

JÚLIO CÉSAR STELMO DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA MÁQUINA DE LIMPEZA DE 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  
2015

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

T

S586d  
2015  
Silva, Júlio César Stelmo da, 1966-  
Desenvolvimento de uma máquina de limpeza de frutos de  
café derrichados / Júlio César Stelmo da Silva. – Viçosa, MG,  
2015.  
xii, 57f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Mauri Martins Teixeira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.53-56.

1. Equipamentos agrícolas - Projeto e construção. 2. Café -  
Colheita. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de  
Engenharia Agrícola. Programa de Pós-graduação em  
Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 631.3

JÚLIO CÉSAR STELMO DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA MÁQUINA DE LIMPEZA DE 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 4 de dezembro de 2015.

---

Geice Paula Villibor

---

Haroldo Carlos Fernandes  
(Coorientador)

---

Mauri Martins Teixeira  
(Orientador)

Aos meus pais Geraldo e Leonice,  
À minha esposa Jusciléia,  
Aos meus filhos e irmãos.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradeço a Deus pela luz.

Aos meus pais e à minha esposa agradeço pelo apoio, pelo carinho e incentivo, que foram determinantes para o vencimento desta etapa.

Ao meu mestre, Mauri Martins Teixeira, pela orientação, paciência e ensinamentos.

Aos professores que durante este período contribuíram para o meu aperfeiçoamento.

Aos meus colegas de laboratório, principalmente Matheus e ao Christian, pela disposição, presença e companheirismo oferecidos.

Aos funcionários da mecanização destacando o Marcelo por sua preciosa ajuda.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade de aperfeiçoamento.

Ao Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais campus Barbacena e meus colegas professores Laércio, Francisco e Alex que contribuíram para permitir a mim esta oportunidade de aprendizagem.

Aos órgãos de fomento e a Indústria e Comércio de Máquinas Polidryer pela disponibilização de sua estrutura.

Ao Raimundo Dimas Santana pela sua hospitalidade e por ceder os frutos de café, as instalações da Fazenda Santo Antônio – Araçuaia, MG que foram fundamentais para os ensaios preliminares da máquina.

## **BIOGRAFIA**

Júlio César Stelmo da Silva, filho de Geraldo da Silva e Leonice Maria Stelmo da Silva, nasceu em Barbacena – MG, no dia 05 de dezembro de 1966. Ingressou no curso de Agronomia, pela Universidade Federal de Viçosa no ano de 1985, que concluiu em março de 1990. Em novembro do mesmo ano, tornou-se responsável técnico da Fazenda Fuzil, localizada em Águas Vermelhas – MG, vínculo que durou até junho de 2000, quando retornou para Barbacena, passando a atuar como agrônomo de campo na região até o momento em que passou a integrar o quadro de professores do Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais campus Barbacena, então Escola Agrotécnica Federal de Barbacena, em fevereiro de 2008. Em abril de 2013 entrou para programa de pós-graduação e concluído em dezembro 2015, em nível de mestrado, no Departamento de Engenharia Agrícola desta universidade.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE QUADROS	ix
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.2. Importância econômica da cafeicultura nas regiões montanhosas de Minas Gerais	4
2.2. Mecanização da cafeicultura nas regiões montanhosas de Minas Gerais	6
2.3. Opções do mercado brasileiro para mecanização da abanação	10
2.4. Processo de desenvolvimento de uma máquina	12
2.5. Parâmetros para avaliação de uma máquina de limpeza de café que utilize peneira	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1. Desenvolvimento da máquina	22
3.2. Construção da máquina	23
3.2.1. Construção do quadro de roletes	23
3.2.1.1 Confeção dos roletes	24
3.2.1.2 Montagem do quadro de roletes	25
3.2.2 Construção do mecanismo de acionamento dos roletes	26
3.2.3 Construção da estrutura da máquina	28
3.2.4 Confeção das calhas, contenção lateral e moega	28
3.2.5 Montagem da máquina	29

3.3. Avaliação da máquina	29
3.3.1. Análise estatística	29
3.3.2. Eficiência de limpeza da máquina	30
3.3.3. Capacidade específica da máquina	32
3.3.4. Demanda de potência	32
4. RESULTADO E DISCUSSÕES.	34
4.1. Desenvolvimento da máquina	34
4.1.1. Projeto informacional	34
4.1.2. Idealização da máquina	35
4.2. Construção da máquina	39
4.3. Avaliação da máquina desenvolvida	41
4.3.1. Caracterização do material utilizado para avaliação da máquina	41
4.3.2. Eficiência e capacidade específica da máquina	42
4.3.3. Potência demandada	46
4.4. Funcionamento da máquina	49
5. CONCLUSÃO	51
6. RECOMENDAÇÕES	52
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
APÊNDICE.	57

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Disposição de uma lavoura de café em relevo montanhoso, na zona rural do município de Araponga-MG.	5
FIGURA 2 – Trabalhador rural autônomo no desempenho da derriça manual sob o pano.	7
FIGURA 3 – Colheita com derriçadora portátil, (COSTA; POPPI, 2012).	7
FIGURA 4 – Aspecto do café recém-colhido, observar a proporção de impurezas e a presença comum de ramos do cafeeiro colhido.	7
FIGURA 5 – Trabalhador rural autônomo iniciando o processo de abanação do café, retirando manualmente o excesso de folhas.	8
FIGURA 6 – Abano manual do café (SILVA et al., 2008).	8
FIGURA 7 – Ciclo de desenvolvimento do produto Rozenfeld et al.(2006), citado por Ensslin et al. (2011).	13
FIGURA 8 – Fluxograma proposto por Pahl; Beitz (1996).	14
FIGURA 9 – Fluxograma da metodologia para obtenção do protótipo por Budynas; Nisbett (2011).	15
FIGURA 10 – Matriz morfológica proposta para uma colhedora de babaçu por Albiero et al.(2007).	16
FIGURA 11 – Comprimento do fruto “a”, maior diâmetro do fruto “b” e menor diâmetro do fruto “c”.	18
FIGURA 12 – Disposição do torquímetro dinâmico no sistema de movimento giratório (BRITO, 1994).	21
FIGURA 13 – Vista longitudinal de uma unidade do rolete.	24
FIGURA 14 – Acabamento final da extremidade de uma das unidades dos roletes com engrenagens.	24
FIGURA 15 – Engrenagem em chapa estampada de aço inox utilizadas na confecção dos roletes.	25
FIGURA 16 – Chapa com as cavas que receberam os roletes na montagem do quadro de roletes.	26
FIGURA 17 – Vista superior do quadro de roletes.	26
FIGURA 18 – Vista lateral do quadro de roletes.	26

FIGURA 19 – Disposição do eixo de rosca sem fim, dos roletes e do motor elétrico.	27
FIGURA 20 – Imagem do inversor de frequência, e motor elétrico.	27
FIGURA 21 – Eixo de rosca sem fim com os flanges de fixação.	28
FIGURA 22 – Quadro estrutural da máquina constituído de perfil metálico, no qual foram soldados ou parafusadas as demais partes da máquina.	28
FIGURA 23 – Torquímetro dinâmico modelo MKDC-10, e indicador de torque modelo MMK5030.	32
FIGURA 24 – Tacômetro de contato MINIPA modelo 2238A.	33
FIGURA 25 – Fluxo operacional idealizado para atender a proposta da máquina.	37
FIGURA 26 – Vista superior e vista lateral do protótipo.	38
FIGURA 27 – Vista em perspectiva do protótipo.	39
FIGURA 28 – Quadro estrutural com moega de despejo, quadro de roletes e mecanismo de acionamento.	39
FIGURA 29 – Máquina totalmente montada.	40
FIGURA 30 – Estimativa da eficiência de limpeza da máquina em função da velocidade angular dos roletes e da carga aplicada na alimentação.	43
FIGURA 31 – Estimativa da capacidade de limpeza em função da velocidade angular e da carga aplicada.	45
FIGURA 32 – Regressões da potência da máquina em função da velocidade, analisadas isoladamente para cada carga aplicada.	48
FIGURA 33 – Estimativa da potência requerida pela máquina em função da velocidade angular e da carga aplicada.	49

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Abanadoras produzidas pela METALFEN - Indústria Metalúrgica e respectivas informações técnicas fornecidas pelo fabricante	10
QUADRO 2 – Abanadoras produzidas pela PINHALENSE S/A Máquinas Agrícolas e respectivas informações técnicas fornecidas pelo fabricante	11
QUADRO 3 – Abanadora desenvolvida no DEA – UFV e informações técnicas que constam no manual de fabricação	12
QUADRO 4 – Metodologia de projetos proposta por Norton (2004)	15
QUADRO 5 – Valores médios e intervalos de confiança para os três eixos principais do fruto de café (MAGALHÃES, 1999)	19
QUADRO 6 – Informativo dos clientes para máquina, da motivação, dos requisitos necessários e das metas a serem atingidas com a produção desta máquina	35
QUADRO 7 – Matriz morfológica montada de forma esquemática para fins de visualização da metodologia que será empregada no desenvolvimento do modelo inicial da máquina	36
QUADRO 8 – Dimensões dos frutos do produto utilizado, apresentando média das principais dimensões e respectivos intervalos de confiança com $\alpha = 5\%$ pelo teste t	41
QUADRO 9 – ANOVA, referente avaliação estatística dos dados coletados referentes à eficiência de limpeza da máquina diante da variação da velocidade angular dos roletes da peneira e da carga aplicada	42
QUADRO 10 – Parâmetros da regressão referente ao modelo que melhor expressa o comportamento da eficiência de limpeza da máquina diante da variação da velocidade angular dos roletes da peneira e da carga aplicada	42
QUADRO 11 – ANOVA, referente avaliação estatística dos dados coletados referentes à capacidade específica da máquina diante da variação da velocidade angular dos roletes da peneira e da carga aplicada	44
QUADRO 12 – Parâmetros da regressão referente ao modelo que melhor expressa o comportamento da capacidade específica da máquina diante da variação da velocidade angular dos roletes da peneira e da carga aplicada	44

QUADRO 13 – ANOVA, referente avaliação estatística dos dados coletados referentes à potência demanda pela máquina com carga diante da variação da velocidade angular dos roletes da peneira e da carga aplicada	47
QUADRO 14 – Parâmetros da regressão referente ao modelo que melhor expressa o comportamento da potência demanda pela máquina com carga diante da variação da velocidade angular dos roletes da peneira e da carga aplicada	47

## RESUMO

SILVA, Júlio César Stelmo da, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2015. **Desenvolvimento de uma máquina de limpeza de frutos de café derriçados.** Orientador: Mauri Martins Teixeira. Coorientadores: Haroldo Carlos Fernandes e Paulo Roberto Cecon.

No presente trabalho objetivou-se desenvolver uma máquina para limpeza dos frutos de café recém-derriçados. A máquina traz como inovação um mecanismo de separação confeccionado a partir de cilindros giratórios. Foi idealizada como uma alternativa para separação de impurezas e frutos de café, durante a etapa de abanação, pois é sabido que devido à diferença de formas e densidade, estas partículas são difíceis de serem separadas por peneiras planas, estacionárias ou vibratórias. Os parâmetros técnicos avaliados na máquina foram a sua eficiência de limpeza, capacidade de processamento e potência requerida na execução da sua tarefa. Para tanto, foi utilizado um esquema fatorial 3x4 (três níveis cargas e quatro níveis de velocidade angular) no delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Os dados foram analisados pela metodologia da superfície de resposta. Observou-se que a capacidade específica de processamento máxima da máquina, dentro do intervalo estudado, foi de  $45,49 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$  quando submetida a uma carga de  $0,01643 \text{ m}^3$  (16,43 litros) equivalente a uma taxa de limpeza da ordem de  $5,9 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , com eficiência de limpeza superior a 80%. Observou-se ainda que alterações nos níveis de carga não proporcionaram variação significativa da potência demandada pelo mecanismo desenvolvido. A intensidade da potência dissipada pela máquina cresceu com o aumento da velocidade dos roletes e que nas condições do experimento variou dentro da faixa de 61,5 W até 86,6 W.

## ABSTRACT

SILVA, Júlio César Stelmo de, MSc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2015. **Development of a coffee fruit cleaning machine harvested.** Advisor: Mauri Martins Teixeira. Co-Advisors: Haroldo Carlos Fernandes and Paulo Roberto Cecon.

The present study aimed to develop a machine for cleaning the recently harvested coffee fruits. The machine brings as innovation a separating mechanism built with spinning cylinders. It was idealized as a solution for separation of coffee leaves and fruits during the wagging step, once it is known that due to the difference of shapes and densities, these particles are difficult to be separated by flat stationary sieves or vibrating sieves. The technical parameters evaluated in the machine were the cleaning efficiency, processing capacity and power demanded for tasks performance. Thus, a 3x4 factorial design was used (3 charge levels and 4 levels of angular velocity) in a completely randomized design with 4 repetitions. Data were analyzed by the methodology of response surface. It was observed that the maximum specific capacity of the machine, within the range studied, was of  $45.49 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$  when subjected to a load of  $0,01643 \text{ m}^3$  (16.43 liters), equivalent to a cleaning rate of a  $5,9 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  order, with cleaning efficiency higher than 80%. It was also observed that the charge levels are not significant to determine the required power. The intensity of power required by the engine increases with increasing speed of the rollers and the experimental conditions varied within the range up to 61,5 W 86.6 W.

## 1. INTRODUÇÃO

A busca por trabalho menos extenuante e melhor remunerado é uma ação natural do ser humano. Esta evolução nas condições de trabalho nas propriedades rurais, entre vários caminhos, tem como uma alternativa a mecanização e automação de atividades repetitivas assim como de atividades que exijam esforço físico.

A cafeicultura é uma atividade de grande importância social e econômica nas regiões onde se encontra inserida. E que para o seu sucesso é necessária execução de inúmeras atividades repetitivas e que exigem grande esforço físico. Esta condição apresentada pela cultura do café descreve um quadro de elevada dependência de mão-de-obra.

Regiões da Zona da Mata Mineira e no Sul de Minas são regiões com relevo predominantemente montanhoso em que o cultivo ocorre principalmente nas encostas dos morros. Apesar disto ocupam um lugar importante na produção de café no Brasil, com participação aproximada de um terço de toda produção de um país que é o maior produtor e exportador mundial de café.

As condições de relevo destas regiões tem em comum a dificuldade de tráfego de maquinários de grande porte, que são os equipamentos indicados para realização de colheitas mecanizadas integrando todas as suas etapas. As colhedoras automotrizes de café atendem uma boa parte da demanda por mão de obra, pois apenas uma máquina destas é capaz de substituir o trabalho de 80 a 150 trabalhadores com melhor qualidade de trabalho produzido. Porém não apenas o relevo declivoso, mas as condições de espaçamentos de cultura incompatíveis, ausência de áreas com dimensões adequadas para manobras impedem o trabalho adequado deste tipo de equipamento.

A colheita, contudo, pode ser dividida em etapas, que compreende de forma bem delimitada alguma atividade específica de colheita. E por este aspecto tem-se encontrado a saída para mecanização em áreas impróprias para o tráfego de colhedoras que é a mecanização isolada de cada etapa.

Em muitas propriedades que conduzem o cultivo convencional com café derriçado no pano, tem a colheita naturalmente dividida em: Arruação, abertura do pano, derriça do café, recolhimento do pano, ensacamento do café derriçado, abanação e medição e transporte para o local de secagem. Dentre estas etapas de colheita uma etapa muito importante é a etapa da abanação, que tem como objetivo retirar do meio do café derriçado as impurezas desprendidas do cafeeiro no momento da derriça, que geralmente compreende ramos, folha e impurezas menores.

Os ramos são facilmente eliminados ainda na lavoura, as impurezas miúdas são retiradas sem dificuldades pelo lavador de café, porém as folhas são as mais problemáticas, apresentam grande volume e oneram o produtor de café de diversas formas: ao pagar-se pelo volume de folhas como de fosse volume de café; ao ocupar espaço do café no transporte até o lavador; ao reduzir o rendimento do lavador quando embaraçado pelo excesso de folhas, ao ocupar espaço do café no terreiro no momento da secagem e ao prejudicar o processo de secagem do café nos secadores.

Por tudo isso a abanação tem fundamental importância no processo de colheita, estudos indicam que o tempo gasto com a abanação representa algo em torno de 15% do tempo gasto do total das atividades desde a abertura do pano até o ensacamento do café abanado. Relatos de trabalhadores dão conta de que durante o processo de colheita emprega-se aproximadamente a metade do dia trabalhado recolhendo pano, abanando e ensacando o café. Por este motivo pode-se prever que a mecanização da abanação leva ao aumento do tempo diário do trabalhador dedicado a derriça, aumentando o volume colhido por trabalhador, e que ainda acaba por proporcionar um café mais uniformemente abanado.

Então com intuito de trazer mais opções para o produtor de café, buscou-se com este trabalho desenvolver uma máquina que seja mais uma alternativa dentre as que atualmente são oferecidas ao produtor. Um equipamento que solucione com eficiência e praticidade os problemas citados para atender a cafeicultura de montanha.

Este trabalho teve por objetivo geral:

- Desenvolver uma máquina para abanação de café derriçado.

E como objetivos específicos:

- Construir protótipo de uma máquina para abanação de café derriçado.
- Avaliar a máquina construída quanto à eficiência de limpeza, à capacidade específica e potência demanda para execução do trabalho.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Importância econômica da cafeicultura nas regiões montanhosas de Minas Gerais e suas restrições**

A cafeicultura é uma atividade que apresenta grande importância social e econômica para as regiões da Zona da Mata e Sul do estado de Minas Gerais. O Brasil, durante décadas, tem sido o maior produtor e exportador mundial, e estas regiões contribuíram com 35,52% da produção de café do Brasil na safra 2012/2013 (CONAB, 2014).

Contudo, são regiões que apresentam problemas devido a forte dependência da mão-de-obra, uma vez que o relevo predominante nestes locais dificulta a mecanização integral da atividade cafeeira, pois é comum nestas regiões declives superiores a 15% (ALVES et al., 2003; IPPOLIT et al., 2003; VILELA; RUFINO, 2010 e SILVA et al., 2011).

A existência de um relevo declivoso, de espaçamento inadequado entre as plantas de café, inexistência de condições a todos os pontos da lavoura ou inexistência de área suficiente para manobras, são fatores que em conjunto ou unitariamente podem inviabilizar a mecanização de uma área de café já instalada, (SILVA et al., 2011; ANDROCIOLO FILHO et al., 2011).

A mecanização da colheita de café com utilização de colhedoras automotrizes exige condições como: declividade máxima de 10% para execução de um trabalho seguro além de espaçamento entre filas uniforme, extensas áreas para manobras no final de cada linha que são condições para possibilitar o trânsito destes equipamentos (SILVA et al., 2011), que não é a realidade encontrada nas regiões montanhosas como na FIGURA1.

Outro fator que é agravante é a coincidência do momento da colheita de todas as lavouras de uma mesma região em um curto período de tempo, que está associada à necessidade de contratação de um contingente elevado de trabalhadores. Estas condições provocam uma sobrevalorização do preço pago pelo serviço devido à disputa entre os produtores pelos trabalhadores de colheita (BRITO, 2013; NUINTIM; CALEGARIO, 2014). Esta sobrevalorização do serviço tem impacto direto no custo da lavoura não

mecanizada, que passam a perder em competitividade quando comparadas a aquelas fazem uso da mecanização integral da lavoura.



FIGURA 1 – Disposição de uma lavoura de café em relevo montanhoso, na zona rural do município de Araponga-MG.

Durante o ano agrícola de 1998/1999, na região do Sul de Minas, o gasto com mão-de-obra próximo de 42% do custo total (REIS et al.,2001), em outro trabalho realizado entre 2003 e 2009, Fehr et al.(2012), por meio de análise documental, estudaram o custo de produção em diversos municípios produtores de café nos estado de Minas Gerais, São Paulo e Espírito Santo, sem diferenciar por tecnologia empregada, encontraram que a variável de maior impacto no orçamento é o custo da mão de obra com valores percentuais próximos a 32%. Estes trabalhos demonstram que a despesa de mão-de-obra em lavouras de café é alta e que a adoção da mecanização da cafeicultura, principalmente nas atividades de colheita, podem proporcionar reduções com valores ao redor de 60% do custo total da mão de obra (LANA; REIS, 2012; OLIVEIRA et al, 2007; SILVA et al., 2006).

A mecanização é uma solução eficiente para aumento da competitividade e redução de custos com mão de obra aliada ao consequente controle de tempo de execução das tarefas e melhoria da qualidade do trabalho

realizado (NUINTIN; CALEGARIO, 2014). Produtores de café do Sul de Minas e da Zona da Mata citaram três razões para se mecanizar a cafeicultura que são: a necessidade de redução de custos, a falta de qualidade da mão-de-obra contratada e a insuficiência de mão-de-obra (VILELA; RUFINO, 2010).

## **2.2. Mecanização da cafeicultura nas regiões montanhosas**

A colheita manual de café dentro da lavoura pode ser dividida em etapas: arruação, abertura de pano, derriça, recolhimento do pano ou varrição, abanação e transporte, com posterior repasse, em caso de necessidade, finalizando a colheita com a varrição (SILVA et al., 2000), estas etapas podem variar na existência ou no modo de procedimento conforme a tecnologia empregada pelo produtor para execução da colheita.

Mais de dois terços das propriedades do Sul de Minas e Zona da Mata já possuem pelo menos um dos tratos culturais mecanizados, com maior ênfase no uso de derriçadoras manuais no período de colheita, (VILELA; RUFINO, 2010). O trabalhador executa a derriça manual envolvendo a base do ramo com as mãos que são deslizadas em direção à extremidade do ramo, mantendo-se as mãos fechadas, o que promove o desprendimento dos frutos dos ramos (FIGURA 2). Enquanto que as derriçadoras portáteis são equipamentos com estruturas que promovem impacto contra os frutos presos aos ramos do cafeeiro a fim de destaca-los da planta (FIGURA 3). Nestes dois processos, junto com os frutos, diversos tipos de impurezas são desprendidos do cafeeiro (FIGURA 4).

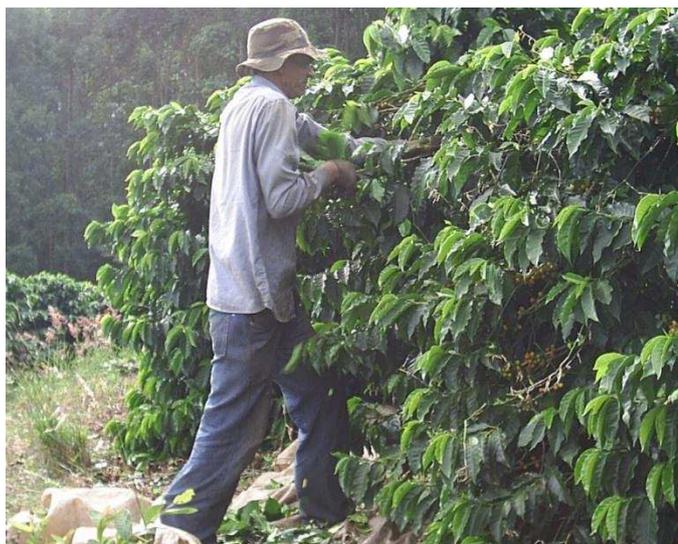


FIGURA 2 – Trabalhador rural autônomo no desempenho da derriça manual sob o pano.



FIGURA 3 – Colheita com derriçadora portátil, (COSTA; POPPI, 2012).



FIGURA 4 – Aspecto do café recém-colhido, observar a proporção de impurezas e a presença comum de ramos do cafeeiro colhido.

Abanação é uma fase da colheita na qual são retiradas as impurezas que durante o processo de derrça são misturadas aos frutos de café. O grande volume de impurezas torna a abanação uma das mais importantes etapas da colheita. No seu procedimento manual inicialmente são catados galhos e ramos maiores, seguindo-se com a retirada das demais impurezas utilizando-se peneiras. O conteúdo depositado sobre a peneira é arremessado ao ar e aparado diversas vezes, neste processo partículas menores são removidas pela brisa. Depois de alcançado um teor de impureza aceitável o conteúdo da peneira é ensacado. Todo este processo é realizado inúmeras vezes de forma continuada, lenta e exaustiva. (FIGURA 5 e 6).



FIGURA 5 – Trabalhador rural autônomo iniciando o processo de abanação do café, retirando manualmente o excesso de folhas.



FIGURA 6 - Abano manual do café (SILVA et al., 2008).

O café bem abanado tem importância estratégica para a obtenção de um café com menor custo, pois contribui com a diminuição do volume de material transportado até o terreiro, fornece um produto que não atrasa ou prejudica o processo de lavagem do café, não ocupa espaço no terreiro com impurezas e melhora o desempenho dos secadores (SILVA et al., 2000; MAGALHÃES, 1999).

A abanação mecanizada é promovida com a utilização de máquinas com peneiras que juntamente com auxílio de movimentos vibratórios e de um fluxo de ar direcionado realizam a separação de uma grande parte das impurezas presentes junto aos frutos de café colhido. Neste processo a impureza que desperta maior preocupação são as folhas, que dificultam o processo de limpeza, devido à forma delgada com dimensões muito superiores aos orifícios das peneiras, que tendem a obstruir os orifícios das peneiras por onde devem passar os frutos, o que causa a redução da capacidade e da eficiência limpeza destas máquinas.

Outra questão é como o processo de derriça está relacionado à intensidade de desfolha. Oliveira et al. (2007) compararam a desfolha no processo de derriça manual com a do processo de derriça mecanizada, concluíram que a desfolha foi maior na colheita mecanizada em todas as safras estudadas, o que foi o mesmo observado por Silva et al. (2006), que ao estudarem o desempenho de derriçadoras laterais comparadas ao processo de derriça manual, concluíram que a desfolha proporcionada pela derriçadora foi superior em valores da ordem de 13%. No entanto não apenas como a derriça se faz, é determinante para se prever a intensidade de desfolha, Silva et al. (2010) ao estudar o efeito da colheita manual de café em Ijaci-MG, concluíram que a desfolha está relacionada também à produtividade da lavoura, situação em que a intensidade de desfolha é diretamente proporcional ao aumento da produtividade, podendo-se então inferir que outros fatores, não somente a forma de colheita podem interferir

na intensidade da desfolha, que é fator importante para caracterizar o café colhido que deverá ser abanado.

### 2.3. Opções do mercado brasileiro para mecanização da abanação

No mercado já existem a venda equipamentos dedicados à atividade de abanação. O princípio de funcionamento destes equipamentos é baseado em uma peneira vibratória que pode possuir ou não assistência de um fluxo de ar. Este fluxo tem o papel de simular o processo manual de abanação do café e proporcionar o revolvimento da mistura garantindo o contato de todas as partículas com a peneira. Estas máquinas utilizam como fonte de energia para seu acionamento, motores estacionários alimentados à gasolina, motores elétricos, ou acionadas pela tomada de potência de tratores, Quadros 1, 2 e 3.

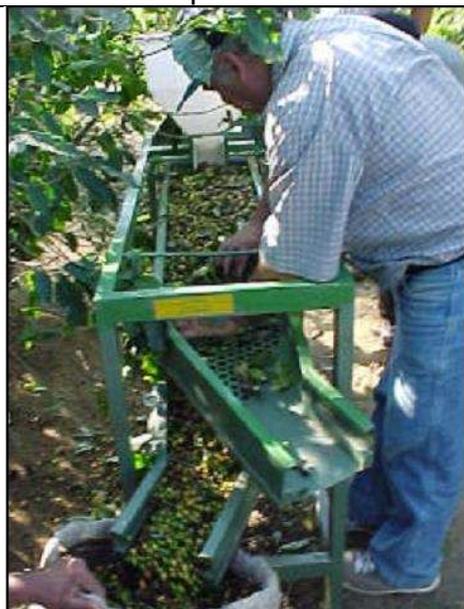
QUADRO 1 – Abanadoras produzidas pela METALFEN - Indústria Metalúrgica e respectivas informações técnicas fornecidas pelo fabricante

	<ul style="list-style-type: none"><li>• Movida por motor a gasolina 5,5 hp</li><li>• Regulagem de nível solo ou piso.</li><li>• Duas bicas para ensaque.</li><li>• Capacidade 80 sacos por hora.</li><li>• Consumo 1,5 litros por hora.</li><li>• Largura 1,1 metros.</li></ul>
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Movida pela tomada de potência do trator.</li><li>• Regulagem de nível solo ou piso.</li><li>• Duas bicas para ensaque.</li><li>• Capacidade 80 sacos por hora.</li><li>• Largura da máquina 1,1 metros.</li></ul>

QUADRO 2 – Abanadoras produzidas pela PINHALENSE S/A Máquinas Agrícolas e respectivas informações técnicas fornecidas pelo fabricante

 <p>AB-3</p>	<p><b>Modelo AB3</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Motor elétrico 3 hp</li> <li>• Capacidade: <ul style="list-style-type: none"> <li>- motor elétrico 4 a 6 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>.</li> <li>- eixo cardan 8 a 10 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>.</li> </ul> </li> <li>• Peso de 580 kg.</li> <li>• Volume de 4,5 m<sup>3</sup>.</li> </ul>
 <p>AB-4</p>	<p><b>Modelo AB4</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Motor elétrico 5 hp.</li> <li>• Capacidade de 20m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>.</li> <li>• Peso de 520 kg.</li> <li>• Volume de 4,29 m<sup>3</sup>.</li> </ul>
 <p>ABC-10</p>	<p><b>Modelo ABC 10</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abanadora para lavadores de café.</li> <li>• Motor elétrico de 3 hp.</li> <li>• Capacidade de 8 a 10 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>.</li> <li>• Peso de 220 kg.</li> <li>• Volume de 4,35 m<sup>3</sup>.</li> </ul>
 <p>ABC-20</p>	<p><b>Modelo ABC 20</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abanadora para lavadores de café.</li> <li>• Motor elétrico de 5 hp</li> <li>• Capacidade 18 a 20 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>.</li> <li>• Peso de 220 kg.</li> <li>• Volume de 4,35 m<sup>3</sup>.</li> </ul>

QUADRO 3 – Abanadora desenvolvida no DEA – UFV e informações técnicas que constam no manual de fabricação (SAMPAIO, 2001)



- Abanadora de acionamento manual.
- Capacidade de limpeza de café derruçado no pano da ordem de 50 litros de café limpo a cada 2 minutos e oito segundos.
- Obtendo-se café limpo com 4,3% de impureza a partir de um café com teor de impurezas inicial de 5,7%.

#### **2.4. Processo de desenvolvimento de uma máquina**

O processo de criação é um processo intuitivo, que depende da genialidade do projetista que ao fazer uso do seu conhecimento técnico e raciocínio lógico consegue encontrar novas propostas para criação de uma máquina que advém da necessidade de solucionar um problema (BUDYNAS; NISBETT, 2011; ALMEIDA, 2000; TEIXEIRA, 1988). O alcance da solução exige do projetista um grande conhecimento de diversas áreas como o objetivo a ser alcançado, o público para o qual destina-se o projeto, o ambiente em que o equipamento vai atuar, estrutura proposta para a máquina, cujas decisões em grande parte exercidas por responsabilidade pessoal criando os pressupostos para concretização da ideia de solução (PAHL et al.,2005).\*

O processo produtivo deva ultrapassar as barreiras físicas da organização e define uma forma de atuação em que o objetivo principal seja atender o cliente (ROZENFELD et al., 2006). No intuito de que o produto construído atenda ao consumidor final, o projeto deve conter apanhado minucioso das necessidades do consumidor sem descuidar das propriedades técnicas e funcionais do produto (ENSSLIN et al., 2011).

Baseado ainda em trabalho de Rozenfeld et al. (2006), Ensslin et al.,(2011) expõe um diagrama do ciclo de desenvolvimento do produto que inclui no processo de planejamento uma fase denominada projeto informacional (FIGURA 7).

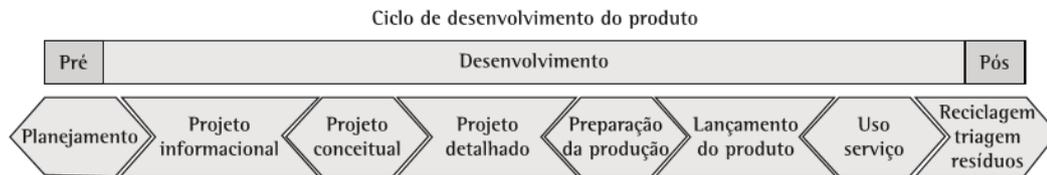


FIGURA 7 – Ciclo de desenvolvimento do produto Rozenfeld et al.(2006),citado por Ensslin et al.,(2011).

Seguindo as etapas do planejamento sequente ao projeto informacional vem o projeto conceitual que é uma descrição da máquina que dará origem a construção do protótipo, ou seja, o primeiro modelo da máquina que será construído e testado (PAHL et al.,2005; NORTON, 2004). O projeto conceitual é alcançado como resultado da escolha de alternativas para a solução de um problema obtida durante as escolhas das alternativas que solucionam cada etapa necessária para o funcionamento harmônico da máquina.

O caminho de soluções não é definitivo. É natural que se façam diversas modificações no projeto conceitual para o aperfeiçoamento da máquina, condição em que por meio de redefinições e adaptações do projeto inicial busca-se alcançar o objetivo, que é um projeto detalhado de uma máquina funcional (PAHL et al.,2005). Pelo fluxograma na Figura 8 pode-se ter uma ideia mais clara do processo de criação proposto, disposto em etapas sequencial da proposta retirado de Pahl; Beitz (1996). Existem outras propostas metodológicas baseadas em propostas semelhantes, em que ocorrem mudanças nas denominações das etapas, porém apresentando mesma finalidade e frisando a necessidade de constante aprimoramento do projeto, como apresentado no Quadro 4 (NORTON, 2004) e Figura 9 (BUDYNAS; NISBETT, 2011) .



FIGURA 8 – Fluxograma proposto por Pahl; Beitz (1996).

Existe diferença entre o projeto do mecanismo na fase conceitual daquele do produto para ser produzido em escala, pois o produto na fase conceitual existe a necessidade de se desenvolver um projeto de baixo custo inicial, mas que seja capaz de desempenhar sua finalidade. O protótipo deve ter as condições mínimas para ser testado satisfatoriamente a um custo financeiro acessível. As especificações, o material e os mecanismos de funcionamento utilizados na construção determinam o custo, a quantidade a ser produzida, a vida útil esperada, as condições de operação e a confiabilidade (BUDYNAS; NISBETT, 2011).

QUADRO 4: Metodologia de projetos proposta por Norton (2004)

1	Indicação da necessidade	Delimitação do problema a ser solucionado
2	Pesquisa suporte	É necessária a compreensão completa do problema
3	Definição dos objetivos	Exposição razoável e realista para resolução do problema
4	Especificações de tarefas	Fecham o problema e delimita o alcance das tarefas
5	Síntese (concepção do projeto)	Busca de todas as alternativas possíveis, sem considerar nesta etapa seu valor ou qualidade.
6	Análise	Soluções fornecidas na etapa anterior são analisadas, aceitação, rejeição ou modificação.
7	Seleção	Escolha das soluções mais promissoras
8	Projeto detalhado	Croquis e desenhos com especificações das partes dimensionamentos, fornecedores.
9	Protótipo e teste	Construção do protótipo e avaliação do mesmo.
10	Produção	

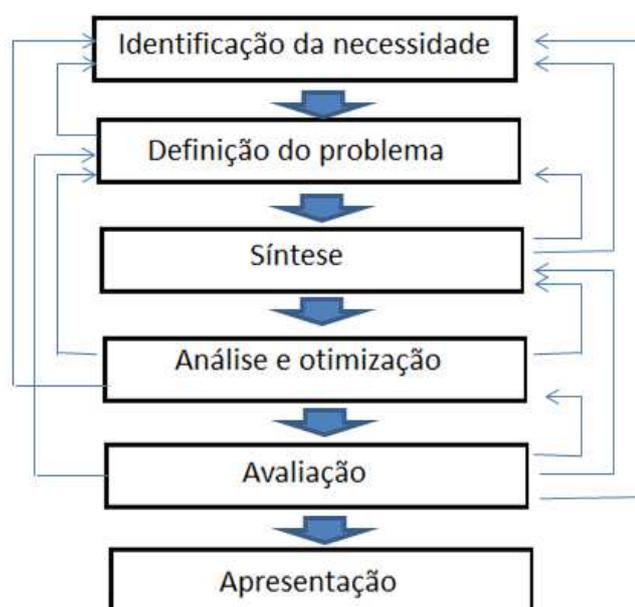


FIGURA 9 - Fluxograma da metodologia para obtenção do protótipo por Budynas; Nisbett (2011).

Para o alcance da finalidade do projeto existem situações problemas devem ser superadas, para isto as alternativas disponíveis são relacionadas, onde que recebem notas conforme a capacidade de cada uma em atender as necessidades propostas. As alternativas para solução dos problemas são dispostas de forma organizada em uma planilha em um arranjo idealizado

por Zwicky (1948), denominada matriz morfológica. A matriz morfológica permite reunir em uma planilha todas as funções necessárias à máquina, com suas respectivas possibilidades de soluções dispostas numa sequência lógica de ocorrência. Esta disposição permite uma visualização do conjunto de propostas que facilita a escolha das alternativas dentro das necessidades de funcionamento da máquina, como a exemplificada na Figura 10.

**Matriz 1 - Matriz Morfológica da Colhedora de Babaçu. Fase 1. Conceito Preliminar.**

Conceitos							
Componentes	1	2	3	4	5	6	7
Sistema de corte	Lâmina (facão)	Corrente dentada (motosserra)	Gancho (foice)	Serra circular	fresa	Serra linear	Laser
Sistema de elevação	Escada (homem sobe)	Hidráulico/cilindro	Pneumático/cilindro	Motor elétrico+rosca	elétricoimã	Roldanas+cordas	Motor hidráulico+rosca
Energia	manual	Combustão interna	elétrica	hidráulica	eólica	Animal	
Sistema de locomoção	A pé	automotor	Animal	barco	aéreo	anfíbio	
Número de operadores	1	2	3	4	5		
Comandos	manuais	automáticos	Semi-automáticos	mecânicos	Eléctro-hidráulicos	Hidromecânicos	Hidráulico/manual
Fonte de energia	Motor CI	Motor elétrico	Motor CI+bomba hidráulica	Motor CI+gerador+motor elétrico	Animal(bufo)	Animal(bufo)	Animal(mulata)
Sistema motriz	Trator >100cv	50cv<Trator<100cv	30cv<Trator<50cv	Trator<30cv	Motor CI+gerador	Motor CI+bomba hidráulica	Animal+rodas, polias, alavancas
Graus de liberdade dos mecanismos	X	Y	Z	X <sub>Y</sub>	X <sub>Z</sub>	Y <sub>Z</sub>	XYZ
Sistema de suporte	Suportado pelo operador (costas)	Suportado pelo operador (braços)	Suportado pelo operador (ombros)	Suportado pelo operador (mãos)	Suportado por animal	Suportado por trator	Suportado por chassi
Transporte/babaçu	carreta	caminhão	Cestos no sistema	Sistema de recolhimento mecânico	Recolhimento manual durante operação	Recolhimento manual no chão	

**FIGURA 10 - Matriz morfológica proposta para uma colhedora de babaçu por Albiero et al. (2007).**

## **2.5. Parâmetros para avaliação de uma máquina de limpeza de café que utilize por peneiras**

As peneiras são equipamentos destinados para separar materiais sólidos em duas ou mais classes diferenciadas por apresentar dimensões físicas próximas. As peneiras são diferenciadas pela natureza do material que a constitui, pela sua forma, pelas dimensões dos orifícios e pela presença ou não de movimento relativo à sua base. Quanto à natureza do material podem ser constituídas de chapas perfuradas, de telas, ou até de barras paralelas, denominadas grelhas.

Quando a peneira é constituída por chapa perfurada suas propriedades serão caracterizadas pelo formato geométrico e espaçamento dos orifícios. Nas peneiras construídas a partir de telas suas propriedades são dadas pelo espaçamento da trama e espessura dos fios que constituem esta trama. As grelhas são as peneiras montadas pelo posicionamento em paralelo de barras, em que são caracterizadas pelo espaçamento entre as barras e a espessura destas.

As peneiras podem ser diferenciadas ainda quando à posição relativa e movimento relativo de sua superfície de peneiramento, que poderão ser em relação ao nível como peneira plana ou inclinada, quanto ao movimento relativo será peneira fixa ou que apresente algum outro movimento periódico regular. As peneiras quando apresentam movimento relativo podem apresentar movimento de vai e vem ou movimento rotativo. Quando a peneira apresentar uma superfície de peneiramento cilíndrico, com movimento giratório em relação ao eixo longitudinal do cilindro, será denominada peneira giratória ou trommel (CARRISSO; CORREIRA, 2004).

Existem ainda peneiras que apresentam o movimento de vai e vem, estas são classificadas como vibratória ou recíprocativa. A diferença está na frequência do movimento, quando a peneira apresentar uma frequência de 10 a 60 HZ peneira é classificada como peneira vibratória e 1 a 13 HZ, é denominada peneira recíprocativa (CARRISSO; CORREIRA, 2004).

A abanação é um processo de separação, em que a partir da mistura de fragmentos de plantas, fruto e folhas, principalmente, resultante da derrça, busca-se separar os frutos do restante. Este é composto por estruturas que podem apresentar dimensões maiores e menores que os frutos.

Analisando-se as imagens de frutos de café é possível observar que se trata de um objeto elipsoide, apresentando comprimento e largura. Quando observado mais atentamente apresenta três dimensões principais, sendo elas: comprimento (a), maior diâmetro (b) e menor diâmetro (c), Figura 11.

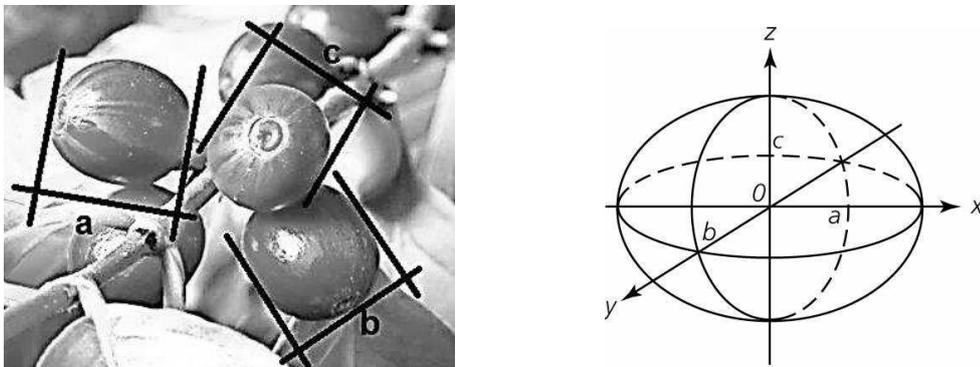


FIGURA 11 - Comprimento do fruto "a", maior diâmetro do fruto "b" e menor diâmetro do fruto "c".

Magalhães (1999) após analisar amostra de frutos de café das cultivares Timor e Catuaí observou a redução das dimensões e do ângulo de repouso à medida que o teor de água dos frutos de café diminuía, os frutos maiores da amostra apresentaram em sua maior dimensão 15,3mm com intervalo de confiança de 14,4 a 16,2mm, para uma probabilidade de 95%, Quadro 5.

QUADRO 5: Valores médios e intervalos de confiança para os três eixos principais do fruto de café (MAGALHÃES, 1999)

Umidade (% b.u.)	Dimensão do fruto	Média da amostra (mm)	Desvio- padrão	IC (95%) (mm)
70,4	a	15,3	1,2	14,4 - 16,2
	b	13,9	1,1	13,1 - 14,7
	c	13,3	0,9	12,7 - 13,9
11,1	a	13,8	0,7	13,3 - 14,3
	b	10,1	0,3	9,9 - 10,3
	c	8,6	0,4	8,3 - 8,9

Coelho et al. (2015), a partir de amostras de café Catuaí Vermelho IAC 144, coletadas e no período de maio de 2013 a julho de 2013, concluíram que as dimensões e massas dos frutos de café aumentam de acordo com o avanço do estágio de maturação. Observaram também que as médias das maiores e menores dimensões do fruto cereja eram de 17,12 e 14,66 mm respectivamente, e a média do comprimento do pedúnculo era de 6,64mm e 6,36mm para frutos verdes e cerejas respectivamente.

Magalhães (1999) baseado no limite superior do intervalo de confiança para a maior dimensão do fruto de café obtido em suas amostras de café, do cultivar Timor e Catuaí, escolheu uma peneira com orifícios com 20 mm, que já existente no mercado.

Na prática existem fatores complicadores no processo de peneiramento, como: o choque entre as partículas sobre a peneira, obstrução dos orifícios da peneira, coesão entre as partículas, adesão das partículas à superfície da peneira e teor de água do produto peneirado inadequado, visto que partículas secas escoam melhor sobre e através da peneira, (McCABE et al., 2005).

Segundo Carrisso; Correira (2004), nas peneiras planas as partículas com dimensões superiores a 85% da dimensão interna do orifício da peneira vão apresentar dificuldades em atravessar a peneira, considerando-se esta condição, espera-se que peneiras com a medida interna dos orifícios de 20

mm vão apresentar um peneiramento satisfatório de partículas que apresentem até 17 mm em sua maior dimensão. Segundo McCabe et al.(2005), em caso de peneiramento por peneiras classificadas como grelhas, a passagem da partícula é limitada pela sua menor dimensão.

Quanto à metodologia para determinação da eficiência de limpeza das peneiras não existe uma unanimidade no meio técnico (CARRISSO; CORREIRA, 2004; GREEN; PERRY, 1999). Esta é a razão pela qual existem diversas formas para se determinar a eficiência. Green; Perry, (1999) sugerem determinação da eficiência diferente em condições como quando o objetivo for a separação do produto grosso ou quando for para a separação do fino.

McCabe et al. (2005) propõe que para a determinação da eficiência de uma peneira a utilize-se uma relação matemática que empregue índices correspondentes à proporção da impureza na mistura de alimentação, no produto apurado e no material descartado, citada por SOUZA (2004), MAGALHÃES (1999), e TEIXEIRA (1988).

A capacidade da peneira, no entanto, é um valor que leva em consideração a quantidade de produto a ser limpo em função da área de peneira e da unidade de tempo, que por sua vez é influenciada pelo espaçamento entre as malhas da peneira, pelo teor de impurezas inicial e finalmente pela eficiência de limpeza mínima (McCABE et al. 2005).

A comparação ou avaliação de peneiras leva em consideração a eficiência e a capacidade da peneira, parâmetros estes concorrentes. Com o aumento da capacidade da peneira observa-se uma conseqüente redução em sua eficiência de limpeza (McCABE et al. 2005). Para obtenção de uma capacidade produtiva econômica, em condições de nível industrial, procura-se aquela que propiciará a eficiência de limpeza satisfatória, que está na faixa de 80 a 90%, podendo em alguns casos alcançar 95%, (CARRISSO; CORREIRA, 2004).

Já o consumo de energia para que o equipamento trabalhe é informado pela potência demandada que é definida como a quantidade de trabalho disponibilizado por unidade de tempo, sua unidade de medida no SI é W. Em movimentos giratórios a potência pode ser estimada a partir dos valores de torque e velocidade angular (SEARS et al., 1984; HALLIDAY et al., 2012).

Para a obtenção da potência demandada por um sistema de movimentos giratórios, além da velocidade angular do dispositivo, é necessário estimar-se o torque aplicado. Para isto existem equipamentos denominados transdutores resistivos (BRITO, 1994).

Segundo este mesmo autor, o termo transdutor refere-se ao equipamento que sofre modificações em virtude de variações de componentes físicas, como temperatura, umidade, força ou torque, provocando modulações de sinais eletroeletrônicos ou sentido inverso.

Especificamente um torquímetro dinâmico é um transdutor resistivo, assim denominado, pois o torque aplicado em seu eixo, eixo este com efeito de mola, produz uma deformação, quando torcido, que é percebida por uma variação da resistência elétrica em resistores extensômetros aderidos ao eixo (BRITO, 1994).

O posicionamento do transdutor deverá ser instalado em um ponto entre a fonte da força e o eixo que recebe a força como mostrado na Figura 12.

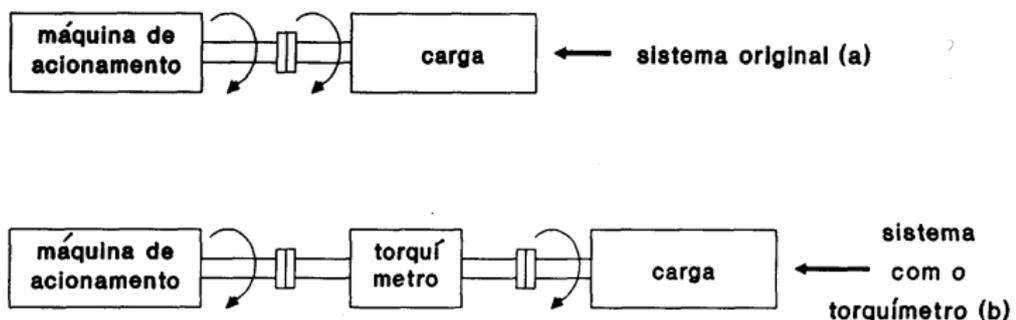


FIGURA 12 – Disposição do torquímetro dinâmico no sistema de movimento giratório (BRITO, 1994).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Desenvolvimento da máquina**

Depois de decidido que a máquina deverá atender á atividade de abanação partiu-se para o desenvolvimento da máquina iniciado com a elaboração de um relatório informacional em que foram delimitados os problemas existentes, identificação do público alvo favorecido e definidas as metas a serem alcançadas.

Conhecido o ambiente em que a máquina deverá atuar estabeleceram-se diversas propostas para a máquina, que no seu funcionamento básico deverá atender a três tarefas, receber o produto para beneficiamento, separar os frutos de café do restante, e o café limpo entregue para que seja ensacado. Então foram relacionadas diversas soluções para cada momento do trabalho da máquina. Cada uma destas soluções receberam notas relativas à disponibilidade e viabilidade de aplicação, menor custo, eficácia da solução e por solução é a mais eficiente.

Com estas informações elaborou-se uma matriz morfológica dispendo-se na planilha cada etapa de funcionamento da máquina com suas respectivas soluções e respectivas notas. Ligadas as soluções com melhores notas obteve-se então a sequência de soluções ideal de funcionamento da máquina para se atender a meta estabelecida.

#### **3.2. Construção da máquina.**

A construção da iniciou-se com a obtenção das partes que constituíram o cerne da máquina constituído das estruturas dos cilindros rotativos com seus anéis e das duas chapas que os servem como apoio. O corte destas chapas e dos anéis foram possíveis devido à colaboração da POLIDRYER – Indústria e Comércio de Máquinas Ltda. que cedeu seus serviços na máquina de corte a plasma. As extremidades dos cilindros, o fuso da rosca sem fim e os acabamentos dos acoplamentos elásticos foram realizados

com o auxílio do torno mecânico existente no laboratório. O Restante da máquina foi construído por meio de corte, dobramento de chapas e tubos fixados por solda elétrica e parafusos.

Foram utilizados para construção desta máquina:

- (2) Chapa 18 de aço carbono SAE 1020;
- (1) Chapa 16 de aço carbono SAE 1020;
- (2) Tubo de aço quadrado estrutural 20 x 20 x 1,5 mm NBR8261;
- (1) Tubo redondo de aço galvanizado com diâmetro externo de 3/4" espessura 1,5mm NBR 5580/2002;
- (1/2) Barra de aço redondo, trefilada, SAE 1020, diâmetro externo de 3/4";
- (12) Parafuso sextavado, baixo carbono, chave 1/2", 3/8" x 1", com duas arruelas lisas e um de pressão para cada parafuso;
- (12) Parafuso sextavado, baixo carbono, chave 7/16", 3/16" x 1 1/4", com duas arruelas lisas e um de pressão para cada parafuso;
- (14) Parafuso máquina inox, fenda simples, cabeça redonda, 1/4" x 3/8" c/ arruela lisa;
- (2) Acoplamento elástico de cruzeta tamanho CR01;
- (2) Rolamento de esferas, B12-57T1K NSK;
- (14) Engrenagem em chapa de aço inox estampado com 17 dentes;
- (1) Motor elétrico trifásico com 1/3cv.

### **3.2.1. Construção do quadro de roletes.**

O quadro de cilindros rotativos é constituído pelas chapas cortadas e cavadas e soldadas em um esquadro de tubo aço quadrado estrutural 20 x 20 x 1,5 mm NBR8261 para apoiar e suportar o movimento giratório dos cilindros rotativos mantendo-os em espaçamento adequado.

### 3.2.1.1. Confeção dos roletes

Foram construídos a partir da segmentação de um tubo de aço carbono galvanizado, redondo NBR5580/2002, com diâmetro externo de 3/4 de polegada, em partes com 40 cm de comprimento cada, Figura 13.

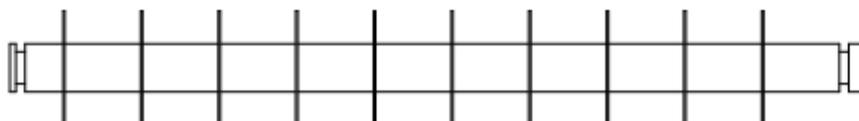


FIGURA 13 – Vista longitudinal de uma unidade do rolete.

Para o fechamento destes segmentos de tubo foram usinados segmentos, com quatro centímetros de comprimento, de uma barra de aço redonda de aço carbono, nos quais foram abertos, com torno mecânico, sulcos transversais de três milímetros de largura e cinco milímetros de profundidade, posicionados a dois centímetros de uma das extremidades. Em uma das extremidades destas peças, desgastou-se longitudinalmente por 10 mm, em profundidade igual à espessura da parede do tubo, de forma a possibilitar a introdução das peças nas extremidades dos tubos, pelos 10 mm, sem formação de ressalto, Figura 14.



FIGURA 14 – Acabamento final da extremidade de uma das unidades dos roletes com engrenagens.

A metade das peças de barra redonda sofreram a furação e abertura de rosca para receber o parafuso de fixação da engrenagem (Parafuso de máquina, inox, fenda simples, nas dimensões 1/4" x 3/8"), Figura 15.



FIGURA 15 – Engrenagem em chapa estampada de aço inox utilizadas na confecção dos roletes.

Utilizando-se de solda elétrica foram fixados nas extremidades dos tubos os segmentos confeccionados a partir da usinagem da barra redonda, em que cada segmento de tubo recebeu nas suas extremidades um dos segmentos próprio para acoplamento da engrenagem e apoio na mesa de roletes e outro para apenas apoio na mesa de roletes.

Os anéis foram soldados transversalmente ao eixo longitudinal do segmento do tubo, mantendo-se um espaçamento relativo entre os anéis de 4 cm. Observado que a partir da extremidade de fixação das engrenagens a metade dos roletes teve o primeiro anel fixado a três centímetros do sulco e a outra metade fixada a cinco centímetros do sulco.

#### **3.2.1.2. Montagem do quadro de roletes**

O quadro foi montado a partir de duas chapas com cavas, Figura 16, com distanciamento entre centro de 40 mm com profundidade de 20 mm, que acomodaram os roletes pelos sulcos de suas extremidades, de modo a desencontrar os anéis do rolete ao lado, Figuras 17 e 18.



FIGURA 16 – Chapa com as cavas que receberam os roletes na montagem do quadro de roletes.

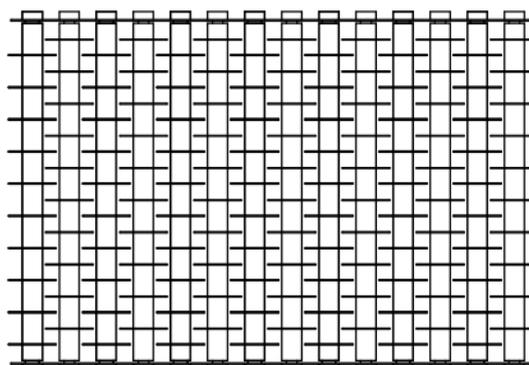


FIGURA 17 – Vista superior do quadro de roletes.

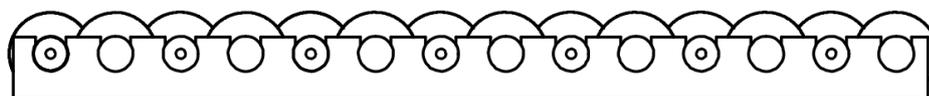


FIGURA 18 – Vista lateral do quadro de roletes.

### 3.2.2. Construção do mecanismo de acionamento dos roletes

O mecanismo de acionamento dos roletes foi construído baseado no movimento giratório produzido por um motor elétrico, cuja velocidade de giro fornecida, pode ser modulada por inversor de frequência, Figuras 19 e 20.

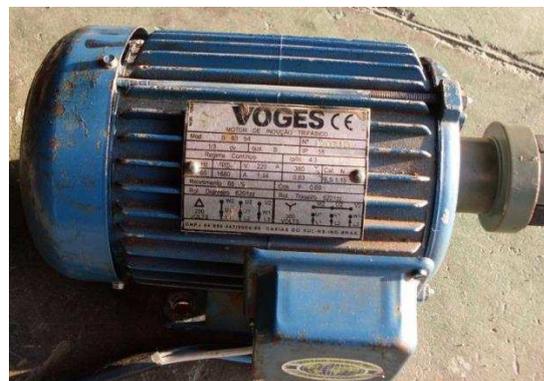
O movimento giratório dos roletes tem origem no movimento transmitido por uma rosca sem fim acoplada a um motor elétrico por meio de um acoplamento elástico de cruzeta CR01, Figura 19.



FIGURA 19 – Disposição do eixo de rosca sem fim, dos roletes e do motor elétrico.



(a)



(b)

FIGURA 20 – Imagem do inversor de frequência (a), e motor elétrico (b).

O sistema de acionamento foi iniciado a partir da produção de uma eixo de rosca sem fim, para tanto, usinou-se uma barra redonda trefilada de aço carbono SAE 1020 com diâmetro de 3/4". Durante a usinagem foi construída uma rosca com um passo compatível com as engrenagens fixadas nas extremidades dos roletes. Em cada extremidade deste eixo foi acoplada uma flange com rolamento de esferas e então fixados na estrutura da máquina, transversalmente aos roletes, Figura 21. Em uma das extremidades deste eixo foi adaptado um acoplamento elásticos de cruzeta, para propiciar a transmissão de potência do motor elétrico.



FIGURA 21 – Eixo de rosca sem fim com os flanges de fixação.

### 3.2.3. Construção da estrutura da máquina.

A estrutura da máquina é composta por segmentos de tubo de aço quadrado 20 x 20 x 1,5 mm NBR8261, que soldados formam a base da máquina Figura 22.

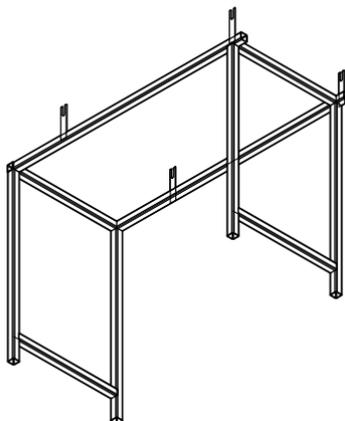


FIGURA 22 – Quadro estrutural da máquina constituído de perfil metálico, no qual foram soldados ou parafusadas as demais partes da máquina.

### 3.2.4. Confeção das calhas, contenção lateral e moega

As calhas e moegas foram manufaturadas a partir do corte e dobramento de chapa aço carbono 18 SAE 1020. A moega de despejo de frutos limpos foi soldada ao quadro estrutural, enquanto que as calhas de alimentação e despejo de descarte, assim como, as chapas de contenção lateral foram fixadas com parafusos sextavados 3/8" x 1", de modo a permitir desmontagem e reparo da máquina.

### **3.2.5. Montagem da máquina**

A montagem seguiu a seguinte ordem: soldagem do quadro de roletes no quadro estrutural; fixação do sistema de acionamento com parafusos; soldagem da moega de despejo de frutos limpos e finalmente fixação das calhas e contenção lateral com parafusos.

### **3.3. Avaliação da máquina desenvolvida**

Após a máquina ser testada no Laboratório de Mecanização Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, em julho de 2014, ela foi levada para avaliação em campo para os trabalhos de coleta de dados realizados no mês de junho de 2015.

O local escolhido foi uma área de produção de café pertencente ao Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Viçosa, 20°44'59,23"S 42°51'13,58"O e 683m altitude.

O material utilizado para os ensaios originou da produção de talhões com elevada diversidade de cultivares de café Catuaí Vermelho, pois pertencem a uma área com plantas de café remanescente de uma área de experimentação de novos cultivares de café da EPAMIG, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais.

#### **3.3.1. Análise estatística**

Para caracterizar o material utilizado para avaliação da máquina foi retirada uma amostra representativa e dela retirados aleatoriamente 30 frutos para cada grau de maturação que foram medidos nas três dimensões e os dados avaliados estatisticamente determinando-se o tamanho médio e o intervalo de segurança para um  $\alpha = 5\%$  pelo teste t.

O experimento foi conduzido por um esquema fatorial 3x4 (três cargas; quatro velocidades) no delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições. Os dados foram analisados por meio da metodologia da superfície de resposta (MSR). Os modelos escolhidos foram aqueles que melhor descreveram o comportamento da variável, utilizando o programa estatístico SAEG, aceitando para uma probabilidade de  $\alpha = 5\%$ , pelo teste t.

As cargas aplicadas foram de 12, 18 e 24 litros. As velocidades angulares dos roletes aplicadas foram de 48, 54, 60, 66 rotações por minuto, respectivamente 5,03; 5,65; 6,28 e 6,91 rad . s<sup>-1</sup>.

### 3.3.2. Eficiência de limpeza da máquina

Para avaliação da eficiência de limpeza efetuada pela máquina em cada parcela foi utilizada a Equação 1:

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

em que

E = eficiência de separação, em valores decimais,

I<sub>i</sub> = índice inicial da amostra que vai ser limpa,

I<sub>f</sub> = índice final do café limpo e,

I<sub>d</sub> = índice do resíduo descartado.

Para o emprego desta equação exige-se a determinação dos índices de folhas inicial, no café limpo e no descarte.

O índice inicial (I<sub>i</sub>) é a proporção da massa de folhas na massa da amostra retiradas do material com o qual foram preparados os vasilhames com as cargas de cada parcela, amostra esta com massa aproximada de 350 g, os valores obtidos foram inseridos na Equação 2:

$$I_i = \frac{M_i}{M_a} \quad (2)$$

em que

$I_i$  = Índice inicial, ( $g\ g^{-1}$ ),

$M_i$  = massa total de folhas, na amostra inicial, (g), e;

$M_a$  = massa da amostra, (g).

O índice final ( $I_f$ ) corresponde à proporção da massa de folhas presentes na massa da amostra, em amostra retirada do despejo de frutos limpos, com massa aproximada de 350 g, inseridos na Equação 3:

$$I_f = \frac{M_f}{M_a} \quad (3)$$

em que

$I_f$  = Índice final, final ( $g\ g^{-1}$ ),

$M_f$  = massa de folhas presentes junto aos frutos de café limpos (g), e;

$M_a$  = massa da amostra (g).

Finalmente, calculou-se o índice do descarte, que corresponde à proporção da massa de folhas presentes na amostra pela massa da amostra, amostra esta também com massa aproximada de 350 g, inseridos na Equação 4:

$$I_d = \frac{M_d}{M_a} \quad (4)$$

em que

$I_d$  = Índice do descarte, em ( $g\ g^{-1}$ ),

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

$M_a$  = massa da amostra (g).

De posse dos valores dos diversos índices, estes foram então inseridos na Equação 1, e desta forma foi estimada a eficiência de limpeza em cada parcela.

### 3.3.3. Capacidade específica da máquina

A capacidade da máquina foi avaliada em função do tempo necessário para a completa desobstrução da peneira. O tempo obtido em cada parcela juntamente com a área da peneira e a carga de frutos aplicada foram inseridos na Equação 5, para obtenção do valor da capacidade da máquina.

$$C = \frac{V}{t A_p} \quad (5)$$

em que

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

V = volume da carga de frutos para limpeza ( $\text{m}^3$ ),

t = tempo para processamento da medida (h), e;

$A_p$  = área da peneira ( $\text{m}^2$ ).

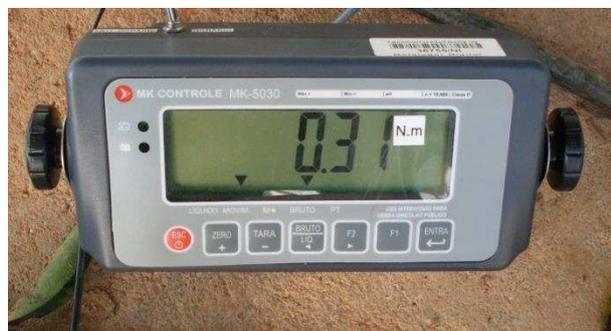
### 3.3.4. Demanda de potência

Para estimar a potência demandada pelo sistema de movimento giratório da máquina foi necessária a aquisição dos valores da velocidade angular e do torque aplicado no eixo de rosca sem fim na execução da tarefa.

O valor do torque estimado foi fornecido pelo torquímetro dinâmico MKDC-10, alimentação 10 Vcc e sensibilidade 1,67 mV/V e capacidade 10 Nm em conjunto com o indicador de torque MMK5030, com capacidade de 10 Nm, resolução de 0.01 N m e sinal de entrada de 0 a 20 mV, Figura 23.



(a)



(b)

FIGURA 23 – Torquímetro dinâmico modelo MKDC-10 (a), e indicador de torque modelo MMK5030(b).

Aa leituras da velocidade angular do eixo foram realizadas por um tacômetro de contato MINIPA modelo 2238A , que apresenta uma taxa de amostragem de 0,5s (acima 120 rpm), leitura por contato na faixa de 0,5 até 19999 rpm, resolução de 1 rpm quando acima de 1000 rpm e precisão de  $\pm 0,05\%$ , Figura 24.



FIGURA 24 – Tacômetro de contato MINIPA modelo 2238A.

A coleta de dados de torque e de velocidade angular do eixo foi realizada simultaneamente a cada repetição, em que, para cada repetição foi obtido o valor máximo de torque máximo fornecido no visor do indicador de torque e da velocidade angular produzida no eixo de rosca sem fim, estimada pelo tacômetro de contato.

A potência demandada foi obtida pela inserção destes valores na Equação 6:

$$P = \frac{2\pi n T}{60} \quad (6)$$

em que

P = potência (W);

N = velocidade angular do eixo (rpm), e;

T = torque (N m).

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1. Desenvolvimento da máquina**

#### **4.1.1. Projeto informacional**

O desenvolvimento da máquina teve início pelo atendimento da demanda dos produtores de café solução dos problemas relacionados ao custo elevado e escassez de mão de obra. Neste contexto é inserido este projeto de uma máquina de abanação. Nas regiões em que o cultivo de café ocorre em condições de relevo desfavorável mecanização da colheita, o que torna necessário a utilização da colheita semimecanizada, que nada mais é do que a mecanização de etapas da colheita.

É observado que os trabalhadores envolvidos na colheita precisam interromper a derriça para abanar o café já derriçado, pois todo café colhido deve ser processado no mesmo dia em é colhido. Esta interrupção é motivo de queixa, pois percebem que poderiam ser muito mais produtivos economicamente caso não fosse necessário abanar o café, que ao final do dia precisa estar limpo para então ser medido e posteriormente pago. Nesta caminho aparece possibilidade do desenvolvimento de uma abanadora eficiente de café, que proporcionará ao trabalhador maior volume de café colhido, pois terá mais tempo para se dedicar a derriça e quanto ao produtor contratante receberá um café com teor de impureza uniforme, o que favorece as duas partes.

Diante do exposto é mais fácil entender o conteúdo do Quadro 6 que informa os detalhes que motivam execução deste trabalho:

QUADRO 6 – Informativo dos clientes para máquina, da motivação, dos requisitos necessários e das metas a serem atingidas com a produção desta máquina

Cientes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabalhador que realiza a colheita de forma autônoma.</li> <li>• Produtor de café.</li> </ul>
Motivação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior produtividade diária para o trabalhador da colheita.</li> <li>• Padronização teor de impureza do café derriçado</li> </ul>
Requisitos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simplicidade e robustez, para propiciar reparos e baixo custo para aquisição.</li> <li>• Dimensões reduzidas com baixo consumo de energia, para seu emprego dentro da lavoura junto ao momento da derriça.</li> </ul>
Metas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpar o café com eficiência utilizando um mecanismo de baixo consumo.</li> </ul>

#### 4.1.2. Idealização da máquina

Estabelecidos os requisitos e as metas a serem alcançadas foram relacionadas soluções que depois de avaliadas foram encontradas as propostas mais viáveis para a maquina para abanação de café, Quadro 7.

A avaliação foi realizada levando em consideração condições importante para o alcance da meta e realização do projeto, com pesos diferentes podendo cada quesito alcançar até 6 pontos:

1. Disponibilidade e viabilidade de aplicação da solução (2 pontos),
2. Menor custo comparativamente (1 ponto),
3. Eficácia da solução (2 pontos);
4. Solução é a mais eficiente comparativamente (1ponto).

Esta avaliação a apresentada acima de cada solução com o somatório final.

QUADRO 7 – Matriz morfológica montada de forma esquemática para fins de visualização da metodologia que será empregada no desenvolvimento do modelo inicial da máquina

Funções	Soluções			
	I	II	III	IV
Captação do produto  Moega com alimentação contínua	1 0 0 0 1  Moega com alimentação por batelada	1 0 1 1 3  Calha inclinada com alimentação contínua	2 1 2 0 5  Calha inclinada alimentação por batelada	
Separação do material grúdo  Peneira plana com auxílio de vibração	1 1 1 0 3  Peneira plana com auxílio de fluxo de ar	1 1 1 0 3  Peneira giratória (trommel)	2 1 2 1 6  Roletes giratórios	
Fonte de energia  Motor elétrico	1 0 2 0 3  Motor Combustão interna	1 0 2 0 3  IUP trator		
Acionamento do mecanismo  Polia e correia	1 0 2 1 4  Rodas dentadas e correntes	2 0 2 1 5  Engrenagens e rosca sem fim		
Descarga dos detritos  Moega despejando em sacos.	2 0 0 0 2  Moega despejando em caixas.	2 1 2 1 6  Calha inclinada despejando em sacos.	2 1 2 1 6  Calha inclinada despejando em caixas.	
Descarga do produto beneficiado  Moega despejando em sacos.	2 1 2 1 6  Moega despejando em caixas.	1 0 1 0 2  Calha inclinada despejando em sacos.	1 0 1 0 2  Calha inclinada despejando em caixas.	

No decorrer do estudo das alternativas foi idealizada uma disposição das partes da máquina, para alcançar funcionamento otimizado e harmônico entre as partes, Figura 25.

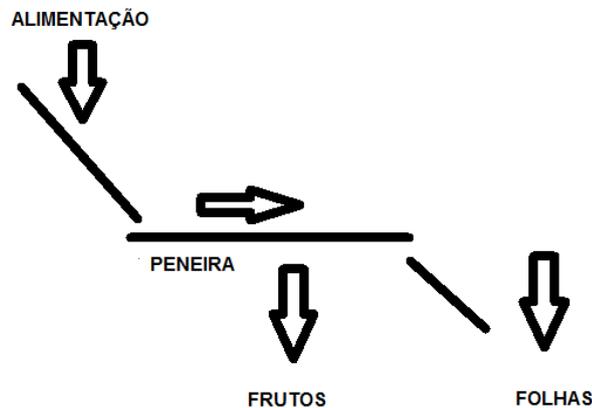


FIGURA 25 – Fluxo operacional idealizado para atender a proposta da máquina.

A alternativa de construção escolhida para a máquina é o resultado dos seguintes motivos:

- Na captação do produto a solução melhor avaliada foi decorrente do menor custo compara as demais, a fato que no campo o café é oferecido para abanação em porções e que este café muitas vezes é acompanhado de ramos e gravetos que podem obstruir a moega, a solução escolhida foi a da calha com alimentação por bateladas.
- Quanto à separação do material graúdo foi escolhido o sistema de roletes rotativos, que para esta situação é um mecanismo inovador, pois já existem máquinas abanadoras no mercado baseadas em peneiras planas e que contam com auxílio de vibração e fluxo de ar.
- A escolha do motor elétrico como fonte de energia para máquina se deve ao fato de que nas condições experimentais é possível com um inversor de frequência alterar a velocidade angular entre à máquina pelo motor, possibilitando avaliar parâmetros da máquina em função da velocidade angular dos roletes.

- O acionamento do mecanismo por engrenagens e rosca sem fim foi o escolhido, pois já havia disponibilidade das engrenagens que foram utilizadas, as outras soluções demandam encontrar rodas dentadas ou polias com esticadores de correias pequenos de forma a manter os espaçamentos de roletes necessários.
- Ao se considerar a descarga de detritos eliminou-se a possibilidade das moegas em virtude da possibilidade de obstrução da saída por galhos ou gravetos.
- Para a construção foi escolhida a alternativa da caixa entendendo-se que não há a necessidade em campo recolher de forma sistemática, em sacos de resíduos de limpeza que mais tarde deverão ser esparramados na superfície do solo na lavoura.
- Em virtude da forma elítica do fruto por questões ainda de posicionamento quanto a fluxo anteriormente descrito na Figura 16 a moega é a melhor solução podendo receber lateralmente em sacos ou por baixo da máquina nas caixas. Destes foi escolhido para a máquina à moega que deposita os frutos limpos em caixa pela maior facilidade de coleta de porções que servirão de amostras durante o ensaio da máquina.

Diante do exposto a máquina ganhou a aparência representada nas Figuras 26 e 27.

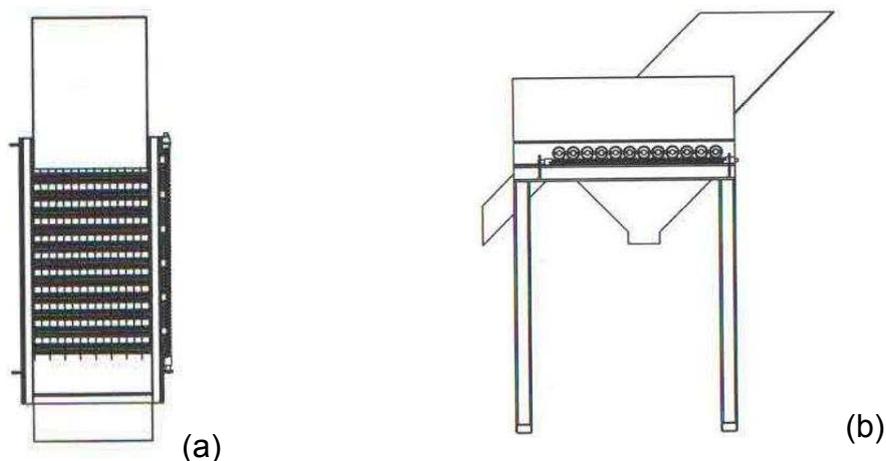


FIGURA 26 - Vista superior (a) e vista lateral (b) do protótipo.

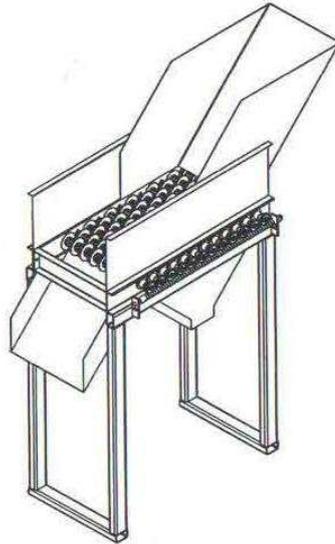


FIGURA 27 - Vista em perspectiva do protótipo.

#### 4.2. Construção da máquina.

A máquina foi idealizada partindo-se da ideia de se testar um conceito diferente de peneira, que é constituído pela formação de grade por diversos eixos os quais ao longo de sua extensão existem anéis, perpendiculares ao seu eixo longitudinal, com distribuição uniforme, Figura 28. Os desencontros dos anéis, dos eixos imediatamente ao lado, formam janelas com dimensões internas aproximadas de 20 por 20 mm.



FIGURA 28 – Quadro estrutural com moega de despejo, quadro de roletes e mecanismo de acionamento.

O movimento giratório de cada eixo tem como efeito a condução das folhas para fora da área de peneira, o que mantém a superfície de separação livre, quando decorrido o tempo necessário para o sistema descartar a massa retida sob a peneira.

Com este sistema objetivou-se reter as folhas sobre os roletes e conduzi-las para o despejo enquanto os frutos que atravessam as janelas do quadro de roletes são direcionados à moega que recebe os frutos limpos. Lembrando-se que as partículas menores que por ventura acompanham os frutos são facilmente eliminadas no lavador e que não acarretam aumento de volume do café transportado da lavoura até o lavador ou terreiro.

A máquina pode ser dividida em quatro partes constituintes básicas, Figura 29:

- o quadro, em que os roletes permanecem dispostos;
- o mecanismo de acionamento dos roletes,
- acessórios de alimentação, contenção e despejo; e;
- estrutura que une e suporta o quadro de roletes, o mecanismo de acionamento e partes acessórias.



FIGURA 29 – Máquina totalmente montada.

### 4.3. Avaliação da máquina desenvolvida

Depois de testada no Laboratório de Mecanização Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, em julho de 2014, a máquina foi levada para avaliação em campo para os trabalhos de produção de dados realizados no mês de junho de 2015.

O local escolhido foi uma área de produção de café pertencente ao Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Viçosa, 20°44'59,23"S 42°51'13,58"O e 683m de altitude.

#### 4.3.1. Caracterização do material utilizado para avaliação da máquina

A matéria prima utilizada para o ensaio da máquina foi um lote de café arábica recém-derrizado, originado de uma área plantada com diversos cultivares diferentes de café Catuaí Vermelho. A mistura de frutos de café e folhas, retirados ramos e galhos, apresentava como características: 13,64% de folhas em massa, 65,2% de umidade em base úmida medida pelo método padrão de estufa, e 60,5% dos frutos maduros.

Pode ser observado que os frutos com maiores dimensões eram os frutos no estágio de maturação cereja, possível de ser visualizado no Quadro 8, cuja maior extensão apresentou em média 14,49 mm dentro de um intervalo de confiança de 13,96 a 15,02 mm, com  $\alpha = 5\%$  pelo teste t.

QUADRO 8 – Dimensões dos frutos do produto utilizado, apresentando média das principais dimensões (em mm) e respectivos intervalos de confiança com  $\alpha = 5\%$  (teste t)

Grau maturação dos frutos	Comprimento		Maior diâmetro		Menor diâmetro	
	Média	Intervalo de confiança	Média	Intervalo de confiança	Média	Intervalo de confiança
Verde	12,43	12,12 - 12,74	10,42	10,08 – 10,76	9,80	9,48 – 10,11
Verdoengo	13,47	12,84 – 14,11	12,02	11,49 – 12,54	11,30	10,49 – 12,10
Cereja	14,49	13,96 – 15,02	12,70	12,35 – 13,05	11,52	11,17 – 11,87
Passa	13,34	12,77 – 13,91	11,28	10,77 – 11,78	10,45	9,97 – 10,93
Seco	12,12	11,48 – 12,76	9,83	9,26 – 10,40	9,01	8,56 – 9,45

### 4.3.2. Eficiência e capacidade específica da máquina

Os dados coletados para avaliação da eficiência foram tabulados e avaliados estatisticamente, pelo qual obteve-se os modelos que melhor representam o comportamento da máquina nas condições em que foi testada. Nos quadros 9 e 10 temos a análise de variância e os parâmetros de regressão para os dados coletados para estudo do comportamento da eficiência da máquina sujeita a três cargas diferentes, em quatro velocidades e quatro repetições.

QUADRO 9 – ANOVA: referente avaliação estatística dos dados coletados referentes à eficiência de limpeza da máquina diante da variação da velocidade angular dos roletes da peneira e da carga aplicada na máquina

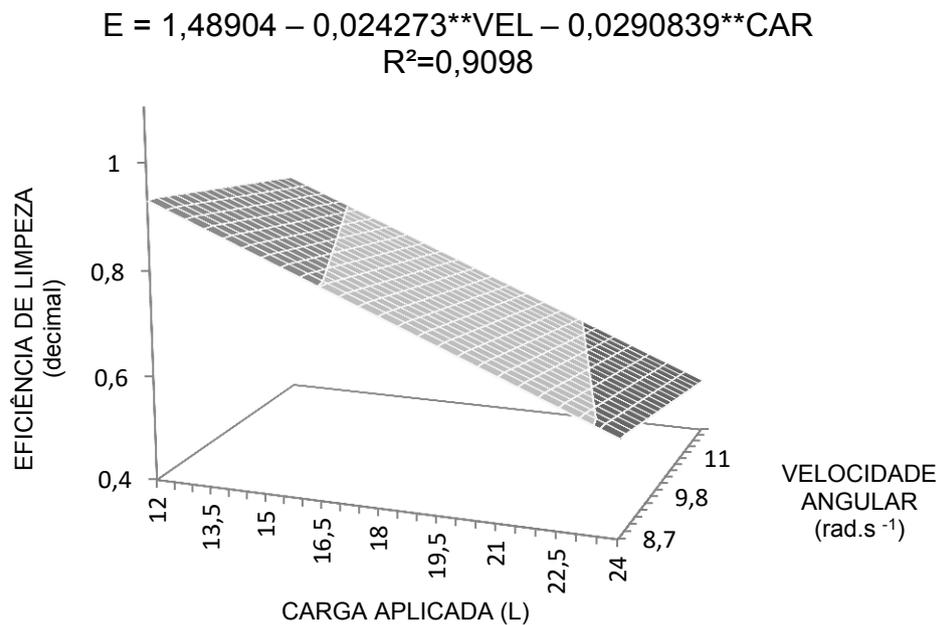
Análise de Variância					
Fontes de variação	GL	Soma quadrados	Quadrado médio	F	Prob.
Devido à regressão	2	1,0167100	0,508355000	227,18	0,0000**
Independente	45	0,1006957	0,002237681		

QUADRO 10 – Parâmetros da regressão referente ao modelo que melhor expressa o comportamento da eficiência de limpeza da máquina diante da variação da velocidade angular dos roletes da peneira e da carga aplicada na máquina

Parâmetros da regressão				
Nome	Coefficiente	Desvio padrão	Valor de t	Prob.
Constante	1,4890400			
Vel. Angular	- 0,0241273	0,00555176	- 4,345876	0,0000**
Carga	- 0,0290839	0,00139371	- 20,867967	0,0000**
R <sup>2</sup>	0,909884			
R <sup>2</sup> ajustado	0,905879			
Modelo:	$\bar{Y} = 1,48904 - 0,0241273^{****}. X - 0,290839^{**}.Z;$			
onde,	$\bar{Y}$ = eficiência, em valores decimais; X = velocidade angular, em rad. s <sup>-1</sup> ; Z = carga aplicada, em L.			

Dos parâmetros de regressão foi obtido um modelo de superfície de resposta, que plotados graficamente produziu o gráfico da Figura 33. É importante frisar que a eficiência de limpeza não pode ser analisada isoladamente da capacidade efetiva da máquina. McCabe (2005) afirma que capacidade operacional e eficiência de limpeza são grandezas antagônicas. Existe uma dependência, onde Carrisso; Correira et al., (2004), afirmam que para determinação da capacidade é necessário estabelecer uma eficiência mínima, que para níveis industriais deve ser de no mínimo 80% para ser considerada viável economicamente em linhas de produção.

Durante os ensaios preliminares da máquina pode ser observada a validade destes conceitos para o princípio de funcionamento adotado para a máquina, e que a carga e a velocidade dos roletes eram inversamente proporcionais à eficiência da máquina (Figura 30).



\*\* significativo a 1% pelo teste t.

FIGURA 30 – Estimativa da eficiência de limpeza da máquina em função da velocidade angular dos roletes e da carga aplicada na alimentação.

É possível observar no gráfico exposto que à medida que se diminui a carga a eficiência de limpeza aumenta, o mesmo ocorre quando comparada a eficiência com a velocidade angular dos roletes. Matematicamente cada litro acrescido na carga reduz a eficiência em aproximadamente 2,9%, enquanto que o aumento da velocidade causa uma redução da eficiência aproximada de 2,4% a cada radiano por segundo de acrescidos á velocidade. Pois ao se analisar a função que estima a eficiência, é observado que os coeficientes para velocidade angular e para carga são negativos, o que demonstra que a eficiência máxima estimada se dará com velocidades giratórias dos roletes e com cargas menores (Figura 33).

Os quadros 11 e 12 apresentam a avaliação estatística dos dados produzidos para avaliação da capacidade de limpeza específica da máquina.

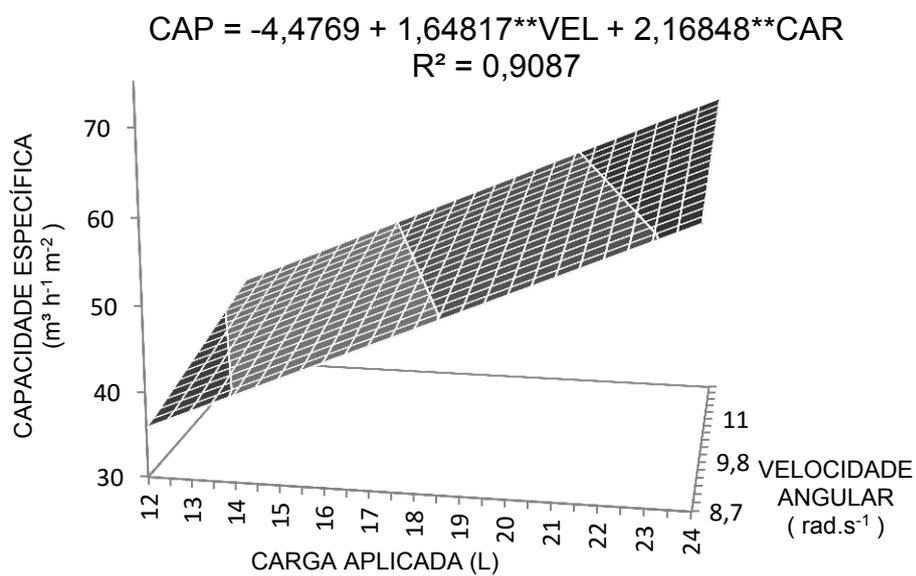
QUADRO 11 – ANOVA, referente avaliação estatística dos dados coletados referentes à capacidade específica da máquina diante da variação da velocidade angular dos roletes da peneira e da carga aplicada na máquina

Análise de Variância					
Fontes de variação	GL	Soma quadrados	Quadrado médio	F	Probabilidade
Devido à regressão	2	5614,280	2807,140	223,99	0,0000**
Independente	45	563,9646	12,53255		

QUADRO 12 – Parâmetros da regressão referente ao modelo que melhor expressa o comportamento da capacidade específica da máquina diante da variação da velocidade angular dos roletes da peneira e da carga aplicada na máquina

Parâmetros da regressão				
Nome	Coefficiente	Desvio padrão	Valor de t	Probabilidade
Constante	- 4,47690			
Vel. Angular	1,64817	0,415481	3,966888	0,0001**
Carga	2,16848	0,104302	20,790377	0,0000**
R <sup>2</sup>	0,908718			
R <sup>2</sup> ajustado	0,904661			
Modelo:	$\bar{Y} = - 4,4769 + 1,64817^{**}.X + 2,16848^{**}.Z;$			
onde,	$\bar{Y}$ = capacidade específica da máquina, em m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> ; X = velocidade angular, em rad. s <sup>-1</sup> ; Z = carga aplicada, em L.			

O modelo obtido pelos resultados observados em campo gerou o gráfico da Figura 31, em que é mostrado o comportamento da capacidade específica quando são modulados os valores de velocidade dos roletes e carga aplicada na alimentação. Quando comparado à eficiência, conforme previsto em McCabe (2005), a capacidade específica da máquina apresentou o comportamento inverso, em que pode-se observar uma tendência de comportamento dos valores estimados para capacidade diretamente proporcional aos valores aplicados de velocidade angular e carga.



\*\* significativo a 1% pelo teste t.

FIGURA 31 – Estimativa da capacidade de limpeza em função da velocidade angular e da carga aplicada.

Enquanto a eficiência da máquina piora quando a velocidade angular dos roletes e a carga aplicada são aumentadas a capacidade específica da máquina aumenta. A cada radiano por segundo acrescido à velocidade dos roletes, aumentamos em  $1,64 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$  e a cada litro acrescido a batelada aumentamos em aproximados  $2,17 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ , a capacidade específica da máquina.

Conforme o analisado é observado que o comportamento da Eficiência e a Capacidade são concorrentes, o que induz a condição de que capacidades mais altas são alcançadas em comprometimento da eficiência.

Para se estimar a capacidade específica deste protótipo estabeleceu-se uma eficiência mínima de 80%, o que é sugerido por Carrisso; Correira, (2004). Foram aplicados na função, que estima a eficiência, valores dentro do intervalo estudado que proporcionariam eficiência de 80% para buscar a carga máxima estimada com os roletes trabalhando na maior velocidade estudada, aquela que propicia a maior capacidade,  $12 \text{ rad.s}^{-1}$ . Foi encontrado um valor para carga máxima de 16,43 litros por batelada ( $0,01643 \text{ m}^3$  por batelada), na cadência igual a aquela aplicada durante o experimento, de aproximados 10 segundos, indica que esta máquina propicia uma taxa de limpeza da ordem de  $5,9 \text{ m}^3$  de café limpo por hora de trabalho. O que significa que cargas maiores que esta a eficiência apresentará valores menores que 80%.

Então, inserindo-se este valor de carga estimada, com eficiência mínima de 80% e com a velocidade de  $12 \text{ rad.s}^{-1}$ , na função da capacidade estimada, obteve-se o valor da capacidade máxima de  $45,49 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ .

É importante ressaltar que a capacidade de uma peneira estará também relacionada ao teor de impurezas na mistura inicial (McCABE, 2005), sinalizando que este valor encontrado é válido para amostras de café com as mesmas características daquela utilizada neste trabalho, pois além da velocidade dos roletes, da carga aplicada, da eficiência mínima estará também em função do teor de folhas na mistura inicial.

#### **4.3.3. Potência demandada**

A potência demandada por um sistema de movimento giratório está em função da velocidade angular e do torque aplicado. Esperava-se que qualquer aumento da carga proporcionasse um aumento significativo da

potência demanda, porém esta máquina apresentou um resultado que pode ser explicado pela elevada redução do sistema de acionamento (17:1) e pela baixa capacidade da carga colocada sobre os roletes em proporcionar um aumento de esforço nestes. A máquina apresentou uma variação discreta da potência dentro do intervalo estudado nas condições do experimento.

QUADRO 13 – ANOVA, referente avaliação estatística dos dados coletados referentes à potência demanda pela máquina com carga diante da variação da velocidade angular dos roletes da peneira e da carga aplicada

Análise de Variância					
Fontes de variação	GL	Soma quadrados	Quadrado médio	F	Probabilidade
Devido à regressão	2	4031,617	2015,808	164,03	0,0000**
Independente	45	553,0069	12,28904		

QUADRO 14 – Parâmetros da regressão referente ao modelo que melhor expressa o comportamento da potência demanda pela máquina com carga diante da variação da velocidade angular dos roletes da peneira e da carga aplicada

Parâmetros da regressão				
Nome	Coefficiente	Desvio padrão	Valor de t	Probabilidade
Constante	- 3,83269			
Vel. Angular	7,45016	0,411425	18,108178	0,0000**
Carga	0,0412997	0,103284	0,399866	0,3456 <sup>Δ</sup>
R <sup>2</sup>	0,879378			
R <sup>2</sup> ajustado	0,874017			
Modelo: $\hat{Y} = - 3,83269 + 7,45016^{**}.X + 0,041297^{\Delta}.Z;$				
onde,				
$\hat{Y}$ = capacidade específica da máquina, em W;				
X = velocidade angular, em rad. s <sup>-1</sup> ;				
Z = carga aplicada, em L.				

Pela análise dos dados representados nos Quadros 13 e 14 foi plotada a superfície de resposta apresentada na Figura 33, em que a potência demandada variou mais em função da velocidade dos roletes modulada pelo inversor de frequência do que pela influência da carga aplicada.

O coeficiente da carga apresentado no modelo apresentou um valor-p muito alto para aquele estabelecido na proposta de aceitabilidade na metodologia deste trabalho,  $\alpha = 5\%$ . A proximidade entre as retas das três regressões da potência demandada para cada nível de carga indicam que

houve sim uma variação, porém muito discreta, Figura 32. Esta pouca variação pode ser entendida estatisticamente como se não houvesse diferença estatística entre as médias e que a variação ocorrida fosse decorrente de erros de experimentação e não pelo efeito da carga, rejeitando assim o coeficiente da carga aplicada.

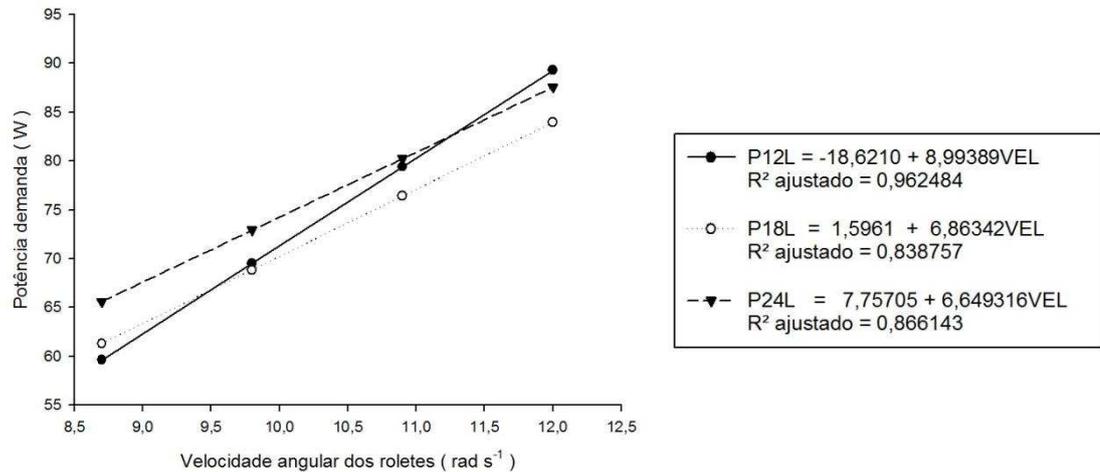
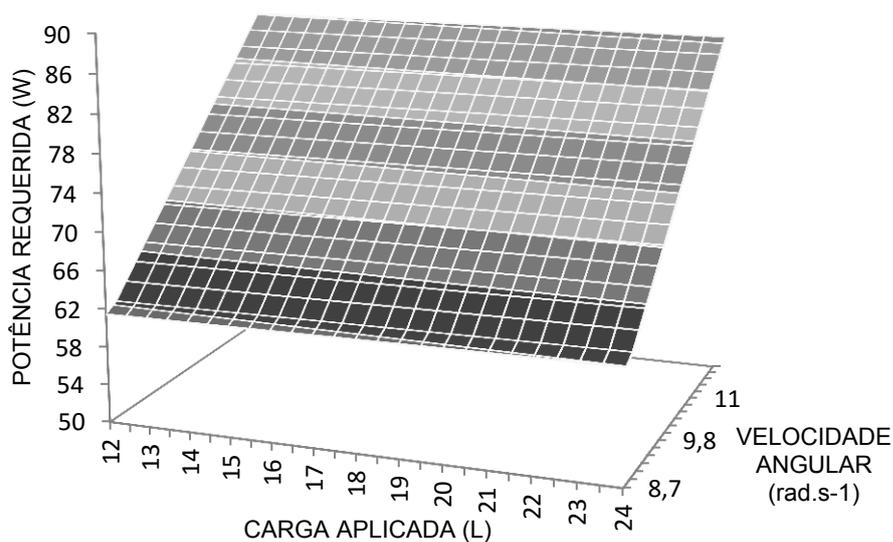


FIGURA 32 – Regressões da potência da máquina em função da velocidade, analisadas isoladamente para cada carga aplicada.

Porém características particulares desta máquina como o sistema de transmissão de potência que apresenta elevado nível de redução (17:1) aliada à forma como a carga oferece esforço ao sistema de transmissão espera-se que a carga aplicada deva ser muito alta para proporcionar variações significativas. Tudo isto somado ao fato de que a potência demandada é um resultado do produto do torque aplicado pela velocidade angular, Equação 6, e que a aplicação da carga implica necessariamente em aumento de torque justifica que a variável carga não deva ser abandonada. Ainda, na prática o acréscimo na potência requerida estimada para uma nova máquina devido ao uso do coeficiente no modelo não é prejudicial, pois caso desnecessário, implicara num pequeno incremento da reserva de torque da nova máquina.

$$POT = -3,83269 + 7,45016^{**}VEL + 0,041299^{\Delta}CAR$$

$$R^2 = 0,8794$$



\*\* significativo a 1% pelo teste t.

$\Delta$  significativo a 35% pelo teste t.

FIGURA 33 – Estimativa da potência requerida pela máquina em função da velocidade angular e da carga aplicada.

No modelo apresentado na Figura 35, é possível observar que a cada radiano por segundo aumentado a potência demandada aumentará em aproximadamente 7,45 W enquanto que o aumento de um litro na carga produzirá um aumento discreto de 0,04 W. Considerando-se o intervalo estudado, os limites máximos e mínimos da velocidade e da carga aplicada, inserindo estes valores na função da potência pela velocidade dos roletes de da carga. Verifica-se que no intervalo estudado a potência demandada pela máquina variou de 61,5 W até 86,6W.

#### 4.4. Funcionamento da máquina

Atendendo as metas estabelecidas o modelo de máquina construído apresentou como característica importante a não obstrução da superfície de separação, pois o movimento giratório dos roletes conduz o material retido acima da superfície de separação para o descarte.

Foi observado que durante o trabalho de separação realizado pela peneira, parte dos frutos de café é conduzida para o descarte por estarem sobre as folhas ou envolvido nas mesmas. Uma solução poderia ser a aplicação de algum dispositivo que promova o revolvimento do material durante o peneiramento com um incremento da extensão da superfície de separação a ser percorrida. Com isso espera-se aumentar a eficiência de limpeza da máquina devido ao aumento de contato dos frutos de café com os roletes e assim maior possibilidade de atravessarem o quadro de roletes, desta forma aumentando a eficiência de limpeza em condições de cargas maiores, proporcionando conseqüente aumento da capacidade específica da máquina.

## 5. CONCLUSÃO

Ao final deste trabalho pode-se concluir:

- A máquina mostrou-se eficiente para separar as folhas dos frutos.
- O novo sistema de separação mostrou-se eficiente pela não obstrução da peneira pelas folhas mesmo em condições muito acima da capacidade máxima.
- A taxa de limpeza produzida nas condições do experimento, com eficiência de limpeza de 80% foi da ordem de 5,9 metros cúbicos de material limpo por hora.
- A potência demandada por esta máquina foi baixa, nas condições do experimento permaneceu no intervalo de 61,5 a 86,6 W.

## **6. RECOMENDAÇÕES**

Diante do observado durante os ensaios desta máquina e possível fazer as seguintes recomendações para a continuação deste trabalho:

- O baixo consumo de energia viabilizada o uso com pequenas fontes de energia o que possibilita sua aplicação dentro das áreas de lavoura.
- No intuito de aumentar a capacidade específica da máquina inserir em seu funcionamento algum mecanismo que proporcione o revolvimento do material durante seu percurso sobre os roletes.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBIERO, D. et al. **Proposta de uma máquina para colheita mecanizada de babaçu (*Orbignya Phalerata* Mart.) para agricultura familiar.** Acta Amazonica, v. 37, n. 3 p. 337-346, 2007.
- ALMEIDA, FJ de. **Estudo e escolha de metodologia para o projeto conceitual.** Revista de Ciência e Tecnologia, v. 8, n. 16, p. 31-42, 2000.
- ALVES, H. M. R.; LACERDA, M. P. C.; VIEIRA, T. G. C. **Caracterização de agroecossistemas cafeeiros nas principais regiões produtoras do Estado de Minas Gerais.** XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 11-17, 2003.
- ANDROCIOLI FILHO, A. et al. **Avaliação da colheita mecanizada do café do Paraná e propostas para melhoria de métodos e processos.** In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 6., 2009, Vitória. Anais... Brasília.: Embrapa Café, 2011.
- BRITO, F. **Crescimento demográfico e migrações na transição para o trabalho assalariado no Brasil.** Revista Brasileira de Estudos de População, v. 21, n. 1, p. 5-20, 2013.
- BRITO, R. M. **Sistema eletroeletrônico para medição direta de torque em dispositivos girantes utilizando extensômetros de resistência elétrica.** 1994. 145p. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e dos Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, UFRGS, Porto Alegre, 1994.
- BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. **Elementos de Máquinas de Shigley: Projeto de Engenharia Mecânica.** 8. Ed. São Paulo: AMGH Editora Ltda, 2011.
- CARRISSO, R. C. C.; CORREIRA, J. C. G. **Classificação e peneiramento – capítulo 5.** Centro de Tecnologia Mineral. Ministério da Ciência e Tecnologia. CT2004-183-00: Comunicação técnica elaborada para a 4ª edição do livro de Tratamento de Minérios, Rio de Janeiro, 2004.
- COELHO, A. L. de F. et al. **Determinação das propriedades geométricas, físicas e mecânicas do sistema fruto-pedúculo-ramo do cafeeiro.** R. Bras. De Eng. Agr. Amb. v.19, n.3, p.286-292, 2015
- CONAB (Cia Nacional de Abastecimento). **Séries Históricas: café arábica(.xls).** disponível em <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2>>, acessado em 23 de abril de 2014.

- COSTA, C. C. da; POPPI, L. **Impactos socioeconômicos do sistema de derrixa mecanizada portátil na colheita de café de montanhoso Brasil**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2012. 26p. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 36.
- ENSSLIN, L. et al. **Identificação das necessidades do consumidor no processo de desenvolvimento de produtos: uma proposta de inovação ilustrada para o segmento automotivo**. Produção, v.21, n.4, p.555-569, 2011;
- FEHR, L. C. F. de A. et al. **Análise das variáveis de custos do café arábica nas principais regiões produtoras do Brasil**. Reuna, v.17, n.2, p.97-115, 2012.
- GREEN, D. W.; PERRY, R. H. **Perry's chemical engineers' handbook**, 7th edition. New York: Mc.Graw Hill, 1999.
- HALLIDAY, D.; HESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos da física 1 – Mecânica**. 9ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos S.A., 2012.
- IPPOLIT, G. et al. **Uso de geoprocessamento para o levantamento preliminar de solos de uma microbacia da Zona da Mata (MG)**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. 11, p. 153-160, 2003.
- LANNA, G. B. M.; REIS, R. P. **Influência da mecanização da colheita na viabilidade econômico-financeira da cafeicultura no Sul de Minas Gerais**. Coffee Science, v. 7, n. 2, p. 110-121, 2012.
- MAGALHÃES, A. C. **Projeto, construção e avaliação de uma máquina de pré-limpeza de café**. 1999. 63p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.
- MCCABE, W. L.; SMITH, J. C.; HARRIOTT, P. **Unit operations of chemical engineering**. New York: McGraw-Hill, 2005.
- METALFEN. Abanadores: Disponível em: < <http://www.metalfen.com.br/abanadeira-de-cafe.php> >. Acesso em 04 abr. 2015.
- NORTON, R. **Projeto de Maquinas**, Bookman, Porto Alegre, 2004.
- NUINTIN, A. A.; CALEGARIO, C. L. L. **Análise do efeito da utilização de nova tecnologia e das especificidades do agronegócio no custo da mão de obra da fase da colheita do café**. Custos e @gronegócio on line, v. 10, n. 1, 2014.
- OLIVEIRA, E. de et al. **Influência da Colheita Mecanizada na produção cafeeira**. Ciência Rural, Santa Maria, v.37, n.5, p.1466-1470, set-out, 2007.

- PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering Design: A Systematic Approach**. 2.ed. London: Springer Verlag, 1996. 576p.
- PAHL, G. et al. **Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. 6. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.
- PINHALENSE. **Abanadores**: AB-03. Disponível em: < [http://www.pinhalense.com.br/equipamento.php?id\\_maquina=401](http://www.pinhalense.com.br/equipamento.php?id_maquina=401)>. acesso 04 abr. 2015.
- REIS, R. P. et al. **Custos de produção da cafeicultura no Sul de Minas Gerais**. Organizações Rurais & Agroindustriais, v. 3, n. 1, 2001.
- ROZENFELD, H. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos – uma referência para melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.
- SAMPAIO, C.P. et al. **Manual de construção da abanadora mecânica com acionamento manual para café**. ; Boletim técnico - Revista Engenharia na Agricultura, Viçosa, n.08, 23p., 2001.
- SEARS, F.; ZEMANSKY, M. W.; YOUNG, H. D. **Física 1 – Mecânica da partícula e dos corpos rígidos**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos S.A., 1984.
- SILVA, F. M. D., SALVADOR, N., PÁDUA, T. D. S. **Café: mecanização da colheita**. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas, MG, 2000.
- SILVA, F. M. da et al. **Desempenho operacional e econômico da derrifa do café com uso da derriçadora lateral**. Coffee Science, Lavras, v.1, n.2, p.119-125, jul./dez., 2006.
- SILVA, J. S.; PARIZZI, F. C.; SOBRINHO, J. C. **Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas: beneficiamento de grãos**. 2. Ed. Viçosa: Editora Aprenda Fácil, 2008. 560p.
- SILVA, F. M. da et al. **Efeitos da colheita manual na bienalidade de cafeeiro em Ijaci, Minas Gerais**. Ciênc. Agrotec., Lavras, v.34, n.3, p.625-632, mai./jun., 2010.
- SILVA, F. M. da et al. **Potencialidade de mecanização da região sul e sudoeste de Minas Gerais, visando a lavoura cafeeira**. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 6., 2009, Vitória. Anais... Brasília.: Embrapa Café, 2011.
- SOUZA, C. M. A. de. **Desenvolvimento e modelagem de sistemas derrifa e de abanação de frutos de cafeeiro: Análise do desempenho de uma abanadora de frutos do cafeeiro para cafeicultura de montanha**.

2004. 123 p. Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

TEIXEIRA, Mauri Martins. **Desenvolvimento e desempenho de uma máquina de limpeza a ar, com peneira cilíndrica rotativa, para grãos.** 1988. 58p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

VILELA, P. S.; RUFINO, J. L. S. **Caracterização da cafeicultura de montanha de Minas Gerais.** Belo Horizonte: INAES, 2010. 300 p.: il (estudos INAES. Cadeias Produtivas. Café. 1).

ZWICKY, Fritz. **The Morphological Method o Analysis and construction.** California inst. of technol, 1948.

## APÊNDICE

Parâmetros de regressão e análise de variância das regressões da potência de cada carga em função da velocidade angular dos roletes.

Modelo Linear					
Dependente: P12L (Potência com carga de 12L)					
Independente: VEL (Velocidade dos roletes)					
Parâmetros de Regressão					
Nome	Coeficiente	Desvio padrão	Valor t	Coef. Beta	Prob.
Constante	-18,62100				
VEL	8,99389	0,457875	19,642665	0,982337	0,0000**
R <sup>2</sup>	0,964985				
R <sup>2</sup> ajustado	0,962484				
Análise de Variância					
Fonte de variação	GL	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	Prob.
Devido à regressão	1	1957,538	1957,538	385,83	0,0000**
Independente	14	71,02929	5,073521		

Modelo Linear					
Dependente: P18L (Potência com carga de 18L)					
Independente: VEL (Velocidade dos roletes)					
Parâmetros de Regressão					
Nome	Coeficiente	Desvio padrão	Valor t	Coef. Beta	Prob.
Constante	1,596100				
VEL	6,863420	0,772063	8,889718	0,921687	0,0000**
R <sup>2</sup>	0,849506				
R <sup>2</sup> ajustado	0,838757				
Análise de Variância					
Fonte de variação	GL	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	Prob.
Devido à regressão	1	1139,9790	1139,97900	79,03	0,0000**
Independente	14	201,9523	14,45516		

Modelo Linear					
Dependente: P24L (Potência com carga de 24L)					
Independente: VEL (Velocidade dos roletes)					
Parâmetros de Regressão					
Nome	Coeficiente	Desvio padrão	Valor t	Coef. Beta	Prob.
Constante	7,757050				
VEL	6,493160	0,655709	9,902507	0,935450	0,0000**
R <sup>2</sup>					
R <sup>2</sup> ajustado					
Análise de Variância					
Fonte de variação	GL	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	Prob.
Devido à regressão	1	1020,3000	1020,3000	98,06	0,0000*
Independente	14	145,6685	10,4049		