fundamentais, como o volume de café e o tempo gasto na operação, levando-se em conta a entrada dos frutos de café e suas impurezas. Para avaliação desses ensaios, foram utilizados métodos de análise de variância (Quadro 2), os parâmetros de regressão (Quadro 3) e os resultados (Quadro 4) dos dados coletados para estudo do comportamento da capacidade operacional da máquina.

QUADRO 2 – Análise de variância da Capacidade Operacional em função das cargas volumétricas e das velocidades angulares da máquina de limpeza dos frutos de café

ANOVA					
Fontes de Variação	GL	SQ	QM	Valor F	Probabilidade
Devido à Regressão	2	56,38	28,19	223,67	0,0000 ***
Independente	6	0,756	0,126		
Significância: 0 ‘****’ 0,001 ‘***’ 0,01 ‘**’ 0,05 ‘.’ 0,1 ‘ ’ 1					

QUADRO 3 – Parâmetros da regressão da Capacidade Operacional em função das cargas volumétricas aplicadas e das velocidades angulares no eixo dos roletes da máquina de limpeza dos frutos de café

Parâmetros da Regressão				
Nome	Coefficiente	Desvio Padrão	Valor de t	Probabilidade
Constante	-6,862620			
Carga Volumétrica	2,697360	0,169392	15,923790	0,00000***
Vel. Angular	0,230917	0,016588	13,920524	0,00000***
Significância: 0 ‘****’ 0,001 ‘***’ 0,01 ‘**’ 0,05 ‘.’ 0,1 ‘ ’ 1				
R ²	0,986765			
R ² (ajustado)	0,982354			

QUADRO 4 – Resultados da capacidade operacional específica da máquina de limpeza de frutos de café, em $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$, em função da velocidade angular dos roletes da mesa separadora

Carga Volumétrica (dm ³)	Velocidade angular (rad s ⁻¹)								
	5,25			6,05			6,96		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
27	12,27	13,15	14,16	15,74	16,14	15,27	17,93	18,64	18,93
22	12,00	13,63	13,04	14,12	14,56	14,24	16,30	16,88	16,78
10	8,52	9,11	11,36	11,13	11,51	11,99	13,97	14,39	14,85

R1 = Primeira Repetição R2 = Segunda Repetição R3 = Terceira Repetição

O modelo quantitativo da capacidade operacional específica do protótipo e seu comportamento linear podem ser visto na Figura 26, quando foram modulados os valores de carga volumétrica na alimentação em função da velocidade angular dos roletes alterada.

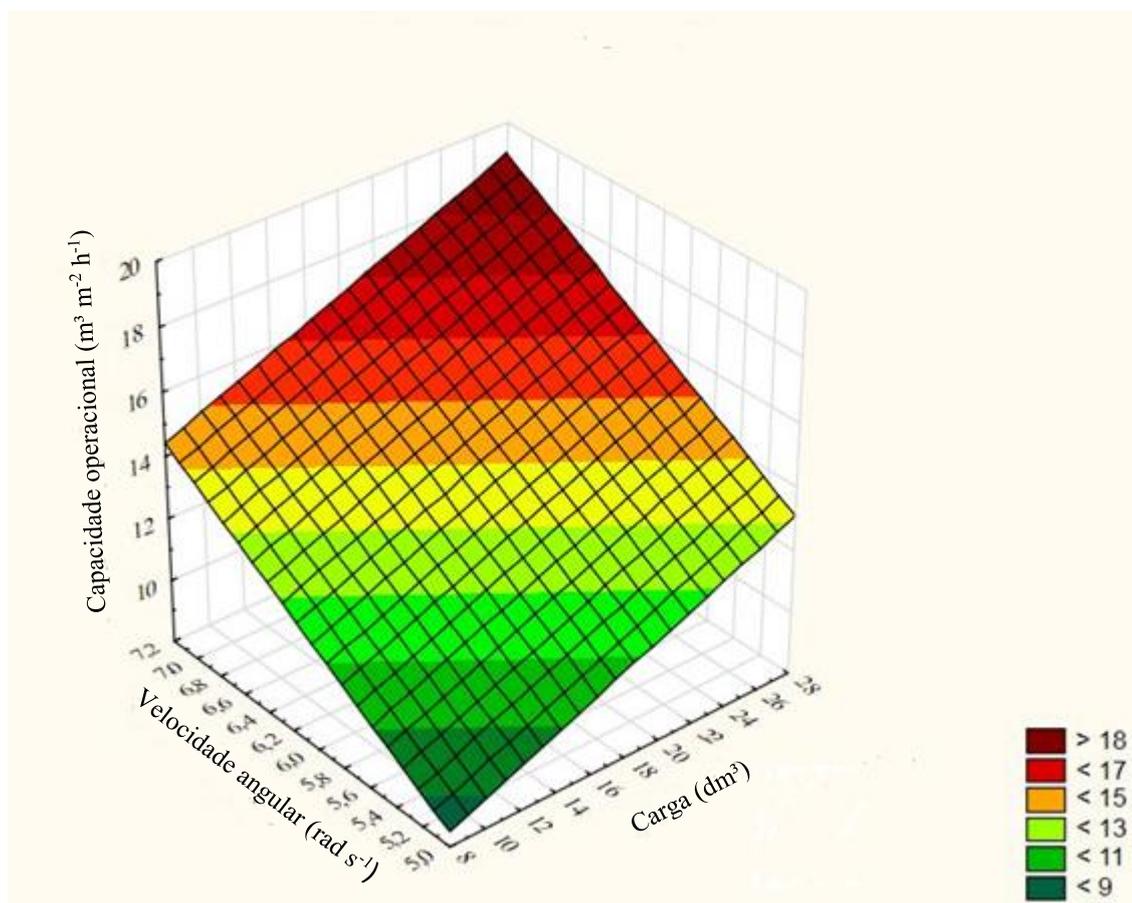


Figura 26 – Capacidade operacional específica da máquina de limpeza em função da carga aplicada e da velocidade angular dos roletes

Empregando-se o método de regressão foram encontrados valores que estimam capacidade operacional específica da máquina referente à vazão de ar, sendo que seu

coeficiente de determinação estimado (R^2) é de 0,987, obtendo-se uma equação de regressão, conforme a Equação 6.

$$\hat{C\hat{A}P} = -6,86262 + 2,69736**VEL + 0,230917**CAR \quad \text{Eq. (6)}$$

onde

$\hat{C\hat{A}P}$ = Capacidade Operacional ($\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$);

VEL = Velocidade Angular (rad s^{-1}); e,

CAR = Carga Volumétrica (m^3).

De acordo com a Equação 6, ao se acrescentar o valor unitário de carga volumétrica na máquina, aumenta-se 0,085 unidades da velocidade angular, ou seja, é necessário que as velocidades angulares dos roletes aumente de acordo com as quantidades das cargas volumétricas aplicadas para que capacidade operacional da máquina aumente proporcionalmente.

Todavia, conforme a mesma Equação 6, quando utiliza-se uma carga volumétrica de $0,027 \text{ m}^3$ de frutos de café e uma velocidade angular de $6,93 \text{ rad s}^{-1}$ (66,2 rpm), obtém-se um rendimento máximo de $18,07 \text{ m}^3 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$ da capacidade operacional específica. Entretanto, quando utiliza-se uma carga volumétrica de $0,010 \text{ m}^3$ de frutos de café e uma velocidade angular de $5,25 \text{ rad s}^{-1}$ (50,1 rpm), obtém-se um rendimento mínimo de $9,61 \text{ m}^3 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$ da capacidade operacional específica.

Desse modo, o aumento de velocidade angular nos roletes torna o processo mais rápido, possibilitando maior capacidade de limpeza em, porém eficiência de limpeza está diretamente relacionada ao tempo do processo, ou seja, quanto maior o tempo de operação, maior a eficiência da máquina de limpeza.

4.2.2 Eficiência da máquina de limpeza

Para o estudo da eficiência da máquina de limpeza foram avaliadas as variações de cargas de frutos de café com impurezas e as variações nas velocidades do ar, no entanto, usou-se uma única velocidade angular ($5,25 \text{ rad s}^{-1}$) nos roletes.

Foram estudadas quatro cargas com massa de 10, 15, 20 e 30 kg, com três velocidades de ar de 7,50; 10,80; e $12,90 \text{ m s}^{-1}$ e repetindo três vezes para cada fator.

Os dados obtidos para análise da eficiência foram coletados e calculados. De tal forma a obter um modelo estatístico que melhor representa o comportamento da máquina com relação aos parâmetros da avaliação.

Também foram realizadas a análise de variância (Quadro 5), os parâmetros de regressão (Quadro 6) e os resultados eficiência (Quadro 7) da máquina, usando uma velocidade angular de $5,25 \text{ rad s}^{-1}$, considerando diferentes cargas de frutos de café com impurezas e quatro vazões de ar, decorrentes da diminuição de entrada do ar do ventilador centrífugo.

QUADRO 5 – Análise de variância referente aos dados da eficiência de limpeza da máquina diante das cargas aplicadas e das vazões de ar na máquina de limpeza dos frutos de café.

ANOVA					
	GL	SQ	QM	Valor F	Probabilidade
Devido à Regressão	2	0,2968395	0,1484197	45,39	0,000 ***
Independente	9	2,94278E-02	3,26975E-03		
Significância:	0 ‘****’	0,001 ‘***’	0,01 ‘*’	0,05 ‘.’	0,1 ‘ ’ 1

QUADRO 6 – Parâmetros da regressão referentes à eficiência de limpeza da máquina diante das cargas aplicadas e das vazões de ar na máquina de limpeza dos frutos de café

Parâmetros da Regressão				
Nome	Coefficiente	Desvio Padrão	Valor de t	Probabilidade
Constante	0,0491012			
Cargas	-0,0413579	2,23215E-03	-1,852832	0,0485*
Vazão de Ar	0,0290605	3,10935E-04	9,34615	0,0000***
Significância:	0 ‘****’	0,001 ‘***’	0,01 ‘*’	0,05 ‘.’ 0,1 ‘ ’ 1
R ²	0,909805			
R ² (ajustado)	0,889761			

QUADRO 7 – Resultados da eficiência da máquina de limpeza de frutos de café, em porcentagem

Velocidade do ar (m s ⁻¹)	Cargas de frutos de café (Kg)					
	10			15		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
12,90	79,86	70,93	76,95	76,84	85,72	84,77
10,80	55,76	55,76	57,71	64,41	60,07	63,60
7,50	48,17	51,70	49,00	38,90	42,94	42,37
	20			30		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
	12,90	86,88	83,48	86,42	83,58	80,08
10,80	60,35	53,04	53,58	59,62	59,09	62,28
7,50	48,17	45,73	45,60	49,26	52,20	49,80

R1 = Primeira Repetição R2 = Segunda Repetição R3 = Terceira Repetição

Para a análise estatística utilizou-se o software R (R Studio, 2013), que proporcionou um modelo regressão linear, obtendo-se uma superfície de resposta, Figura 27.

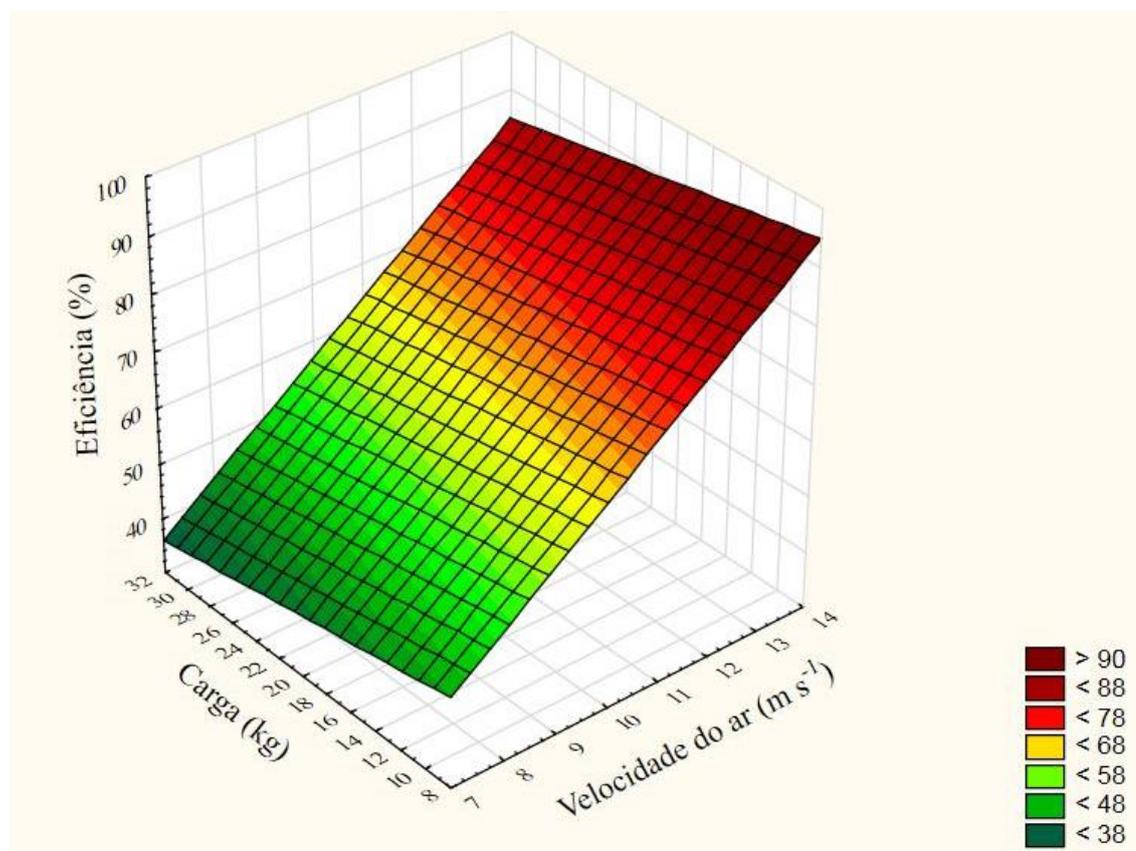


Figura 27 – Eficiência de limpeza da máquina.

Ao se empregar o método de regressão, foram encontrados valores que estimam a eficiência de limpeza em relação à velocidade do ar e carga de frutos aplicada, sendo que o coeficiente de determinação estimado (R^2) foi de 0,901. Os fatores analisados proporcionou uma estimativa da eficiência, conforme a Equação 7.

$$EFIC = 0,0491006 - 0,0413579 * CAR + 0,0974512 ** VAL \quad \text{Eq. (7)}$$

onde

EFIC = Eficiência de limpeza (decimal);

CAR = Carga de frutos aplicada (kg); e,

VEL = Velocidade do ar (m s^{-1}).

Conforme a Equação 7, ao reduzir o valor unitário de carga na máquina, aumenta-se 0,42 unidades da velocidade do ar, ou seja, existe uma proporção aumento de eficiência da máquina, quando aumenta-se a velocidade de ar e diminui as cargas aplicadas.

Conforme a Figura 27, a eficiência da máquina em relação à carga tem um comportamento diretamente proporcional e crescente, entretanto, o aumento da carga aplicada gera pouca alteração no desempenho da eficiência. Já a eficiência da máquina, com relação à velocidade do ar, tem um comportamento diretamente proporcional e crescente, uma vez que o aumento da velocidade do ar gera alterações maiores na eficiência. Segundo a mesma equação 7, a combinação que proporcionou maior eficiência (89,30%) foi a velocidade do ar de $12,9 \text{ m s}^{-1}$, com uma carga aplicada de 10 kg. Já a que proporcionou menor eficiência (47,10%) foi a velocidade do ar de $7,4 \text{ m s}^{-1}$, com carga aplicada de 30 kg. Ou seja, o ganho de eficiência está mais condicionado às alterações das velocidades de ar impostas pelo ventilador.

Contudo, ao comparar as mudanças do projeto atual com o projeto anterior, obtém-se resultados expressivos de eficiência e capacidade operacional específica. Assim, mesmo com as modificações da máquina, pode-se concluir que o projeto atual apresentou durante os ensaios, desempenho da capacidade operacional específica e da eficiência da máquina acima da faixa esperada.

5. CONCLUSÃO

Nas condições em que o trabalho foi conduzido pode-se concluir que:

- A modificação da máquina com acréscimo de um sistema de separação por coluna pneumática proporcionou maior capacidade de limpeza.
- A capacidade operacional específica da máquina de limpeza alcançou resultados de até $18,07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$.
- A eficiência de limpeza da máquina alcançou resultados de até 89,30%.

6. RECOMENDAÇÕES

Mediante os ensaios realizados é possível fazer as seguintes sugestões para a continuação deste projeto:

- Realizar testes na máquina usando frutos de café conilon, possibilitando aplicá-los dentro das áreas de lavoura em regiões montanhosas.
- Sua estrutura, assim como algumas partes constituintes, poderia ser construída com materiais que resultem em menos peso e não alterem sua resistência.
- Na intenção de diminuir o peso e o consumo de energia da máquina sugere-se inserir um mecanismo de acionamento que permita utilizar um único motor elétrico.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, E. A. **Análise da variabilidade espacial da qualidade do café cereja produzido em região de montanha**. 64f. Dissertação de mestrado – Departamento de Engenharia de Agrícola, Universidade de Viçosa, Viçosa-MG, 2005.

AMARAL, C. S. T.; ROZENFELD, H. Sistematização das melhores práticas de desenvolvimento de produtos para acesso livre e compartilhamento na internet. **Produto & Produção**, v. 9, n. 2, 2008.

ANDRADE, M. T. T.; FERREIRA, C. V.; PEREIRA, H. B. B. Uma ontologia para a Gestão do Conhecimento no Processo de Desenvolvimento de Produto. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 17, n. 3, p. 537-551, 2010.

BIAGGION, M. A. M. et al. **Diagnóstico tecnológico da etapa de pós-colheita de café no município de Botucatu-SP**. 8º Congresso de Extensão Universitária da UNESP, 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Informe Estatístico do Café**. Maio 2017.

BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. **Elementos de Máquinas de Shigley: projeto de engenharia mecânica (8ª edição)**. AMGH Editora Ltda, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2011.

CALLEFI, M. H. B. M.; BARBOSA, W. P.; CHIROLI, D. M. G. Utilização do QFD na fase de projeto informacional do Processo de Desenvolvimento de Produtos: estudo de caso em uma indústria do ramo da comunicação visual. **Revista Conbrad [ISSN 2525-6815]**, v. 1, n. 3, p. 152-168, 2016.

CATI (Coordenadoria de Assistência Técnica Integrada). **Resumo de UPAs do Município**. São Sebastião da Gramma, São Paulo. 2014. Disponível em: <http://201.55.38.3:7000/sistema/LupaMBH/pdf/rel_upa_municipio.pdf>. Acesso em: 25 maio 2017.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de café safra de 2016, segundo levantamento, maio/2016**. Brasília, 2016.

COUTO, S. M.; MAGALHÃES, A. C.; QUEIROZ, D. M.; BASTOS, I. T. Important parameters for determination of terminal velocity of coffee fruits. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 141-148, 2003.

CNA. Confederação Nacional de Agricultura do Brasil. **Custos com colheita e pós-colheita sobem 6,37% em um ano, março/2015**. Brasília, 2015.

CUNHA, G. D. A evolução dos modos de gestão do desenvolvimento de produtos. **Produto & Produção**, v. 9, n. 2, 2008.

CUNHA, J. P. B.; DA SILVA, F. M.; MARTINS, F. G. L.; DA CONCEIÇÃO, F. G.; CAMELO, L. G. Estudo técnico e econômico de diferentes operações mecanizadas na cafeicultura. **Coffee Science**, v. 11, n. 1, p. 87-96, 2016.

CUNHA, J. P. B.; SILVA, F. M.; DIAS, R. E. B. A.; LISBOA, C. F.; MACHADO, T. A. Viabilidade técnica e econômica de diferentes sistemas de colheita do café. **Coffee Science**, v. 11, n. 3, p. 417-426, 2016.

DINIZ, I. S.; SOUZA, W. A.; GÓES, L. C. S. Engenharia assistida por computador (CAD-CAE): implementação na grade curricular de curso de engenharia no Brasil. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**, v. 1, n. 1, 2013.

EDER, S.; CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. Diferenciando as abordagens tradicional e ágil de gerenciamento de projetos. **Revista Production, No Prelo**, 2014.

FERNANDES, A. L. T. et al. A moderna cafeicultura dos cerrados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 231-240, 2012.

FIGUEIREDO NETO, A. F.; DANTAS, B. F.; SILVA, J. C.; OLIVIER, N. C.; SILVA, M. F. Resistência ao fluxo de ar das vagens de amendoim com diferentes percentuais de impurezas. **Nucleus**, v. 9, n. 1, 2012.

FRAGA FILHO, C. A. D.; MENANDRO, F. C. M.; ROMERO, R. H. P.; SAENZ, J. S. R. Dynamic Analysis with Stress Recovery for Functionally Graded Materials: Numerical Simulation and Experimental Benchmarking. **International Journal on Advanced Materials and Technologies (IREAMT)**, v. 2, n. 1, p. 21-31, 2014.

FREDERICO, S. Cafeicultura Científica Globalizada e as Montanhas Capixabas: a produção de café Arábica nas regiões do Caparaó e Serrana do Espírito Santo/Global. **Revista Sociedade & Natureza**, v. 25, n. 1, 2013.

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, p. 353- 378, 2005.

HANSEN, P. B.; LEMOS, F. O.; ROCHA, R. G. Alternativas para aumento de produtividade em uma célula de manufatura com uso das técnicas do sistema Toyota de produção: análise através da modelagem e simulação computacional. **Produto & Produção**, 2014.

INAES (Instituto Antonio Ernesto de Salvo). Vilela, P. S.; Rufino, J. L. S. **Caracterização da Cafeicultura de Montanha de Minas Gerais**. – Belo Horizonte: INAES, 2010, 300p.

ISO 1328-1, Cylindrical Gears - ISO system of accuracy, Part 1. Definitions and allowable values of deviations relevant to radial composite deviations and runout information, First Edition, 1997.

ISO 1328-2, Cylindrical Gears - ISO system of accuracy, Part 2. Definitions and allowable values of deviations relevant to corresponding flanks of gear teeth, First Edition, 1997.

JAVAREZ JR, L. **Projeto e validação de porta ferramenta assistido para usinagens de ultraprecisão**. 150p. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2013.

KERZNER, Harold. **Gestão de Projetos-: As Melhores Práticas**. Bookman Editora, 2016.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. Oficina de textos- Ed. 2, São Paulo, 2016.

MAGALHÃES, A. C. **Projeto, construção e avaliação de uma máquina de pré-limpeza de café** 1999. 63 p. Dissertação de mestrado – Departamento de Engenharia de Agrícola, Universidade de Viçosa, Viçosa-MG, 2015.

MARTINS, E; APARECIDO, L. E.O.; SANTOS, L. P. S.; MENDONÇA, J. M. A.; SOUZA, P. S. Influência das condições climáticas na produtividade e qualidade do cafeeiro produzido na região do Sul de Minas Gerais. **Coffee Science**, v. 10, n. 4, p. 499-506, 2015.

MAZETTO, F. R. **Avaliação dos desempenhos operacional e energético e da ergonomia de colhedoras de soja no sistema de plantio direto**. 104 f. Tese de doutorado – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Campus de Botucatu, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu-SP, 2008.

MELO, L. M.; OGLIARI, A. A biomimética no desenvolvimento de produtos: a relação entre forma e função para obtenção de leiautes iniciais. **DAPesquisa**, v. 10, n. 14, p. 087-104, 2015.

MESACASA, A. Design Sustentável e o Desenvolvimento de Produtos com Identidade Territorial. **Moda Palavra e Periódico**, v. 4, n. 08, 2016.

MESQUITA, A. L. S.; GUIMARÃES, F. A.; NEFUSSI, N., – **Engenharia de ventilação industrial**. São Paulo, Edgard Blücher, CETESB, 1977.

MIRALLES, C. E. **Análise de Estratégias de Corte no Fresamento com 5 eixos**. 100f. Dissertação de Mestrado - Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste – SP, 2009.

MONTE, E. Z.; TEIXEIRA, E. C. Determinantes da adoção da tecnologia de despolpamento na cafeicultura. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 44, n. 2, p. 201-217, 2006.

OLIVEIRA, E.; SILVA, F. M.; SOUZA, Z. M.; FIGUEIREDO, C. A. P. **Influência da colheita mecanizada na produção cafeeira**. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.37, n.5, p.1466-1470, 2007.

OLIVEIRA, J. R. M. **Contribuição CAD/CAE em análise da confiabilidade do processo de desenvolvimento de produto**. 87f. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia - Universidade Federal do Pernambuco, Recife – PE, 2012.

OIC – International Coffee Organization. **Relatório sobre o mercado de café – julho, 2017**. Comunicação pessoal, 2017.

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

PEREIRA, R. C.; VASCONCELOS, S. S.; SALES, F. **Colheita e beneficiamento do café**. Brasília: EMBRAPA, 1999. 24p.

PONTICELLI, C.; SUSKI, C. A. O avanço do desenvolvimento de produtos através da engenharia reversa. **Revista da UNIFEPE**, v. 1, n. 8, p. 159-171, 2017.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. V.; COSTA, L. M. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata mineira. **Revista Brasileira de ciência do solo**, v. 34, n. 2, 2010.

RIGITANO, A. Colheita mecânica, um método eficiente de aproveitamento. **A Granja**, v. 3, n. 30, p. 37-41, 1975.

RIGUEIRA, R. J. A.; FILHO, A. F. L.; MATOS, A. T.; DONZELES, S. M. L.; PALACIN, J. J. F. Alteração nas características físicas, químicas e bioquímicas da água no processo de lavagem, despolpa e desmucilagem de frutos do cafeeiro. **Engineering in Agriculture**, v. 18, n. 2, p. 131-139, 2010.

SANTIAGO, H. **Pulverização aérea com adição de adjuvante para o controle da lagarta falsa medideira (*Pseudoplusia includens*)** 96p. Dissertação de mestrado – Departamento de Engenharia de Agrícola, Universidade de Viçosa, Viçosa-MG, 2013.

SANTINATO, F. Café de qualidade. **Cultivar Máquinas**, n.138, p.10-13, 2014.

SANTOS, T. R. S. O circuito espacial de produção do café: uma análise no município de cacoal/ro. **Revista Presença Geográfica**, v. 3, n. 1, p. 76-100, 2016.

SANTOS, A. C.; FORCELLINI, F. A. The relations between product design and supply chain: a case study in the home appliance sector. **Production**, v. 22, n. 3, p. 534-548, 2012.

SILVA, D. E. N. **O design industrial e as engenharias: uma possibilidade de integração por intermédio da engenharia reversa**. 392 f. Tese de doutorado – Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Campus de Bauru, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, São Paulo, 2014.

SILVA, F. M.; ALVES, M. C.; SILVA, F. C.; SOUZA, J. C. S. Desempenho operacional da colhedora de café Dragão Eco. **Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras**, 33., p.1-3. Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras –MG, 2007.

SILVA, F. M.; SALVADOR, N.; PÁDUA, T. S. Café: mecanização da colheita. Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras, Minas Gerais, 2002.

SILVA, F. M.; SOUZAS, J. C. S.; SILVA, A. C. Café derramado. **Cultivar Máquinas, Pelotas**, n. 1, p. 18- 20, 2010.

SILVA, J. C. S. **Desenvolvimento de uma máquina de limpeza de frutos de café derriçados**. 57f. Dissertação de mestrado – Departamento de Engenharia de Agrícola, Universidade de Viçosa, Viçosa-MG, 2016.

SILVA, J. D. S.; MORELI, A. P.; SOARES, S. F.; DONZELES, S. M. L.; VITOR, D. G. Produção de café cereja descascado: equipamentos e custo de processamento. **Embrapa Café-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2013.

SILVA, J. G.; SOARES, D. M. Construção e avaliação do desempenho de três abanadoras de sementes. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 231-236, 2006.

SOUZA, C. A. S.; FREITAS, R. C. S. Família, terra e trabalho: modos de vida nos cafezais de montanha do sul de Minas Gerais. **Serviço Social em Revista**, v. 18, n. 1, p. 64-80, 2015.

SOUZA, C. M. A.; QUEIROZ, D. M.; RAFULL, L. Z. L.; CECON, P. R. Comparação entre derriça manual e mecânica de frutos e cafeeiro. **Revista Ceres**, v. 53, n. 305, 2006.

SOUZA, C. M. A.; QUEIROZ, D. M.; CECON, P. R.; RAFULL, L. Z. L. Desarrollo y modelación de una máquina de pre-limpieza de café en el cultivo de montaña. **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias**, v. 14, n. 2, 2005.

TAVARES, T. O.; SILVA, R. P., SANTINATO, F.; SANTOS, A. F., PAIXÃO, C. S. S.; SILVA, V. A. Operational performance of the mechanized picking of coffee in four soil slope. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 48, p. 4857-4863, 2016.

TEIXEIRA, M. M. **Desenvolvimento de uma máquina de limpeza para milho ('zea mays'l.) a ar com peneira cilíndrica rotativas**. 57f. Dissertação de mestrado – Departamento de Engenharia de Agrícola, Universidade de Viçosa, Viçosa-MG, 1988.

VALÉRIO, R. C.; BRITO, J. N.; SOUZA, G. R. Geração Automática de Desenhos na Plataforma CAD Solid Works a Partir de Células Paramétricas Desenvolvidas em Ambiente Visual Basic. **Nono Simpósio de Mecânica Computacional**. v. 36307, p. 352, 2010.

VILELA, P. S.; RUFINO, J. L. D. S. Caracterização da cafeicultura de montanha de Minas Gerais. **Estudos INAES e FAPEMIG. Cadeias Produtivas. Café**, v.1, 2010.

WIDOMAR, P.; CARPES, JR. **Introdução ao projeto de produtos**. Bookman Editora, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2014.