

**INSTITUTO FEDERAL**

Minas Gerais

Campus Avançado Arcos

Breno Avelar Mendonça

Geovanne Tavares Faria

João Victor Rodrigues

Nikael Vincenzo Resende

Pedro de Melo Araújo Goulart

## **Descascador de Café Mecanizado**

Arcos - MG

28 de Junho de 2018

Breno Avelar Mendonça  
Geovanne Tavares Faria  
João Victor Rodrigues  
Nikael Vincenzo Resende  
Pedro de Melo Araújo Goulart

## **Descascador de Café Mecanizado**

Trabalho Acadêmico Integrador apresentado  
ao Departamento de Engenharia Mecânica  
do Campus Arcos do Instituto Federal de  
Minas Gerais como requisito parcial para a  
aprovação na disciplina TAI IV.

Instituto Federal de Minas Gerais  
Campus Arcos  
Graduação em Engenharia Mecânica

Orientador:  
Flávio Fernandes Barbosa Silva

Arcos - MG  
28 de Junho de 2018

# Lista de ilustrações

Figura 1 – . . . . .	12
Figura 2 – Sistema definido no corpo do motor. . . . .	15
Figura 3 – Ponto P em uma trajetória curvilínea. . . . .	16
Figura 4 – Esforços na polia motora . . . . .	16
Figura 5 – Esforços atuantes no eixo . . . . .	17
Figura 6 – Experimento da variação de potência em função do tempo . . . . .	19
Figura 7 – Gráfico Potência x tempo . . . . .	19
Figura 8 – I Congresso de Pesquisa e Inovação do Sudeste . . . . .	22
Figura 9 – Convergência dos valores de temperatura a um ponto específico com o passar do tempo . . . . .	24
Figura 10 – Diagrama de corpo livre da polia motora . . . . .	30
Figura 11 – Componentes da Força Resultante ( $F_r$ ) . . . . .	30
Figura 12 – Sistema definido no motor . . . . .	31
Figura 13 – Fatores de segurança . . . . .	33
Figura 14 – Propriedades Mecânicas dos Aços . . . . .	34
Figura 15 – Potência x tempo ( $2 \leq x \leq 174$ ) . . . . .	36
Figura 16 – Integral da Função 2 no <i>MATLAB</i> . . . . .	37

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Materiais utilizados . . . . .	9
Tabela 2 – Dados Experimentais . . . . .	10
Tabela 3 – Composição química do aço 1045 . . . . .	18
Tabela 4 – Cronograma . . . . .	21
Tabela 5 – Dados dos motores . . . . .	32
Tabela 6 – Análise da variação da potência em detrimento à massa de grãos des- cascados . . . . .	35

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>5</b>
1.1	Justificativa	5
1.2	Objetivos	6
1.2.1	Objetivos Gerais	6
1.2.2	Objetivos Específicos	6
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>7</b>
2.1	Descascador de café	7
2.2	Motor Elétrico	7
2.3	Sistema de redução por polias	8
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>9</b>
3.1	Métodos utilizados para montagem	9
<b>4</b>	<b>ANÁLISE DE DADOS</b>	<b>10</b>
4.1	Estudo da variação da temperatura do motor em relação ao tempo	10
4.2	Redimensionamento do motor e do sistema de redução por polias	13
4.3	Análise da troca de calor do motor com o meio	14
4.4	Esforços atuantes no eixo do motor	15
4.5	Análise e avaliação do material do eixo do motor elétrico	17
4.6	Gasto energético da máquina	18
<b>5</b>	<b>CRONOGRAMA</b>	<b>21</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>22</b>
<b>APÊNDICE A</b>	<b>Estudo da variação da temperatura do motor em relação ao seu tempo de funcionamento</b>	<b>24</b>
<b>APÊNDICE B</b>	<b>Redimensionamento do motor e do sistema de redução</b>	<b>27</b>
<b>APÊNDICE C</b>	<b>Esforços atuantes no eixo do motor</b>	<b>29</b>
<b>APÊNDICE D</b>	<b>Análise da quantidade de calor que é trocada com o meio</b>	<b>31</b>
<b>APÊNDICE E</b>	<b>Análise e avaliação do material do eixo do motor elétrico</b>	<b>33</b>
<b>APÊNDICE F</b>	<b>Gasto energético da máquina</b>	<b>35</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Pequenos produtores rurais conservam técnicas manuais de descascamento de café, o que necessita de esforço físico e consome um elevado tempo para ser executado. Sendo assim, desenvolveu-se o projeto “Descascador de Café Mecanizado”, que propõe o descascamento do café de forma mecanizada, a partir da adaptação de uma máquina manual de pequeno porte, a um custo acessível para o pequeno produtor.

O caráter inovador deste projeto delinea-se a partir de sua proposta de promover melhorias no protótipo desenvolvido no semestre anterior. A melhora na eficiência garantirá uma maior produtividade para o pequeno produtor rural, culminando assim em inclusão social devida a inserção no mercado. Dentre estas melhorias se encontram, o redimensionamento das polias, de forma a garantir uma menor velocidade de rotação do rolo que comprime os grãos, obtendo assim, maior qualidade dos grãos descascados. Verificou-se ainda a necessidade de trocar o motor por um motor mais potente e com ventilação. Além disso, foi possível criar uma regulagem para o tensionamento da correia, o que facilitará inspeções no equipamento.

## 1.1 Justificativa

Tendo em vista as considerações anteriores, esse projeto justifica-se pelo propósito de aperfeiçoar o funcionamento do descascador de grãos café mecanizado por meio do redimensionamento do motor necessário para o equipamento e o ajuste da rotação do descascador para o melhor descascamento de modo a não danificar a estrutura do grão. Hipotetiza-se que, com o aperfeiçoamento do equipamento por meio das modificações idealizadas, o processo de descasque será realizado em menor tempo e com maior eficiência, o que resultará em uma produção de maior qualidade para o pequeno produtor.

Do ponto de vista acadêmico, este projeto contribuirá com futuras investigações voltadas para a área da mecânica, pois poderá subsidiar pesquisas relacionadas aos métodos de mecanização. Ademais, este estudo integra conhecimentos variados intrínsecos à Engenharia Mecânica, como a aplicação de motores, do sistema de redução e a definição da estruturação do equipamento de acordo com os esforços sofridos.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivos Gerais

Verificar se a máquina mecanizada que realiza o processo de descascamento, destinada ao atendimento de agricultores de pequeno porte, é viável do ponto de vista do resultado da qualidade do beneficiamento dos grãos e do custo para a produção do equipamento em escala comercial, por meio de testes laboratoriais e pesquisas comerciais.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Realizar um estudo sistemático que possibilite avaliar as melhorias da mecanização de uma máquina de descascamento de café que originalmente era manual;
- b) Aperfeiçoar a rotação transmitida pelo motor, com intuito de melhorar a produção da máquina, com relação à qualidade dos grãos para não danificar a estrutura dos mesmos, através do redimensionamento das polias;
- c) Redefinir o motor que será utilizado na construção do equipamento tendo em vista as suas demandas de velocidade angular, potência e torque.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Descascador de café

Na produção do café em pó existe a etapa de desacoplamento da casca que envolve a semente. O equipamento utilizado para esta etapa é conhecido como descascador de grãos de café. Este por sua vez tem o funcionamento manual, e com o objetivo de melhorar a produtividade e condições de trabalho do pequeno agricultor, esse equipamento foi mecanizado e está em processo de aperfeiçoamento.

De acordo com Mesquita (2016) após a lavagem-separação, o café é descascado, por fricção, em descascadores mecânicos. Existem descascadores de diversos portes, nível técnico/automação, indo desde os mais simples, de acionamento manual, até outros de alta tecnologia e alto rendimento.

### 2.2 Motor Elétrico

Em um momento anterior a esse projeto (período este correspondente ao Trabalho Acadêmico Integrador III), utilizou-se um motor elétrico para propor o movimento mecanizado do descascador. Desse modo, substituiu-se o trabalho braçal exercido, por um movimento obtido através da eletricidade.

Um dos objetivos desse projeto é dimensionar de modo eficaz o motor elétrico que promove o movimento mecanizado do descascador, de modo que ele seja capaz de fornecer a potência, o torque e a rotação necessários para esse procedimento de beneficiamento do café.

Segundo Gomes (2003, p.50) “o motor elétrico exerce sua função a partir da propriedade da corrente elétrica gerar um campo magnético que varia em relação a um condutor, provocando uma corrente elétrica. A grosso modo, formam-se dois ímãs, um no estator e outro no rotor, cuja interação provoca o movimento do motor.”

No que diz respeito à regulação das características do motor que irão ser transferidas para o equipamento, elas foram estabelecidas com base em testes que determinaram o trabalho de eixo que o motor deveria produzir, e aplicadas no equipamento com o auxílio da utilização de um sistema de redução por polias. Como explica Gomes (2003, p.50) “[...] o motor se auto-regula para atender à carga no eixo: se aumenta a carga, diminui a rotação, aumenta a corrente do motor e aumenta a potência elétrica fornecida.”

Baseado na consagração desse modelo de motor em vários tipos de máquinas (como



na lavadora tanquinho, no para-brisa, no ventilador, entre outras), verifica-se que sua aplicação nesse protótipo irá satisfazer as necessidades do equipamento no que confere à rotação que deve ser transmitida, o torque e a potência imprescindíveis para a realização do processo de descascar do café de maneira mais efetiva em relação ao trabalho braçal.

## 2.3 Sistema de redução por polias

No sistema em que o processo de descascar grãos de café foi mecanizado, tornou-se imprescindível o uso de polias. Esses mecanismos têm como objetivo reduzir ou aumentar as rotações vindas do motor para atingir o desempenho ideal do rolo compressor, cuja função é desacoplar a casca que envolve a semente do café.

Para Melconian (2012), normalmente os motores possuem velocidades fixas, assim esses conjuntos transmissores de velocidade são capazes também de modificar a velocidade original do motor para atender às necessidades operacionais da máquina, sistema conhecido como sistema de redução.

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 Métodos utilizados para montagem

Com base em uma pesquisa exploratória, objetivou-se proporcionar maior familiaridade com o assunto em questão; envolve levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o assunto pesquisado e análise de exemplos; assume em geral a forma de pesquisas bibliográficas e estudos de caso. Desse modo, com o objetivo de facilitar e organizar o desenvolvimento da atividade, a metodologia empregada na montagem desse projeto será dividida em quatro etapas:

Etapa 1: Reunindo as informações e dados que serviram de base para a construção do mecanismo proposto a partir do tema do projeto, notou-se que as pesquisas bibliográficas serviram como um modo de se aprofundar no assunto em questão. As pesquisas de campo realizadas com empresas da área agrícola e da área mecânica e com pessoas físicas foram responsáveis por extrair dados e informações diretamente da realidade do objeto de estudo.

Etapa 2: Inicialmente, era fundamental aprimorar o sistema de descasque dos grãos de café, e através de pesquisas e testes realizados no SENAI de Arcos-MG, notou-se que a rotação necessária para descascar os grãos de café sem danificar a estrutura dos mesmos seria 480 *rpm*. Tendo em vista o torque necessário para descascar os grãos de café, realizou-se a aquisição de um motor elétrico de 1/3 *cv* e 1700 *rpm*, de duas polias e uma correia atendendo aos cálculos de redução da rotação e do torque necessário para descascar os grãos. Percebeu-se também, a necessidade de resguardo do equipamento, ficando evidente que a construção de uma estrutura suportando a máquina seria fundamental para prolongar a vida útil do mesmo (Materiais utilizados vide Tabela 1).

Etapa 3: Com as peças necessárias compreendidas e a tarefa de cada uma especificada, foi feita a montagem da parte mecânica e dos componentes fixos e móveis do projeto com o auxílio de especialistas e profissionais da área, aplicando preceitos de Engenharia Mecânica.

Etapa 4: Testes do equipamento considerando um cenário de uso e avaliação dos resultados obtidos.

Tabela 1 – Materiais utilizados

Descascador de café	Sistema de redução por polias	Estrutura
Rolo compressor	Polias	Base de madeira
Sistema de admissão	Correia	Parafusos e porcas
Buchas e rolamentos	Motor elétrico	Braçadeira e suporte

Fonte: Próprios autores

## 4 ANÁLISE DE DADOS

### 4.1 Estudo da variação da temperatura do motor em relação ao tempo

Para monitorar a variação da temperatura do motor em função do seu tempo de funcionamento foram feitas medições da temperatura no rotor do motor em intervalos de cinco em cinco minutos, com duração de uma hora. Os dados obtidos podem ser vistos na tabela 2.

tempo ( $t$ )	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
temperatura ( $T$ °C)	25	42,57	65,83	77,68	86,13	94,91	96,77	97,24	98,04	98,53	98,93	99,16	99,22

Tabela 2 – Dados Experimentais

Com o objetivo de construir uma função que relacione a temperatura  $T$  do motor com o tempo  $t$  em minutos e que melhor correlacione com os dados experimentais, faremos o uso de duas ferramentas matemáticas. A primeira ferramenta é um ajuste linear dos dados coletados utilizando o modelo de curva exponencial assintótico que é descrito pela seguinte função:

$$T(t) = T^* - ae^{bt}, \quad T^* > 0 \quad e \quad b < 0. \quad (1)$$

onde  $T^*$  é valor para o qual a temperatura tende a se estabilizar, denominado valor de equilíbrio, quando o tempo torna-se suficientemente grande.

Este modelo foi escolhido após verificarmos que os valores da temperatura do motor tendem a se estabilizar para um valor específico, o qual é o valor de equilíbrio  $T^*$ . Para encontrar o valor de  $T^*$  utilizamos o método de Ford-Walford para o qual foi definido, após os cálculos feitos (ver Apêndice A) o valor de  $T^* = 102,5^\circ$ .

Feito os cálculos (ver apêndice A) para o ajuste linear do modelo assintótico obteve-se a função

$$T(t) = 102,5 - 54,4e^{-0,056t} \quad (2)$$

que ajusta-se sobre os dados experimentais da tabela 2, com coeficiente de correlação  $r = 0,84$  (vide Apêndice A), descrevendo o comportamento da temperatura  $T$  do rotor do motor em relação ao tempo de funcionamento  $t$ .

Como segunda ferramenta, faremos o uso da equações diferenciais ordinárias (e.d.o), pois pode-se observar que a taxa de variação da temperatura em relação ao tempo é

descrita pela diferença entre o aquecimento e o resfriamento do motor em questão. Segundo a lei empírica de Newton do resfriamento/aquecimento de um corpo, a taxa de variação da temperatura de um corpo é proporcional à diferença entre sua temperatura e a do meio que o cerca, chamada de temperatura ambiente. Se  $T(t)$  representar a temperatura de um determinado corpo no instante  $t$ ,  $T_0$  a temperatura do meio que o cerca e  $\frac{dT}{dt}$  a taxa com que a temperatura do corpo varia, a lei do resfriamento/aquecimento de Newton pode ser escrita matematicamente como:

$$\frac{dT}{dt} = \lambda(T - T_0) \quad (3)$$

onde  $\lambda$  é uma constante de proporcionalidade. Em ambos os casos, resfriamento ou aquecimento, se  $T_0$  for uma constante  $\lambda > 0$ . Fazendo-se o uso da Lei empírica de Newton para a parte do resfriamento do motor em função do tempo  $t$ , isto é, considerando  $\lambda$  como uma constante para o resfriamento, escrevemos a taxa de variação da temperatura do motor em função do seu tempo de funcionamento como sendo a equação diferencial ordinária

$$\frac{dT}{dt} = \alpha - \lambda(T - T_0) \quad (4)$$

onde  $\alpha$  é uma constante de aquecimento. Desenvolvendo a e.d.o (4), utilizando o método do fator integrante (ver apêndice A) obtemos como solução geral da equação (4) a função

$$T(t) = T_0 + \frac{\alpha}{\lambda} + Ce^{-\lambda t} \quad (5)$$

Considerando  $T(0) = T_i$ , onde  $T_i$  é a temperatura inicial obtemos o valor da constante  $C = T_i - T_0 - \frac{\alpha}{\lambda}$  e então a função (5) é escrita como:

$$T(t) = T_0 + \frac{\alpha}{\lambda} + \left(T_i - T_0 - \frac{\alpha}{\lambda}\right)e^{-\lambda t} \quad (6)$$

Para determinar o valor da constante de resfriamento  $\lambda$  consideramos para a função (6) o valor da constante de aquecimento  $\alpha = 0$ , isto é, o exato momento em que o motor foi desligado. Observe que a partir dessa suposição a função (6) é a solução da equação (3), isto é,

$$T(t) = T_0 + \left(T_i - T_0\right)e^{-\lambda t} \quad (7)$$

Supondo que a temperatura do meio que o cerca  $T_0$  é algo em torno de  $25^\circ$ , a temperatura para o início do resfriamento  $T_i$  depois de uma hora de funcionamento, conforme os dados coletados e apresentados na tabela (2) seja algo em torno de  $99,2^\circ$  e verificando que após cinco minutos do desligamento do motor  $T(5) = 87^\circ$  obtemos  $\lambda = 0,036min^{-1}$

(ver Apêndice A). Substituindo os valores de  $\lambda = 0,036 \text{min}^{-1}$  e  $T_0 = 25^\circ$  na Função (6) obtemos a função

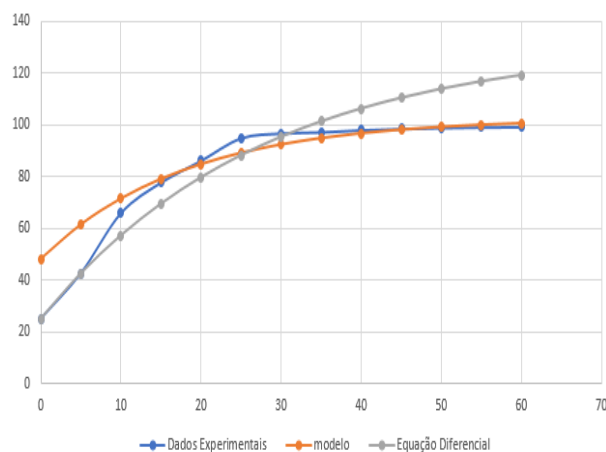
$$T(t) = 25 + \frac{\alpha}{0,036} + \left( T_i - 25 - \frac{\alpha}{0,036} \right) e^{-0,036t} \quad (8)$$

Para determinar a constante de aquecimento  $\alpha$  foi necessário o resfriamento completo do motor, ou seja, esperar a sua temperatura se aproximar da temperatura do meio que o cerca para então ligá-lo novamente. A partir disso consideramos como temperatura inicial do motor  $T_i = 25^\circ$  para a Função (8) e novamente a partir dos dados apresentados na tabela (2) usamos  $T(5) = 42,5^\circ$  aonde obtemos o valor de  $\alpha = 3,84 \text{min}^{-1}$  (ver Apêndice A). Assim a função que relaciona a temperatura do rotor do motor com o tempo obtida através do uso das equações diferenciais ordinárias é:

$$T(t) = 131,6 - 106,6e^{-0,036t} \quad (9)$$

Utilizando os dados experimentais e as funções (1) e (9) obtidas através das ferramentas 1 e 2 respectivamente, plotamos o gráfico que pode ser visto na figura (1) no qual podemos fazer uma comparação entre os dados coletados e as respectivas funções.

Figura 1 –



Concluimos que a curva obtida pelo ajuste exponencial assintótico é a que melhor correlaciona com os dados experimentais. Observa-se ainda que através da função do modelo exponencial assintótico, quando o tempo ( $t$ ) torna-se suficientemente grande, obtemos o valor para o qual a temperatura tende a se estabilizar.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} 102,5 - 54,4e^{-0,056t} = 102,5$$

## 4.2 Redimensionamento do motor e do sistema de redução por polias

Verificou-se que a rotação e a potência transmitida até então pelo conjunto motor e polias, estavam danificando os grãos de café durante o processo de descascar. Tornou-se então um dos objetivos deste projeto, o redimensionamento do motor e sistema de redução necessário para o equipamento, de modo a transmitir a rotação, o torque e a potência que realizem o processo de forma eficiente e sem danificar a estrutura do café.

Para tal dimensionamento, definiu-se primordialmente o torque necessário para que o descascador inicie o procedimento de descascar. O torque foi obtido empiricamente colocando pesos gradualmente em uma sacola pendurada na extremidade da manivela do descascador, com o sistema de admissão de grãos preenchido por grãos em sua capacidade máxima. Observou-se então o momento em que o rolo compressor do descascador saiu de sua inércia e começou a descascar o café. Mediu-se então o peso contido na sacola e definiu-se o torque por meio de:

$$\tau = Fd$$

Onde;

$\tau$  = Torque;

$d$  = É a distância perpendicular da aplicação da força peso, ou seja, o tamanho da manivela;

$F$  = É a força peso aplicada durante o teste para iniciar o movimento do rolo compressor.

Portanto o torque será de  $\tau = 3,56$  Nm (Cálculo vide Apêndice B).

Visto o torque mínimo definido por experimentos realizados, buscou-se verificar se o torque atuante no descascador atende o torque estabelecido. Através da relação de forças entre uma polia e outra, onde a força que atua tangencialmente na polia do motor será a mesma que atua tangencialmente na polia do descascador, encontrou-se o torque que atua sobre o descascador através da relação.

O torque obtido foi de 4,8 Nm (Apêndice B), torque este que atende a condição de ser maior que o torque mínimo estabelecido.

Após a definição do torque necessário para o dimensionamento do motor, foi estabelecida a rotação que deve ser transmitida ao descascador. Para essa definição, foi utilizado um inversor de frequência, que consegue controlar a rotação transmitida pelo motor. Fez-se então um experimento, onde se colocou grãos no descascador e analisou-se a estrutura dos grãos descascados para diferentes rotações. Após vários testes, definiu-se

que a rotação mais eficaz foi a de 480 rpm, que conseguiu descascar o grão por completo e sem danificar sua estrutura.

Tendo conhecimento do torque e da rotação necessária para o processo do descascamento dos grãos, pôde-se definir a potência mínima de saída que o motor deveria possuir.

A fórmula para o cálculo da potência é:

$$P = \tau\omega$$

A potência mínima de saída definida que o motor deve possuir, foi de 178,74 Watts ou 0,24 cv (Cálculo vide Apêndice B).

Posteriormente a definição do motor e sua validação, tornou-se possível dimensionar o sistema de redução por polias que transmite a rotação estabelecida no teste de 480 rpm. Para isto, utiliza-se da relação:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

Onde:

$n_1$ : Rotação da polia motora [rpm],  $n_2$ : Rotação da polia movida [rpm],  $d_1$ : Diâmetro da polia motora [mm],  $d_2$ : Diâmetro da polia movida [mm].

As dimensões definidas foram de 280 mm para a polia do descascador e 80 mm para a polia motora (Cálculos Apêndice B).

O aperfeiçoamento do conjunto motor e sistema de redução, viabilizou o funcionamento do equipamento, fornecendo o torque, a potência de saída e a rotação necessária que o descascar de café precisa para realizar o processo de descascar de modo eficiente e sem danificar a estrutura do grão.

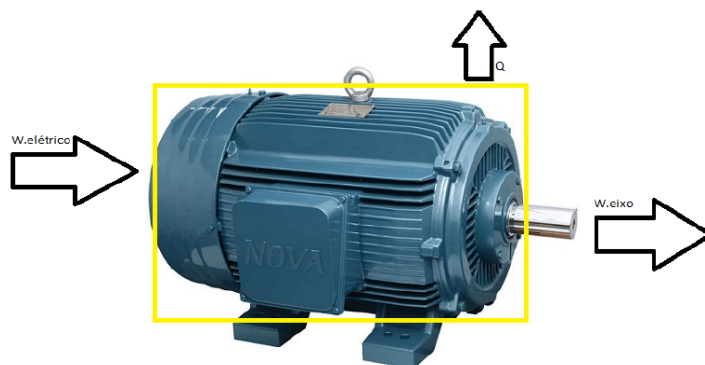
### 4.3 Análise da troca de calor do motor com o meio

Depois de alguns experimentos e testes realizados, foi observado que o motor do descascador estava sobreaquecendo e liberando calor para sua vizinhança, ou seja, a região da vizinhança imediata do motor também estava esquentando.

Com efeito, para determinar a quantidade de calor que sai de cada motor, escolheu-se o sistema apenas no corpo no motor do descascador (Figura 2), no qual tem um trabalho elétrico entrando e um trabalho de eixo saindo com ele funcionando em regime permanente.

A quantidade de calor do motor utilizado anteriormente que é trocada com o meio é de 0,155 kW, e a quantidade do motor atual que é trocada com o meio é de 0,107 kW

Figura 2 – Sistema definido no corpo do motor.



Fonte: Próprios autores

(cálculos vide Apêndice D). Foi possível então, observar que houve uma redução na troca de calor do motor com o meio que foi de  $0,048 \text{ kW}$  e conseqüentemente pôde-se calcular a eficiência térmica de ambos os motores; para o motor anterior a eficiência foi de  $54,5\%$  e a eficiência para o motor atual foi de  $69,6\%$ .

#### 4.4 Esforços atuantes no eixo do motor

Eixos e tubos de seções transversais circulares são frequentemente utilizados para transmitir potência desenvolvida por um motor elétrico ou uma máquina. Quando utilizados para esta finalidade, estão sujeitos a torques e momentos que dependem da potência gerada pelo motor, da velocidade angular do eixo e dos esforços no qual o eixo for requisitado. Para a correta avaliação do eixo utilizado neste projeto, calculou-se primeiramente os esforços na qual o eixo estava requerido. Os torques e os momentos sujeitos pelo eixo dependentes da potência, velocidade angular e dos esforços, também foram calculados.

Para tais cálculos dos esforços atuantes sobre o eixo da polia motora, que realiza a função de transmitir a rotação, a potência e suporta a polia, utilizou-se como bibliografia o livro de Elementos de Máquinas de Shigley (2011) e o livro de Resistência dos Materiais do Hibbeler (2010).

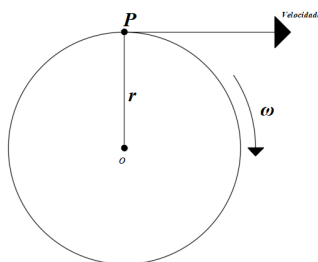
O estudo dos esforços atuantes teve seu início com a análise das trações aplicadas a correia durante o seu funcionamento. A correia utilizada no equipamento trata-se de uma em formato V, seção A e circunferência de  $1500 \text{ mm}$ . Com base nestes dados pôde-se iniciar o cálculo das forças atuantes na correia, que conseqüentemente serão forças atuantes sobre o eixo da polia motora. Primordialmente para o estabelecimento das forças atuantes sobre a correia, é necessário determinar a velocidade periférica da correia.

Para este cálculo utilizou-se da relação de que a velocidade linear (periférica) de um ponto em uma trajetória curvilínea, é igual ao produto entre a sua velocidade angular



e a distância do ponto com o centro da curva (raio) (Figura 3).

Figura 3 – Ponto P em uma trajetória curvilínea.



Fonte: Próprios autores

$$velocidade = \omega r$$

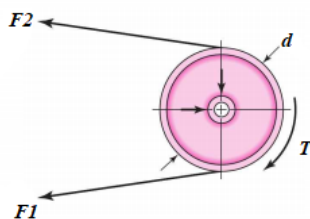
Onde;

$r$  = raio da polia motora;

$\omega$  = velocidade angular da polia motora.

A velocidade obtida foi de 7,12 m/s (cálculo vide Apêndice C), velocidade esta que foi utilizada no cálculo das forças de tração que agem sobre a correia. Para calcular as forças de tração  $F_1$  e  $F_2$  (Figura 4) que agem na correia, seguiu-se um roteiro de Elementos de Máquinas de Shigley (2011). A máxima tração encontrada  $F_1$  é de 64,485 N e a mínima tração  $F_2$  é de 19,758 N.

Figura 4 – Esforços na polia motora



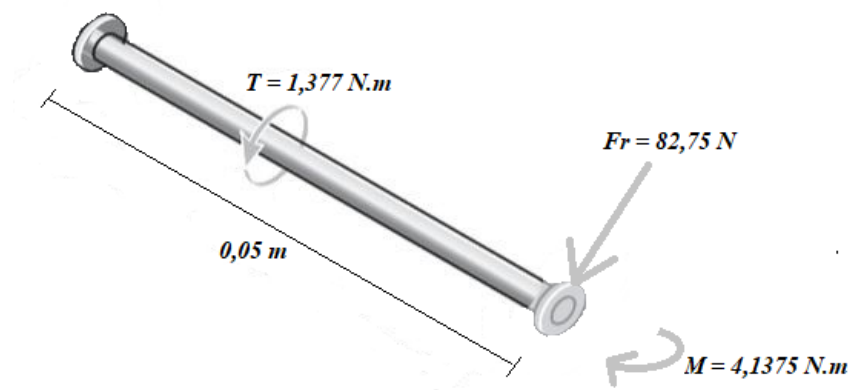
Fonte: Budymas e Nisbett (2011)

Com as trações presentes na correia calculadas, fez-se um diagrama de corpo livre da polia motora com o objetivo de encontrar a força resultante que age sobre o eixo do motor, considerando todos os esforços presentes no mesmo. A força resultante encontrada foi de 82,75 N e o momento fletor máximo exercido pelos esforços no eixo foi de 4,1375 N.m (cálculos vide Apêndice C).

Os esforços atuantes encontrados (Figura 5) foram utilizados no Apêndice E para avaliar se o diâmetro que o eixo do motor possui, consegue realizar a sua função de suportar

a polia, transmitir o movimento rotativo e a potência do motor, além de evitar falhas no equipamento causadas pelo rompimento deste eixo, de acordo com o material no qual ele foi fabricado.

Figura 5 – Esforços atuantes no eixo



Fonte: Próprios autores

## 4.5 Análise e avaliação do material do eixo do motor elétrico

Depois de encontrar quais são os esforços atuantes no eixo (Apêndice C), foi feita uma análise do eixo do motor, para ver se o material no qual ele foi fabricado (Aço 1045) atenderia as necessidades do projeto, levando em consideração suas propriedades mecânicas (Figura 14 - Apêndice E).

Para isto, foi necessário calcular a tensão máxima atuante no eixo, e em seguida comparar esta tensão com a tensão admissível do material do eixo.

A tensão máxima calculada foi de aproximadamente  $22 \text{ MPa}$ , e a tensão admissível do material, já considerando um fator de segurança, foi de  $207 \text{ MPa}$  (cálculos vide Apêndice E). Então depois disso, comparando ambas as tensões, verificou-se que o Aço 1045 atende as necessidades do projeto, visto que sua tensão admissível é maior que a tensão requisitada no eixo, considerando as dimensões do eixo utilizado. (tabela13, pág. 69)

Influência dos elementos de liga:

O aço 1045 tem os seguintes elementos de liga e concentrações em sua composição (Tabela 3):

Este aço liga é considerado um aço de médio carbono pois sua concentração de carbono está entre 0,3 % e 0,6 % em sua composição. E aços com teor médio de carbono têm maior dureza e resistência e menor ductilidade e tenacidade que o de baixo carbono.

Vale ressaltar também que cada elemento de liga presente na composição deste Aço 1045 influencia de alguma forma em suas propriedades mecânicas, por exemplo:

Tabela 3 – Composição química do aço 1045

Elemento	Concentração (%)
Manganês, Mn	0,6 a 0,9
Carbono, C	0,42 a 0,5
Enxofre, S	0,05 (max)
Fósforo, P	0,04 (max)
Ferro, Fe	O que sobra

Fonte: <<http://www.ggdmetals.com.br/produto/sae-1045/>>

- Enxofre: possui alta tendência a se afastar no contorno de grão, aumenta a usinabilidade do material, mas por outro lado causa fragilização do mesmo.
- Manganês: o manganês é um elemento essencialmente desoxidante e dessulfurizante, é benéfico para a qualidade superficial do aço, exceto em aços de baixíssimo carbono e sua utilização reduz o risco de fragilização provocada pelo enxofre.
- Fósforo: aumenta a resistência mecânica do material e também melhora a usinabilidade do material.

É importante destacar que os elementos com afinidade com o carbono podem interagir com o mesmo e formar carbonetos. Carbonetos estes que quando presentes no aço aumentam a sua resistência mecânica, sua condutividade térmica e elétrica, eleva sua estabilidade e diminui a ductilidade do material.

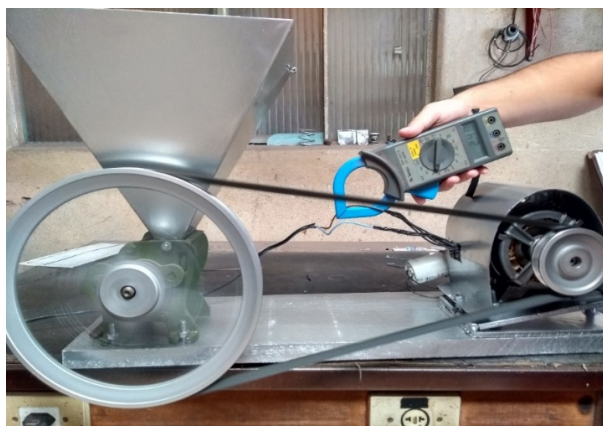
Por outro lado, verificou-se que as propriedades mecânicas deste *Aço liga* 1045 atendem as necessidades do projeto, ou seja, não precisa passar por nenhum tratamento térmico adicional além daqueles já feitos pelo fabricante, pois estes tratamentos são feitos visando mudanças nas propriedades e estrutura do material, que não é o caso neste protótipo.

## 4.6 Gasto energético da máquina

Com o objetivo de calcular o gasto energético da máquina aqui projetada, foram feitos alguns experimentos com o protótipo com a finalidade de medir a variação da potência em relação ao tempo e em relação a quantidade em massa de grãos de café sendo descascados. Para isso, utilizou-se um alicate amperímetro (Figura 6) e um voltímetro afim de medir a variação da corrente elétrica e da diferença de potencial com a máquina em pleno funcionamento.

Nesse experimento foram utilizados 2 *kg* de grãos de café secos, tendo uma duração de 3 minutos (180 segundos). Os dados obtidos através deste experimento se encontram na Tabela 6, vide Apêndice F.

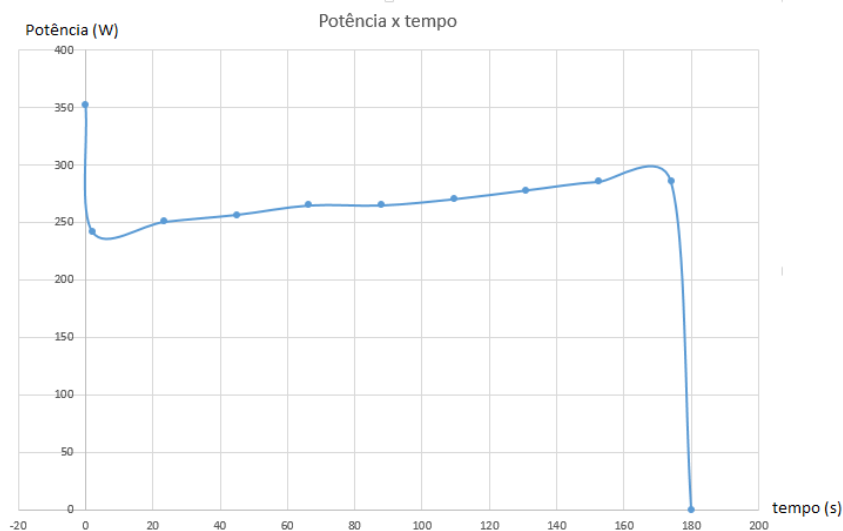
Figura 6 – Experimento da variação de potência em função do tempo



Fonte: Próprios autores

Através da Tabela 6, plotou-se um gráfico (Figura 7) representando a variação da potência em relação ao tempo, levando em consideração o regime permanente do motor elétrico e o fim do processo de descasque dos grãos.

Figura 7 – Gráfico Potência x tempo



Fonte: Próprios autores

Para encontrar a energia total gasta neste experimento, o gráfico (Figura 7) foi dividido em três partes sendo a primeira de 0 a 2 segundos, a segunda de 2 a 174 segundos e a terceira de 174 a 180 segundos. Realizando um ajuste polinomial de curvas e através da equação de uma reta, foi possível encontrar as três funções correspondentes as partes que foram divididas no gráfico (Figura 7):

$$y_1(x) = -55x + 352$$

$$y_2(x) = -3.10^{-12}x^6 - 4.10^{-9}x^5 + 2.10^{-6}x^4 - 0,0002x^3 + 0,011x^2 + 0,2163x + 241,61$$

$$y_3(x) = -47,6x + 8568$$

Por fim, sabendo que a área abaixo da curva no gráfico (Potencia x Tempo) indica a energia gasta ( $E = \int P dt$ ), as integrais das funções encontradas foram resolvidas variando entre os intervalos de tempos determinados para cada uma das três partes. Com isso, a energia encontrada foi de 62,9928 *kWs* (cálculos vide Apêndice F).

Com esse valor de energia determinado e considerando o preço de um *KWh* para o estado de Minas Gerais sendo R\$ 0,80, pôde-se obter o gasto energético da máquina que foi de R\$ 0,014 (cálculo vide Apêndice F) para descascar 2 *kg* de grãos de café em um período de três minutos.

## 5 CRONOGRAMA

Tabela 4 – Cronograma

ATIVIDADE A SER DESENVOLVIDA	Março	Abril	Maior	Junho
Levantamento Bibliográfico	X	X		
Pesquisas de campo	X	X		
Desenvolvimento do relatório	X	X	X	X
Definição das melhorias	X	X		
Redimensionamento do motor		X		
Redimensionamento do sistema de redução por polias		X		
Estudo dos materiais		X		
Aquisição das peças		X	X	
Montagem do protótipo		X	X	X
Experimentos laborais			X	X
Resultados e discussões				X

Fonte: Próprios autores

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Diante da conjuntura retratada nesse projeto, verifica-se a importância do estudo da engenharia mecânica aplicada ao contexto da inovação no meio rural, permitindo que agricultores de pequeno porte possam fazer uso de um dispositivo prático e acessível.

Com efeito, este projeto nasceu a partir de tecnologias já difundidas e na medida em que ele se distanciou destas tornou-se novo, ou seja, a junção de mecanismos e tecnologias já conhecidas com novas incorporações gerou uma nova máquina. As ideias trabalhadas poderão ser utilizadas como fonte para futuras pesquisas que denotem interesse em aperfeiçoar este novo equipamento

Além do mais, os estudos possibilitam a mecanização de uma máquina de descascamento de café (que era originalmente manual). O motor forneceu torque ao sistema através do sistema de redução por polias suficiente para realizar o trabalho. A redução da velocidade, por meio do redimensionamento das polias, favoreceu o descascamento com baixa taxa de danificação dos grãos de café.

Por fim, este projeto recebeu a premiação de primeiro lugar no "I Congresso de Pesquisa e Inovação do Sudeste", ocorrido no período de 08 a 10 de maio de 2018. O mesmo também foi aprovado pela Emater (Empresa de Assistência Rural do Estado de Minas Gerais), foi exposto no "Seminário e Feira Pró-genética de Arcos" e na FINIT (Feira Internacional de Negócios, Inovação e Tecnologia).

Figura 8 – I Congresso de Pesquisa e Inovação do Sudeste



Fonte: Próprios autores

# Referências

- BUDYMAS, Richard G; NISBETT, J. Keith. Elementos de máquinas de Shigley: projeto de engenharia mecânica . 8. ed. Porto Alegre, RS: AMGH, 2011.
- CALLISTER, William D. Jr. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 9<sup>a</sup> edição. Rio de Janeiro: LTC. 2016.
- ÇENGEL, Y.; BOLES, M. Termodinâmica. McGraw-Hill, São Paulo, 5 ed., 2006.
- HIBBELER, R. C. Dinâmica: mecânica para engenharia. 12. ed. São Paulo, SP: Pearson Prentice Hall, c2011. xvi, 591 p. ISBN 9788576058144
- HIBBELER, R.C. Resistência dos materiais, 7<sup>a</sup> edição. Editora Pearson. São Paulo, 2010.
- MELCONIAN, S. Elementos de Máquinas. 7. ed., Editora Érica, 2012.
- Mecanicaindustrial. Aço com médio teor de carbono. Disponível em: <<https://www.mecanicaindustrial.com.br/518-aco-com-medio-teor-de-carbono/>> Acesso em: 10 de jun. 2018
- MESQUITA, Carlos Magno de et al. Manual do café: colheita e preparo (Coffea arábica L.) Belo Horizonte: EMATER-MG, 2016. 52 p. il.
- Metálica. O que é aço carbono? Disponível em: <<http://www.metlica.com.br/o-que-e-aco-carbono>> Acesso em: 15 de jun. 2018
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Café no Brasil. 2017. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileiragt;>> Acesso em 10 out. 2017.
- MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N. Princípios de termodinâmica para engenharia. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- NORTON, Robert L. Projeto de máquinas [recurso eletrônico] : uma abordagem integrada / Robert L. Norton ; [tradução: Konstantinos Dimitriou Stavropoulos ... et al.]. – 4. ed. – Dados eletrônicos. – Porto Alegre : Bookman, 2013.
- SILVA, Cleide. Tratamento térmico. São Paulo: Telecurso 2000 Senai, 2000. <[http://docente.ifsc.edu.br/claudio.schaeffer/material/2\\_Mecatr%C3%B4nica/Materiais\\_1\\_Meca\\_2/Apostila\\_%20Tratamento\\_Termico\\_Complementar.pdf](http://docente.ifsc.edu.br/claudio.schaeffer/material/2_Mecatr%C3%B4nica/Materiais_1_Meca_2/Apostila_%20Tratamento_Termico_Complementar.pdf)>
- Spectru. Tratamento Térmico dos aços: Recozimento, Normalização, Têmpera e Revenido. Disponível em: <<http://www.spectru.com.br/Metalurgia/diversos/tratamento.pdf>> Acesso em: 15 de jun. 2018.
- R. A. Serway, Física 3 - Eletricidade, Magnetismo e Ótica, Rio de Janeiro: LTC Editora, 3<sup>a</sup> edição, 1992.



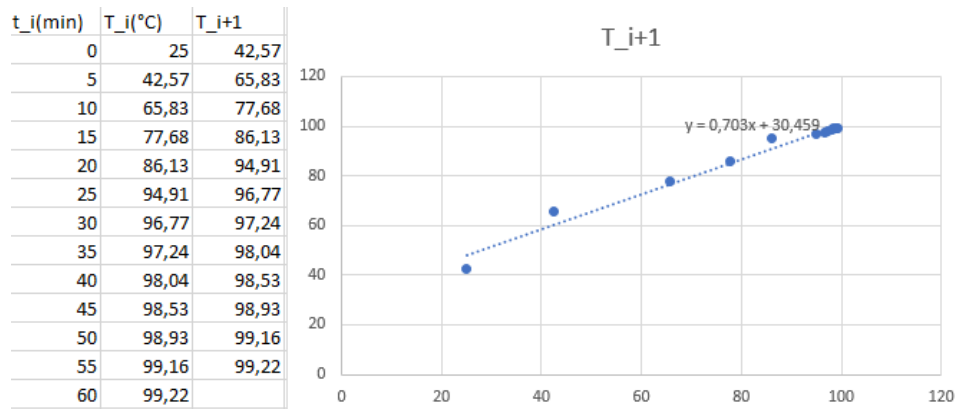
# APÊNDICE A – Estudo da variação da temperatura do motor em relação ao seu tempo de funcionamento

Para encontrar o valor do ponto de estabilidade ( $T^*$ ) foi necessário desenvolver o método de Ford-Walford, o qual afirma que:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} g(T_n) = \lim_{t \rightarrow \infty} T_{n+1} = \lim_{t \rightarrow \infty} T_n = T^*$$

O gráfico 9 abaixo representa o valor para o qual as temperaturas se aproximam com o passar do tempo.

Figura 9 – Convergência dos valores de temperatura a um ponto específico com o passar do tempo



Fonte: Próprios autores

Em seguida calculou-se o valor para o qual as temperaturas convergem:

$$g(T_i) = T_{i+1} = 0,703t + 30,459$$

$$T^* = 0,703T^* + 30,459 \rightarrow T^* = 102,5 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Como dito anteriormente,  $z = \ln(T^* - T)$ , logo construiu-se o gráfico ?? abaixo encontrando a função do mesmo ( $z = -0,056t + 3,9966$ ).

Com isso, foi possível calcular os valores de a e b que satisfazem a equação de  $z = \ln | a | + bt$ , obtendo  $a = 54,4$  e  $b = -0,056$ .

$$T = 102,5 - 54,4e^{-0,056t}$$

Cálculo do coeficiente de correlação de Pearson (r):

$$R = \frac{\sum x_i y_i - \frac{(\sum x_i)(\sum y_i)}{n}}{\left\{ \left[ \sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n} \right] \left[ \sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n} \right] \right\}^{1/2}}$$

$$R = \frac{37157,15 - 32400,3}{\sqrt{(16250 - 11700)(96835,7737 - 89724,73847)}}$$

$$R = 0,83627159 \approx 0,84$$

Utilizando o método fator integrante para desenvolver a e.d.o (4):

$$T' = \alpha - [\lambda(T - T_o)]$$

$$T' = \alpha - (\lambda T - \lambda T_o)$$

$$T' = \alpha - \lambda T + \lambda T_o$$

$$T' + \lambda T - \alpha = \lambda T_o$$

$$P(t) = \lambda \rightarrow \mu(t) = e^{\int \lambda dt} = e^{\lambda t}$$

$$e^{\lambda t}[T' + \lambda T - \alpha] = e^{\lambda t} \lambda T_o$$

$$\int \frac{d}{dt}[e^{\lambda t} T(t)] dt - \int \frac{d}{dt} e^{\lambda t} \alpha dt = \int \lambda T_o e^{\lambda t} dt$$

$$e^{\lambda t} T(t) - \frac{\alpha}{\lambda} e^{\lambda t} = \frac{\lambda T_o e^{\lambda t}}{\lambda} + c$$

$$e^{\lambda t} T(t) = T_o e^{\lambda t} + \frac{\alpha}{\lambda} e^{\lambda t} + c$$

$$T(t) = T_o + \frac{\alpha}{\lambda} + ce^{-\lambda t} \tag{10}$$

Como  $T(0) = T_i$ , temos:

$$T_i = T_o + \frac{\alpha}{\lambda} + ce^{-\lambda(0)}$$

$$c = T_i - T_o - \frac{\alpha}{\lambda} \tag{11}$$

Substituindo 11 em 10, temos:

$$T(t) = T_o + \frac{\alpha}{\lambda} + \left[ T_i - T_o - \frac{\alpha}{\lambda} \right] e^{-\lambda t}$$

Cálculo da constante de resfriamento ( $\lambda$ ):

$$T(t) = T_0 + (T_i - T_0)e^{-\lambda t}$$

$$T(t) = 25 + 74e^{-\lambda t}$$

Como  $T(5) = 87^\circ$  temos:

$$87 = 25 + 74e^{-5\lambda}$$

$$62 = 74e^{-5\lambda}$$

$$\therefore \lambda = 0,036 \text{ min}^{-1}$$

Cálculo da constante de aquecimento ( $\alpha$ ):

$$T(t) = T_o + \frac{\alpha}{\lambda} + \left[ T_i - T_o - \frac{\alpha}{\lambda} \right] e^{-\lambda t}$$

$$T(t) = 25 + \frac{\alpha}{0,036} + \left( T_i - 25 - \frac{\alpha}{0,036} \right) e^{-0,036t}$$

Para  $T_i = T_o$ , temos:

$$\lambda = 0,036$$

$$T(t) = T_o + \frac{\alpha}{\lambda} - \frac{\alpha}{\lambda} e^{-\lambda t}$$

$$42,47 = 25 + \frac{\alpha}{0,036} - \frac{\alpha}{0,036} e^{-5(0,036)}$$

$$\therefore \alpha = 3,84 \text{ min}^{-1}$$

## APÊNDICE B – Redimensionamento do motor e do sistema de redução

- Cálculo do torque necessário para que o descascador inicie o procedimento de descascar:

$$\tau = Fd$$

$$\tau = (9,81.1,450)N.(0,25)m$$

$$\tau = 3,56 \text{ N.m}$$

- Verificação do torque transmitido ao rolo compressor do descascador:

Determinação do torque na polia motora:

$$\text{Torque} = \frac{\text{Potência}}{\text{Velocidade angular}}$$

Portanto,

$$\tau = \frac{245,1}{2\pi \frac{1700}{60}} = 1,377 \text{ Nm}$$

Pôde-se definir a força tangencial atuante na polia motora através da relação:

$$\text{Força} = \frac{\text{Torque [Nm]}}{\text{Raio da polia motora [m]}}$$

Então,

$$F = \frac{1,377}{0,04} = 34,4 \text{ N}$$

Consequentemente,  $\text{Torque} = \text{Força [N]} \times \text{raio da polia do descascador [m]}$

$$\tau = 34,4(0,14) = 4,8 \text{ Nm}$$

- Cálculo da potência mínima de saída que o motor deve possuir:

$$P = \tau.\omega$$

Definindo velocidade angular sabendo que o motor deve ser capaz de transmitir uma rotação de 480 rpm:

$$\omega = 2\pi \frac{480}{60} = 50,2655 \text{ rad/s}$$

Portanto,

$$P = 3,56 \cdot 50,2655 = 178,945 \text{ W} = 0,24 \text{ cv}$$

• Dimensionamento da polia do descascador de modo a transmitir a rotação de 480 rpm ao descascador:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

Onde:

$$n_1 = 1700 \text{ rpm}, n_2 = 480 \text{ rpm}, d_1 = 80 \text{ mm}, d_2 = ?$$

Portanto,

$$\frac{1700}{480} = \frac{d_2}{80} \quad \rightarrow d_2 = 280 \text{ mm}$$

## APÊNDICE C – Esforços atuantes no eixo do motor

Cálculo da velocidade linear da correia:

Através da relação de que:

$$V = \omega \cdot r \quad (12)$$

Onde:

$V$  = Velocidade linear,  $\omega$  = Velocidade angular,  $r$  = Raio.

A equação (1) é obtida dividindo  $ds = r d\theta$  por  $dt$ :

$$\frac{ds}{dt} = r \frac{d\theta}{dt}$$

Onde:  $\frac{ds}{dt} = V$  e  $\frac{d\theta}{dt} = \omega$

Visto isso, a velocidade periférica da correia pode ser calculada:

$$\omega = 2\pi \frac{f}{60} \rightarrow \omega = 2\pi \frac{1700}{60} = 178,0236 \text{ rad/s}$$

Portanto,

$$V = 178,0236(0,04) = 7,1209 \text{ m/s}$$

Para calcular as forças de tração  $F_1$  e  $F_2$  que agem na correia, seguiu-se um roteiro de Elementos de Máquinas de Shigley (2011). A máxima tração encontrada  $F_1 = 64,485 \text{ N}$  e a mínima tração  $F_2 = 19,758 \text{ N}$

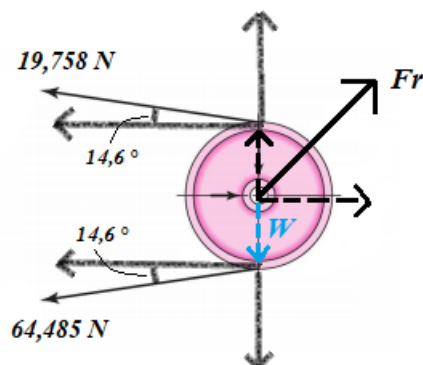
Com os esforços que atuam na correia calculados, foi possível calcular a força resultante que age no eixo considerando todos os esforços no qual o eixo está requisitado.

- Cálculo das componentes da força resultante atuante no eixo (Figura 10):

$$+ \rightarrow \sum F_x = 0$$

$$Fr_x - 64,485 \cos 14,6 - 19,758 \cos 14,6 = 0 \rightarrow Fr_x = 81,523 \text{ N}$$

Figura 10 – Diagrama de corpo livre da polia motora

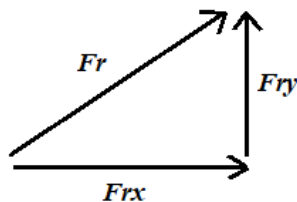


Fonte: Próprios autores

$$+ \uparrow \sum Fy = 0$$

$$Fr_y - 2,943 + 19,758 \sin 14,6 - 64,485 \sin 14,6 = 0 \rightarrow Fr_y = 14,217 \text{ N}$$

- Cálculo da Força Resultante ( $F_r$ ) através das suas componentes em x e em y:

Figura 11 – Componentes da Força Resultante ( $F_r$ )

Fonte: Próprios autores

$$Fr = \sqrt{Fr_x^2 + Fr_y^2} = \sqrt{81,523^2 + 14,217^2} = 82,75 \text{ N}$$

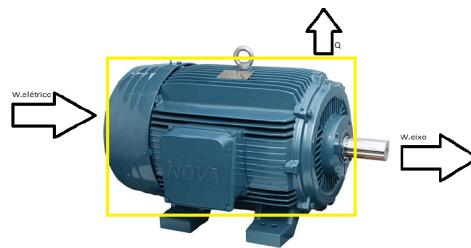
- Cálculo do Momento Fletor máximo atuante no eixo:

$$M_{m\acute{a}x} = Fr(L_{m\acute{a}x}) = 82,75(0,05) = 4,1375 \text{ Nm}$$

## APÊNDICE D – Análise da quantidade de calor que é trocada com o meio

Depois de definido o sistema como sendo somente o corpo do motor, pôde-se fazer as análises de calor e trabalho:

Figura 12 – Sistema definido no motor



Fonte: Próprios autores

Logo após ser definido o sistema observa-se que entra trabalho elétrico e sai calor mais trabalho de eixo.

Fazendo uma análise da energia em sistema fechado sob regime permanente, têm-se que:

$$\frac{dE}{dt} = \dot{E}_{ent} - \dot{E}_{sai}$$

$$0 = \dot{W}_{ele} - (\dot{Q} + \dot{W}_{eixo}) \rightarrow \dot{Q} = \dot{W}_{ele} - \dot{W}_{eixo}$$

$$\dot{Q} = VI - \tau\omega$$

Onde:

$\dot{Q}$  = Troca de calor com o meio [kW];

$\tau$  = Torque [N.m];

$V$  = Diferença de potencial [V];

$I$  = Corrente elétrica [A];

$\omega$  = Velocidade angular [rad/s].

Portanto, a quantidade de calor que é trocada com o meio do motor atual é:



Tabela 5 – Dados dos motores

	Motor anterior	Motor atual
$\tau$ (Nm)	1,14	1,377
$V$ (V)	110	110
$I$ (A)	3,1	3,2
$\omega$ (rad/s)	163,36	178,02

Fonte: Próprios autores

$$\dot{Q} = 110(3,2) - 1,377(178,02)$$

$$\dot{Q} = 0,107 \text{ kW}$$

A quantidade de calor que é trocada com o meio do motor anterior é:

$$\dot{Q} = 110(3,1) - 1,14(163,36)$$

$$\dot{Q} = 0,155 \text{ kW}$$

Calculou-se também a eficiência térmica de ambos os motores:

- Motor atual:

$$\eta = \frac{\dot{W}_{eixo}}{\dot{W}_{ele}} = \frac{0,245}{0,352} = 0,696 = 69,6\%$$

- Motor antigo:

$$\eta = \frac{\dot{W}_{eixo}}{\dot{W}_{ele}} = \frac{0,186}{0,341} = 0,545 = 54,5\%$$

Com os dados obtidos anteriormente pôde-se calcular também a exergia destruída para ambos os motores.

$$\dot{X}_{dest} = \dot{W}_{ele} - \left[ - \left( 1 - \frac{T_o}{T_b} \right) \dot{Q}_{sai} + \dot{W}_{eixo} \right]$$

- Motor antigo:

$$\dot{X}_{dest} = 0,341 - \left[ - \left( 1 - \frac{298}{388} \right) 0,155 + 0,186 \right] = 0,191 \text{ kW}$$

- Motor atual:

$$\dot{X}_{dest} = 0,352 - \left[ - \left( 1 - \frac{298}{375} \right) 0,107 + 0,245 \right] = 0,129 \text{ kW}$$

# APÊNDICE E – Análise e avaliação do material do eixo do motor elétrico

Sabendo que o torque ( $T$ ) é de  $1,377 Nm$  (cálculos vide Apêndice B), o momento fletor máximo é de  $4,1375 Nm$  (cálculos vide Apêndice C) e o raio do eixo ( $c$ ) é igual a  $0,0063 m$ , foi possível determinar a tensão normal e cisalhante máxima atuante no eixo através das equações de tensão normal provocada pelo momento fletor e a de tensão cisalhando provocada pelo momento torsor;

$$\tau = \frac{Tc}{J} = \frac{Tc}{\frac{\pi(c)^4}{2}} = 3,506 MPa$$

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{Mc}{\frac{\pi(c)^4}{4}} = 21,07 MPa$$

Em seguida, utilizando os conceitos de elementos de máquina no capítulo que se trata das "Falhas de Materiais Dúcteis sobre Carregamento", obteve-se a tensão máxima no eixo do motor que foi de aproximadamente  $22 MPa$ ;

$$\sigma_{máx} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \approx 22 MPa$$

Visando a prevenção de falhas no projeto, deve-se determinar um fator de segurança ( $FS$ ), e analisando a Figura 13, o fator de segurança escolhido é 1,5.

Figura 13 – Fatores de segurança

Coefficiente	Carregamento	Tensão no material	Propriedades do material	Ambiente
1,2 - 1,5	Exatamente conhecido	Exatamente conhecida	Exatamente conhecidas	Totalmente sob controle
1,5 - 2,0	Bem conhecido	Bem conhecida	Exatamente conhecidas	Estável
2,0 - 2,5	Bem conhecido	Bem conhecida	Razoavelmente conhecidas	Normal
2,5 - 3,0	Razoavelmente conhecido	Razoavelmente conhecida	Ensaaiadas aleatoriamente	Normal
3,0 - 4,0	Razoavelmente conhecido	Razoavelmente conhecida	Não ensaiadas	Normal
4,0 - 5,0	Pouco conhecido	Pouco conhecida	Não ensaiadas	Variável

Fonte: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABaQAL/ensaio-tracao-relatorio>(Acesso em : 20maiode2018) >

Com a tensão limite de escoamento do Aço 1045 (Figura 14) e o  $FS$  determinados, utilizando a equação abaixo foi encontrada uma tensão admissível do material de aproximadamente 207  $MPa$ .

Figura 14 – Propriedades Mecânicas dos Aços

Tipo de aço	Teor de Carbono (%)	Limite de elasticidade $f_{el}$ (GPa)	Limite de escoamento $f_y$ (MPa)	Limite de resistência à tração $f_u$ (MPa)	Alongamento (%)
ASTM-A-36	0,25 a 0,30	200	250	400 a 500	20
Comercial	–	± 190	± 240	370 a 520	20
ASTM-A570	0,25	185	230	360	23
SAE 1008	0,08	135	170	305	30
SAE 1010	0,10	145	180	325	28
SAE 1020	0,20	170	210	380	25
<b>SAE 1045</b>	<b>0,45</b>	<b>250</b>	<b>310</b>	<b>560</b>	<b>17</b>
ASTM-A242	< 0,22	250	290 a 350	435 a 480	18

Fonte: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABaQAL/ensaio - tracao - relatorio>(Acesso em : 20maiode2018) >

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{escoamento}}{FS} = \frac{310(10^6)}{1,5} = 207 \text{ MPa}$$

Como a tensão admissível do material tem que ser sempre maior que a tensão atuante no eixo, ficou provado que o Aço 1045 atende as especificações do projeto.

## APÊNDICE F – Gasto energético da máquina

- Dados obtidos através do experimento realizado:

Tabela 6 – Análise da variação da potência em detrimento à massa de grãos descascados

Massa (g)	Tempo para o descascamento (s)	d.d.p. ( $\Delta V$ )	Corrente (I)	Potência = $I\Delta V$ (W)
0	0	110	3,2	352
0	2	110	2,2	242
250	23,5	109	2,3	250,7
500	45	107	2,4	256,8
750	66,5	106	2,5	265
1000	88	106	2,5	265
1250	109,5	104	2,6	270,4
1500	131	103	2,7	278,1
1750	152,5	102	2,8	285,6
2000	174	102	2,8	285,6
0	180	0	0	0

Fonte: Próprios autores

Através da Tabela 6, plotou-se um gráfico (Figura 7) representando a variação da potência em relação ao tempo, levando em consideração o regime permanente do motor elétrico e o fim do processo de descasque dos grãos.

Para encontrar a energia total gasta neste experimento, o gráfico (Figura 7) foi dividido em três partes sendo a primeira de 0 a 2 segundos, a segunda de 2 a 174 segundos e a terceira de 174 a 180 segundos. Realizando um ajuste polinomial de curvas e através da equação de uma reta, foi possível encontrar as três funções correspondentes as partes que foram divididas no gráfico (Figura 7):

- 1º função - Ajustada através da equação de uma reta ( $0 \leq x \leq 2$ ):

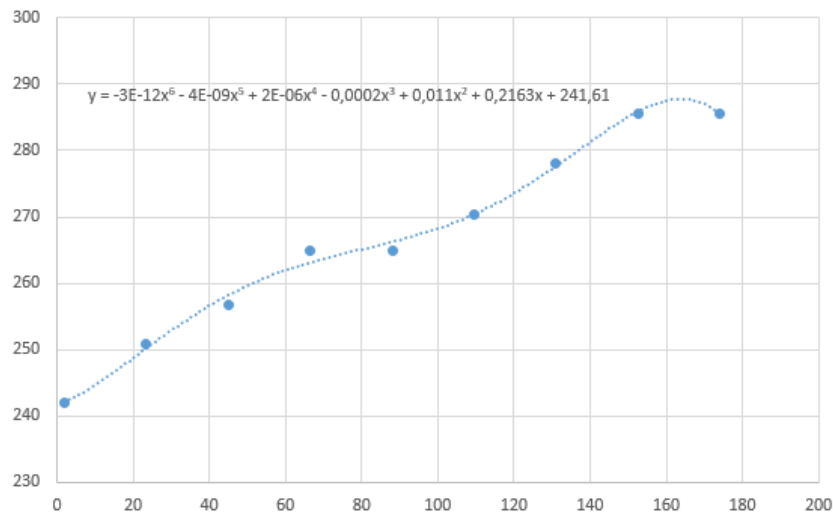
$$m = \frac{y - y_0}{x - x_0} = \frac{242 - 352}{2 - 0} = -55$$

$$y - y_0 = -55(x - x_0) \rightarrow y = -55x + 352$$

- 2º função - Ajuste de curvas polinomial no *Excel*:

$$y = -3.10^{-12}x^6 - 4.10^{-9}x^5 + 2.10^{-6}x^4 - 0,0002x^3 + 0,011x^2 + 0,2163x + 241,61$$

Figura 15 – Potência x tempo ( $2 \leq x \leq 174$ )



Fonte: Próprios autores

- 3º função - Ajustada através da equação de uma reta ( $174 \leq x \leq 180$ ):

$$m = \frac{y - y_o}{x - x_o} = \frac{0 - 285,6}{180 - 174} = -47,6$$

$$y - y_o = -47,6(x - x_o) \rightarrow y = -47,6x + 8568$$

Por fim, sabendo que a área abaixo da curva no gráfico (Potencia x Tempo) indica a energia gasta ( $E = \int P dt$ ), calculou-se as integrais das funções encontradas variando entre os intervalos de tempos determinados para cada uma das três partes:

$\Rightarrow E_1$ :

$$\int_0^2 352 - 55x dx = \left[ 352x - \frac{55x^2}{2} \right]_0^2 = 704 - 110 = 594 \text{ W s}$$

$\Rightarrow E_2$ :

$\Rightarrow E_3$ :

$$\int_{174}^{180} 8568 - 47,6x dx = \left[ 8568x - \frac{47,6x^2}{2} \right]_{174}^{180} = 771120 - 770263,2 = 856,8 \text{ W s}$$

Posteriormente, foi calculado o gasto energético total somando-se os valores encontrados nas integrais:

$$E_T = E_1 + E_2 + E_3 = 62,9928 \text{ kWh}$$

Com esse valor de energia determinado e considerando o preço de um *KWh* para o estado de Minas Gerais sendo R\$ 0,80, pôde-se obter o gasto energético da máquina:

Figura 16 – Integral da Função 2 no *MATLAB*

```
Command Window
>> syms x
>> int((-0.000000000003*x^6)-(0.000000004*x^5)+(0.000002*x^4)-(0.0002*x^3)+(0.011*x^2)+(0.2163*x)+241.61,x,2,174)
ans =
1301996427469920540112971136285689/21156201843256010557358080000
>> 1301996427469920540112971136285689/21156201843256010557358080000
ans =
6.1542e+04
fx >>
```

Fonte: Próprios autores

- Conversão de  $kWs$  para  $kWh$ :

Sabendo que  $1kWh = 3600kWs$ , tem-se:

$$x = \frac{62,9928}{3600} = 0,017498 \text{ kWh}$$

- Gasto da máquina:

Sabendo que  $1kWh = R\$ 0,80$ , tem-se:

$$x = 0,80(0,017498) = R\$ 0,014$$

Este valor de  $R\$ 0,014$  é o gasto da máquina para descascar  $2 \text{ kg}$  de grãos de café em três minutos.