



PROCESSADOR E TRANSPORTADOR PNEUMÁTICO DE GRÃOS DE CAFÉ PÓS- SECAGEM, DESIGNO AO PEQUENO PRODUTOR RURAL

**REBORED, Emanuel Mendes ¹ ; VIEIRA, Leonardo Caputo ²
CAPACCIA, Lucas Gesualdi ³ ; GALLO, Daniel Passos ⁴**

Resumo

O manuseio com as próprias mãos, das etapas do processamento e beneficiamento dos grãos de café se tornou obsoleto para operações de volumes industriais. Empresas as quais utilizam de maquinários com tecnologias automatizadas que proporcionam homogeneidade no produto. A demanda de produtos artesanais advindos de agricultura familiar com o foco em qualidade, vem crescendo exponencialmente. Tendo em mente a significativa importância do pequeno produtor rural, foi desenvolvido o projeto de um maquinário de beneficiamento de grãos, simplificado e com o custo acessível ao público alvo em questão. As fases do dimensionamento das partes móveis foram definidas. Houve a representação dos materiais tendo como embasamento catálogos de fabricantes, e posteriormente o desenho técnico detalhado. Valores encontrados referentes a resistência das peças são condizentes as cargas de trabalho e condições desfavoráveis que o maquinário irá suportar.

Palavras-chave: agricultura familiar. automatizadas. beneficiamento. dimensionamento.

¹ Centro Universitário Redentor, Engenharia Mecânica, Itaperuna-RJ, emanuelmendesrebored@gmail.com

² Centro Universitário Redentor, Engenharia Mecânica, Itaperuna-RJ, leoleocvieira@hotmail.com

³ Centro Universitário Redentor, Engenharia Mecânica, Itaperuna-RJ, lucasgcapaccia@hotmail.com

⁴ Centro Universitário Redentor, Engenharia Mecânica, Itaperuna-RJ, daniel.gallo@redentor.edu.br



Abstract

Handling the stages of processing and processing coffee beans has become obsolete for industrial volume operations. Companies that use machinery with automated technologies that provide homogeneity in the product. The demand for artisanal products from family farming with a focus on quality has been growing exponentially. Bearing in mind the significant importance of the small rural producer, the project for a grain processing machinery was developed, simplified and affordable to the target audience in question. The phases for dimensioning the moving parts have been defined. There was the representation of the materials based on manufacturers' catalogs, and later the detailed technical drawing. Values found regarding the resistance of the parts are consistent with the workloads and unfavorable conditions that the machinery will withstand.

Keywords: family farming. automated. processing. sizing.



1 INTRODUÇÃO

Vindo da Guiana Francesa em meados do século XVIII as primeiras mudas de café começaram a ser cultivadas no Brasil nas regiões da Baixada Fluminense e do Vale de Rio Paranaíba. Devido ao solo fértil e clima apropriado os grãos produzidos aqui se mostraram de alta qualidade e tendo a possibilidade de produção em larga escala, a partir de 1837 o café se tornou o principal produto de exportação do Brasil Império, denominando os fazendeiros locais de “barões do café”, pelo fato de suprirem a demanda de consumo da Europa e Estados Unidos. Devido aos expressivos lucros gerados pela exportação, iniciou-se uma etapa de modernização dos processos de colheita, beneficiamento e transporte, produtores de conhecimento (BARBOSA DE ALMEIDA *et al.*, 2018).

Para atender os grandes industriais do setor, os maquinários e equipamentos para o beneficiamento dos grãos se desenvolveram bastante a ponto de se abstrair da necessidade de contato humano direto e proporcionando um alto volume de produção mantendo um padrão de qualidade homogêneo, porém esse nível de tecnologia não está ao alcance dos pequenos produtores, que em sua maior parte se submetem a processos manuais pesados e de baixo rendimento.

Como afirma (GUANZIROLI, 2012), dados analisados entre 1996 e 2006 comprovam que a taxa que corresponde ao crescimento de agricultores familiares é de 9,97%, o que representa num total de 87,95% dos estabelecimentos agropecuários do Brasil, e em termos de emprego incluindo os membros da família, o setor obteve um aumento de 78,75% na mão de obra no campo.

O aumento da demanda de produtos feitos de forma artesanal pela agricultura familiar tendo como maior característica a qualidade, se distanciou da evolução tecnológica para esses pequenos produtores, advento que está ao alcance de uma pequena parcela de grandes produtores a nível industrial, que detém a maior representação do mercado e conseguem arcar com os custos dos maquinários.

Tendo em mente a significativa importância dos pequenos produtores de café, elaborar um projeto de uma máquina de descascar que ofereça custo e benefício, é crucial para a movimentação do setor, garantindo que o público alvo consiga se mecanizar e ganhar espaço nesse mercado maduro e competitivo.



2 METODOLOGIA

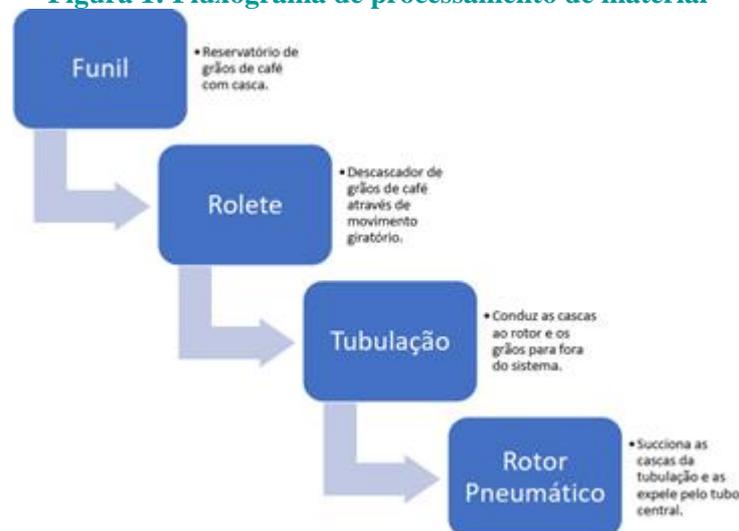
2.1 Concepção do projeto

A fundamentação do projeto de uma máquina agrícola se baseia em diversas fases, as quais são equacionadas por cálculos matemáticos, estimativas oriundas de pesquisas e análises de testes após o mecanismo estar concluído.

Os processos que foram analisados e representados na Figura 1, têm funções distintas dentro do sistema em geral. O projeto do processador de grãos com transportador pneumático é composto por um rolete integrado ao eixo que é conduzido por um motor elétrico através de um sistema de polias e correia, que ao ser acionado movimentava o rolete desacoplando as cascas dos grãos, executando movimentos giratórios dentro de uma gaiola. Os grãos juntamente com as cascas são expelidos da gaiola para a tubulação PVC, onde o rotor pneumático acoplado à ponta do eixo succiona as cascas, deixando os grãos limpos.

De acordo com o que é possível ser observado, o descascador de café se divide em dois módulos que tem como partes em comum, a estrutura, o motor elétrico e o sistema de polias.

Figura 1: Fluxograma de processamento de material



Fonte: os autores

2.2 Processador de grãos

Após a etapa de secagem dos grãos de café, o processo de beneficiamento se inicia no funil de captação que direciona os grãos até o rolete, esse por sua vez desacopla as cascas que



envolvem os grãos através de suas irregularidades na superfície do mesmo, esse processo corre no interior de uma gaiola com uma abertura superior de entrada e outra abertura lateral de saída.

2.2.1 Eixo

Elemento de máquina que exerce a função de transmitir os movimentos do motor elétrico, para o rolete descascador e o rotor pneumático, deve suportar os momentos solicitados ao longo de seu comprimento. São definidos a geometria e o material que constituem tal elemento, a fim de verificar seu módulo de elasticidade e rigidez.

Ao analisar a comunicação dos elementos com o eixo, foi entendido que o mesmo sofre carregamentos de flexão e torção, ou seja, flexo-torção. Foi necessário encontrar o diâmetro mínimo necessário para o eixo, portanto inicialmente foi calculado o momento fletor pela seguinte equação:

$$\sigma_b = \frac{32.M}{\pi.d^3} \quad (1)$$

Para determinar a tensão de cisalhamento devido a torção utiliza-se o Momento Torsor encontrado pela manipulação das seguintes equações:

$$\tau_{Tc} = \frac{T}{Z_p} \quad (2)$$

$$\tau_{Tc} = \frac{16.T}{\pi.d^3}$$

Ao ter suas equações definidas, foi utilizado o Ciclo de Mohr para combiná-las, e encontrar a tensão máxima de cisalhamento.

$$\tau_{Máx} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{2}\right)^2 + \tau_{Tc}^2} \quad (3)$$

Assim foi possível verificar prováveis falhas no eixo utilizando o Critério de Tresca.



$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot f_s}{T \cdot \sigma_e} \cdot \sqrt{M^2 + T^2}} \quad (4)$$

Por fim, foi utilizado um método conservativo com um fator de segurança de 5 a fim de evitar possíveis falhas, conferindo assim, um eixo confiável e robusto para serviços árduos e prolongados, portanto por questões de compatibilidade com os demais componentes e da facilidade de encontrar peças no mercado, foi optada a utilização de um eixo com 20mm de diâmetro produzido com aço SAE-1020, que ao ter o rolete descascador integrado como um único componente, pode ser representado de acordo com a Figura 2.

Figura 2: Projeção digital do rolete descascador



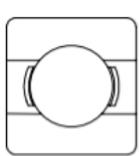
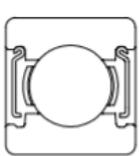
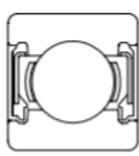
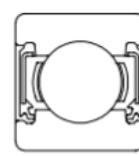
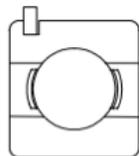
Fonte: os autores

2.2.2 Rolamentos

Os componentes móveis giram incessantemente controlados por um motor elétrico, processando material bruto em forma de grão e direcionando o fluxo de sólidos dentre um sistema pneumático, esse movimento rotacional é preservado por dois mancais de rolamentos de esferas, que são fixados na estrutura do descascador.

O sistema irá operar com uma carga relativamente baixa, portanto não se fazem necessários rolamentos de rolos ou agulhas. Devido ao manuseio e processamento de insumos agrícolas, é fundamental que os rolamentos sejam compostos por blindagem, a fim de proteger suas partes móveis de pequenas partículas, da mesma forma que os retentores de borracha nítrica se fazem de suma importância, se tratando de um maquinário teoricamente simplificado e desprovido de vasta tecnologia eletrônica, ele será lavável e desmontável, portanto tem-se a sondagem de que o dimensionamento do elemento se baseará num modelo de rolamento radial com uma carreira de esfera e vedação DDU, como está representado na figura 3.


Figura 3: Simbologia de blindagens de rolamento

				
Aberto	Blindado	Vedado (sem contato)	Vedado (com contato)	com rasgo e anel de retenção
Sem sufixo	ZZ	W	DDU	NR

Fonte: Shigley (2011, não paginado)

O principal motivo de falhas em rolamento se dá por fadiga, portanto é necessário calcular sua vida útil pela seguinte equação.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \quad (5)$$

Logo foi utilizado um fator de confiabilidade de 96,5% que pode ser calculado pela equação a seguir.

$$L_p = K_r \cdot L_{10} \quad (6)$$

Por se tratar de rolamentos radiais foi considerado apenas os esforços provenientes de , portanto conclui-se que o rolamento não sofrerá influência de cargas combinadas. Dessa forma sua carga estática equivalente pode ser descrita pela seguinte equação:

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a \text{ [kN]} \quad (7)$$

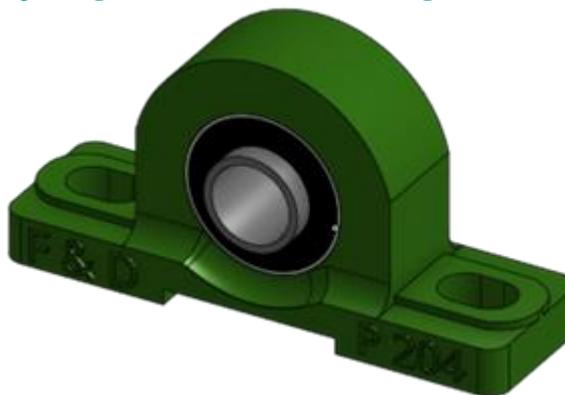
Foi considerado a utilização de rolamentos do tipo fixo de esferas com diâmetro interno de 20 mm, os quais suportam cargas dinâmicas até 12.7 KN conforme especificado no catálogo. E por serem utilizados 2 rolamentos, a carga constante será igualmente dividida

Por tanto, foi optado por um par de mancais P204 integrados com rolamentos tipo fixo pelo fato de não receberem cargas combinadas, cujo diâmetro interno é de 20 mm e pode ser identificado pelo código 6204, como é especificado na tabela 1 e retratado na Figura 4.


Tabela 1: Dados sobre rolamentos FAG – WL 41 520/3 PB

Tipos de rolamento	Diâmetro de eixo (mm)	C- Capacidade de carga dinâmica (KN)	Código
Fixo de esferas	20	12,7	6204

Fonte: adaptada de FAG Rolamentos. - Catálogo de Rolamentos.

Figura 4: Projeção digital do Mancal P 204 integrado com Rolamento 6204


Fonte: Banco de dados *OnShape*.

2.3 Transportador pneumático

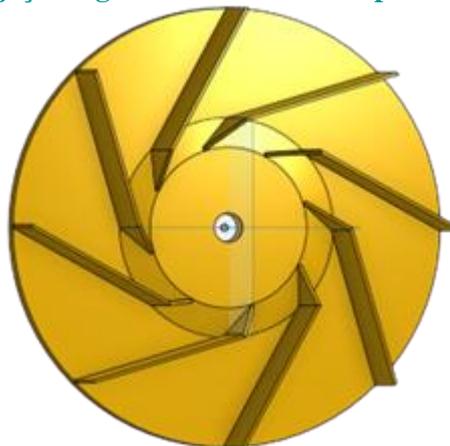
Souza *et al.* (2013), em um transportador pneumático o transporte de grãos se torna mais seguro, de baixo custo, com perdas insignificante de material e com boa facilidade de manutenção, o que torna este sistema mais vantajoso em relação a outros tipos.

Para a escolha necessária do transportador pneumático, algumas considerações físicas são levadas em conta, que são o tipo de grão a ser transportado, seu tamanho e o diâmetro da tubulação. Dessa maneira, o transportador representado na figura 5, cumprirá sua função da melhor maneira, que neste caso será o transporte da casca do café.

O funcionamento do transportador se dará através de um eixo que é movido por um motor elétrico e que este mesmo eixo estará conectado no rotor, fazendo com que o mesmo funcione de maneira a succionar somente as cascas de café.



Figura 5: Projeção digital do rotor do transportador pneumático



Fonte: os autores

2.3.1 Pressão do transportador pneumático

De acordo com Schulze (2008), a pressão negativa utilizada em um transportador pneumático é uma das mais comuns, devido transportar diferentes materiais de vários pontos de recepção com apenas um ponto de saída. Neste tipo de sistema vale ressaltar que a operação é sob vácuo, o que torna uma necessidade de um grande volume de ar para transportar as partículas necessárias.

2.3.2 Velocidade no transportador pneumático

Um dos fatores fundamentais para o transporte de maneira eficiente de sólidos e com pouco perda de carga é a determinação da velocidade do fluido no transportador (COSTA, 2005).

Assim, através de vários experimentos com fenômenos físicos e químicos em transportadores pneumáticos, chegou-se a equações matemáticas que dimensionam equipamentos de transportes pneumáticos (GOMIDE, 1983). Então, para que haja o transporte é necessária uma velocidade ideal mínima suficiente para que se tenha uma flutuação da casca de café determinada pela equação seguinte:

$$V = 4,11 \cdot \sqrt[3]{p} + \sqrt{D_p} + 23,4 \cdot \sqrt{p} \quad (8)$$



2.3.3 Diâmetro interno do duto

Sendo assim, também é necessário calcular o diâmetro interno do duto:

$$D = 3016 \cdot \frac{\sqrt{C}}{V^{0,98}} \quad (9)$$

Vale ressaltar que o valor levado em consideração a capacidade de transporte foi o equivalente a 9 sacas de 60 kg cada, o equivalente a 540 kg/h ou 0,54 T/H.

2.3.4 Vazão de ar

Logo após, torna-se possível efetuar o cálculo da vazão de ar de transporte, que é dado pela fórmula abaixo:

$$Q = V \cdot A \quad (10)$$

2.3.5 Velocidade de descarga nos dutos

Após os cálculos referente ao transportador pneumático, é possível determinar a velocidade do ar no duto de sucção pela equação logo abaixo:

$$Q = V_S \cdot A_S \quad (11)$$

Então consegue-se calcular definitivamente a velocidade no duto de descarga que é dado pela seguinte equação:

$$V_D = V_S \cdot \frac{D_S^2}{D_d^2} \quad (12)$$

Além disso, de acordo com Moraes (2011), é possível classificar o escoamento nos dutos efetuando cálculo referente ao Número de MACH:

$$N_{MA} = \frac{V}{C} \quad (13)$$



Com isso, consegue-se determinar que o tipo de escoamento é considerado subsônico.

2.3.6 Densidade do grão do café

Os grãos de café utilizado para o projeto são cultivados em uma lavoura no sítio Vô Joaquim no qual opera-se uma produção voltada para a cafeicultura de qualidade que consiste em tratar cada etapa, desde o plantio até a sua embalagem de forma artesanal. Segundo Gomide (1983), a densidade real do sólido se torna complicado de se determinar, sendo assim, utilizando a densidade aparente se torna algo prático a se obter. Assim, a massa específica aparente de um grão é determinada a partir de alguns parâmetros, como teor de água presente no grão, o recipiente que está o mesmo e massa dos grãos (JAYAS *et al.*, 1989) Com isso, de acordo com Silva (1999, p. 146) foi considerado uma massa específica aparente da casca de café de “aproximadamente 595 kg m^3 e um volume de ocupação de $4,577-3 \text{ cm}^3$ ”.

$$D = \frac{M}{V_g} \quad (14)$$

Determinando a densidade aparente, é possível obter a densidade do sólido, que neste caso é a densidade da casca do café obtida pela fórmula a seguir:

$$P_s = 1,47 \cdot \rho^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{D_s^2}{D_D^2} \quad (15)$$

2.3.7 Densidade da casca de café

Após o processo de descascar o café, o transportador pneumático executará sua função, que será a de succionar a casca dos grãos do café para que os mesmos possam ficar limpos e livres de impurezas. Com isso, foi determinado também uma densidade aparente para as cascas no valor de $0,13 \text{ Mg m}^{-3}$ e um diâmetro médio de 12,5 mm (BARBOSA, 1991).



3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Depois de compreender a utilidade do processador e transportador pneumático de grãos, se faz necessário fazer o dimensionamento do mesmo para sua fabricação. Desse modo, é possível obter alguns resultados que provará o funcionamento do projeto.

3.1 Dimensionamento do eixo

Tensão devido ao momento fletor:

$$\sigma_b = \frac{32.7,35}{\pi \cdot 0,02^3}$$

$$\sigma_b = 9.359.964,592 = 9,359MPa$$

Tensão de cisalhamento devido a torção:

$$\tau_{Tc} = \frac{16.7,35}{\pi \cdot 0,02^3}$$

$$\tau_{Tc} = 4.679.155,327 = 4,679MPa$$

Tensão máxima de cisalhamento:

$$\tau_{Máx} = \sqrt{\left(\frac{9,359 \times 10^6}{2}\right)^2 + (4,679 \times 10^6)^2}$$

$$\tau_{Máx} = \sqrt{479,408 \times 10^6}$$

$$\tau_{Máx} = 21,895Mpa$$

Verificação de falha:



$$21,895x10^6 < \frac{330x10^6}{2}$$

$$21,895MPa < 165MPa$$

Diâmetro do eixo:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32.5}{7,35 \cdot 330x10^6} \cdot \sqrt{(2,930x10^{-2})^2 + 7,35^2}}$$

$$d = \sqrt[3]{6,597x10^{-8} \cdot 7,35}$$

$$d = \sqrt[3]{4,848x10^{-7}}$$

$$d = 7,856x10^{-3}m$$

3.2 Dimensionamento dos rolamentos

Vida útil dos rolamentos:

$$L_{10} = \left(\frac{12,7}{21,67x10^{-3}}\right)^3$$

$$L_{10} = 204,10 x10^6$$

Confiabilidade de 96,5%:

$$L_{3,5} = 0,5 \cdot 204,1$$

$$L_{3,5} = 102 x10^6$$

Carga estática equivalente:



$$P = 1.21,67$$

$$P = 21,67 N$$

3.3 Dimensionamento do transportador pneumático

Velocidade de transporte:

$$V = 4,11 \cdot \sqrt[3]{0,1433} + \sqrt{0,0125} + 23,4 \cdot \sqrt{0,1433}$$

$$V = 11,11 \text{ m/s}$$

Diâmetro interno do duto:

$$D = 3016 \cdot \frac{\sqrt{0,54}}{11,11^{0,98}}$$

$$D = 210 \text{ mm ou } 0,210 \text{ m}$$

Vazão de ar de transporte:

$$Q = 11,11 \cdot \frac{\pi \cdot (0,210^2)}{4}$$

$$Q = 0,384 \text{ m}^3/\text{s}$$

Velocidade de ar nos dutos:

$$V_s = \frac{0,384}{\frac{\pi \cdot 0,1^2}{4}}$$

$$V_s = 48,89 \text{ m/s}$$

Número de Mach:



$$N_{MA} = \frac{48,89}{344}$$

$$N_{MA} = 0,14$$

Velocidade de Descarga:

$$V_D = 48,89 \cdot \frac{0,1^2}{0,1^2}$$

$$V_D = 48,89 \text{ m/s}$$

3.4 Densidade do grão de café

Densidade das cascas de café:

$$D = \frac{595}{4,577^{-3}}$$

$$D = 0,13 \cdot 10^6 \text{ g/m}^3 \text{ ou } 0,1433 \text{ t/m}^3$$

Densidade do sólido:

$$P_s = 1,47 \cdot 0,1433^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{0,1^2}{0,1^2}$$

$$P_s = 0,010 \text{ t/m}^3 \text{ ou } 9071,847 \text{ g/m}^3$$

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a alta demanda de café produzido sob padrões de qualidade artesanal, foi de suma importância a elaboração do projeto do maquinário de Processamento e Transporte Pneumático de grãos de café. Levando em consideração que esse nível de qualidade do produto, dificilmente é alcançado pela indústria devido a suas grandes metas de produção, que os força a abdicar da alta qualidade do produto.

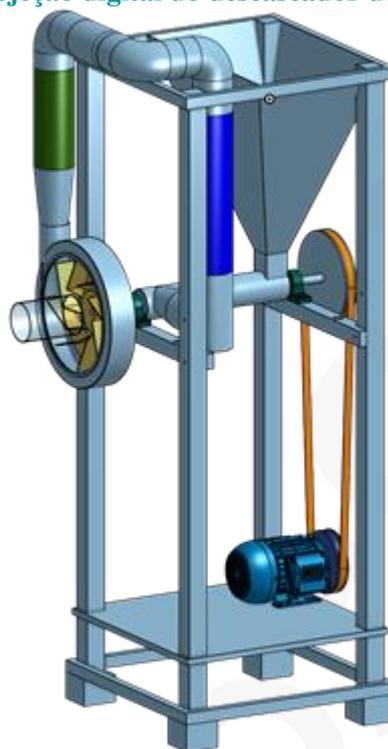


Os resultados obtidos com os cálculos apontam os valores ao qual os elementos móveis serão submetidos, porém foi considerado o regime degradante ao qual a máquina irá operar, com ciclos ininterruptos, excesso de poeira e demais partículas, umidade e superdimensionamento por parte dos operadores. Considerações as quais justificaram a utilização de fatores de segurança conservadores.

Para atender a demanda que o maquinário exige, principalmente em épocas de colheitas mais fartas, foi necessário através de um software de desenho dimensionar as medidas do maquinário, dentre elas obtém-se um rolete com 410 mm de comprimento e 75 mm de diâmetro, que fica acoplado em um rotor pneumático.

Por fim, tendo como base a velocidade de ar nos dutos e a densidade das cascas de café, foi possível dimensionar o transportador pneumático a fim de se obter a melhor vazão nos dutos evitando assim que haja entupimento dos mesmos. O diâmetro definido do rotor foi de 210 mm, no qual foi determinado para que haja uma capacidade maior de vazão.

Figura 6: Projeção digital do descascador de café completo



Fonte: os autores

REFERÊNCIAS

BARBOSA DE ALMEIDA, D. C. *et al.* A herança colonial brasileira: Quanto as relações sociais e de produção no ciclo do café (1727-2017). **Caribeña de Ciencias Sociales**, [S.L.], n. jul. 2018.



BARBOSA, C. F. B238c **Caracterização de biocarvões de palha de café e casca de eucalipto produzidos a 350 e 600 °C.** [S.L.]: [S.n.], 2016.

COSTA, E. C. da. **Ventilação.** São Paulo: Blücher, 2005.

GOMIDE, R. **Operações unitárias:** operações com sistemas granulares. São Paulo: [S.n.], 1983. 1 v.

GUANZIROLI, C. E.; BUAINAIN, A. M.; DI SABBATO, A. Dez anos de evolução da agricultura familiar no Brasil: (1996 e 2006). **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [S.L.], v. 50, n. 2, p. 351-370, 2012.

HIBBELER, R.C. **Resistência dos materiais.** 7. ed. São Paulo: Pearson, 2010.

JAYAS, D. S.; SOKHANSANJ, S.; WHITE, N. D. G. Bulk density and porosity of two canola species. **American Society of Agricultura Engineers, Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 32, n. 1, p.291-294, 1989.

MORAES, M. S. de. **Convecção forçada de partículas poliméricas em fase diluída:** Curvas de pressão e distribuição de partículas (Tese Doutorado), UNICAMP, Campinas, 2012.

SCHULZE, D. **Powders and Bulk Solids - Behavior, Characterization, Storage and Flow.** **Springer Dordrecht Heidelberg London New York**, 2008.

SHIGLEY, J. E. **Elementos de máquinas.** São Paulo: LTC, 2011. 8 v.

SILVA, J. S.; BEBERT, P. A. **Colheita, secagem e armazenagem de café.** Viçosa: Aprenda Fácil, 1999.

SOUZA, D. V. de. *et al.* Estudo da perda de carga em uma unidade piloto de transporte pneumático em fase diluída. In: **Anais [...]** CONIC-SEMESP. 2013 - Faculdade Anhanguera de Campinas - Unidade 3, 2013.

EDIÇÃO ESPECIAL

Pandemia

COMO CITAR ESTE ARTIGO

ABNT: REBOREDO, E. M. *et al.* Processador e transportador pneumático de grãos de café pós-secagem, designo ao pequeno produtor rural. **Revista Interdisciplinar do Pensamento Científico**, Itaperuna, v. 06, n. 3, p. 1-18. 2020. DOI: 10.209512446-6778v6n3a48.

AUTOR CORRESPONDENTE

Nome completo: Emanuel Mendes Reboredo
e-mail: emanuelmendesreboredo@gmail.com

Nome completo: Leonardo Caputo Vieira
e-mail: leoleocvieira@hotmail.com

Nome completo: Lucas Gesualdi Capaccia
e-mail: lucasgcapaccia@hotmail.com

Nome completo: Daniel Passos Gallo
e-mail: daniel.gallo@redentor.edu.br

RECEBIDO

20. 07. 2020.

ACEITO

20. 12. 2020.

PUBLICADO

01. 11. 2021.

TIPO DE DOCUMENTO

Artigo Original