

DIMENSIONAMENTO, DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE UM PROTÓTIPO PARA SECAGEM DE GRÃOS E AMÊNDOAS NA AMAZÔNIA ORIENTAL

OZIEL ALMADA VAZ JUNIOR¹, ARLINDO MODESTO ANTUNES², GILDENILSON MENDES DUARTE³, MAGNUN ANTONIO PENARIOL DA SILVA⁴

¹ *Discente do curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural da Amazônia – Campus Tomé-Açu, Rod. PA 140, 2428-4822, Tomé-Açu - PA, CEP: 68680-000, Brasil. e-mail: almadaoziel@gmail.com.*

² *Doutorando em Engenharia Agrícola, Docente do curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural da Amazônia – Campus Tomé-Açu, Rod. PA 140, 2428-4822, Tomé-Açu - PA, CEP: 68680-000, Brasil. e-mail: arlindo.modesto1@hotmail.com.*

³ *Mestre em Física, Docente do curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural da Amazônia – Campus Tomé-Açu, Rod. PA 140, 2428-4822, Tomé-Açu - PA, CEP: 68680-000, Brasil. e-mail: Duartegildenilsonmd@gmail.com.*

⁴ *Doutor em Agronomia, Docente do curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural da Amazônia – Campus Tomé-Açu, Rod. PA 140, 2428-4822, Tomé-Açu - PA, CEP: 68680-000, Brasil. e-mail: penariol@gmail.com.*

RESUMO: O Brasil é um dos maiores produtores de grãos na atualidade, sendo o setor de produção agrícola estratégico à economia pátria. Neste trabalho, foi construído um ventilador centrífugo de pás curvadas para trás, movido por um motor trifásico com potência mecânica de 735 Watts com 1730 rpm e um dispositivo de aquecimento com três resistências aletadas e um silo com capacidade para 178 Kg. O presente trabalho objetiva dimensionar, desenvolver e analisar um sistema de secagem por convecção forçada para o processamento de grãos e amêndoas. Sendo assim, foi executado a determinação da vazão do conjunto secador ajustando-o a três vazões, posteriormente, foi determinado os ajustes do sistema de aquecimento. Para uma maior eficiência de todo sistema, a pressão dinâmicas, pressão estática, velocidade do ar e intensidade de ruído produzido pelo protótipo foram aspectos aferidos neste estudo. Aferiu-se que, para a abertura de 90°, obteve-se vazão máxima de 12 m³. min⁻¹, pressão total de 4523,9 Pa e temperatura de 45°C. O ruído apresentou valores superiores ao de 85 dB em todas as angulações de ajuste, sendo recomendada a utilização de equipamento de proteção auditiva adequado aos níveis atingidos pelo conjunto motor.

Palavras-chaves: Secador, Fluxo de ar, Intensidade sonora.

DIMENSIONING, DEVELOPMENT AND ANALYSIS OF A DRYING GRAINS AND ALMONDS PROTOTYPE IN EASTERN AMAZON

ABSTRACT: Brazil is one of the largest grain producers nowadays, turn into a strategic sector to the local economy. It was built a centrifugal backward curved fan powered by a 735 Watt, 1730 rpm mechanical power, three-phase engine and a heating device with three resistors and a 178 kg capacity silo. The aim of this study was to size, develop and analyze a forced convection drying system for grains and almonds. Thus, it was performed the flow determination of dryer set by adjusting it to three flows, subsequently the heating system adjustments were determined. For greater efficiency of the whole system were measured the dynamic and static pressure, air velocity and noise intensity produced by the prototype. It was verified that, for the opening of 90°, a maximum flow of 12 m³. min⁻¹, a total pressure of 4523.9 Pa and temperature of 45°C. The noise presented values of 85 dB in all adjustment angles, being recommended the use of hearing protection equipment appropriate to the levels reached by the engine set.

Keywords: Dryer, air flow, sound intensity.

1 INTRODUÇÃO

Durante o processo de secagem da massa de grãos, qualquer que seja o método utilizado, busca-se evitar a fermentação da massa de grãos antes e durante a operação, assim como evitar altas temperaturas até que o produto chegue a teores de umidade entre 11 a 13% b.u (LACERDA FILHO; SILVA, 2006).

A desidratação é um importante processo de preservação que reduz a atividade da água através da diminuição do seu teor, evitando a potencial deterioração e contaminação durante o longo período de armazenamento (DARVISHI et al., 2014).

Segundo Rigo et al. (2010), a secagem em terreiro apresenta problemas, como dependência dos fatores climáticos e necessidade de mão-de-obra, assim como grandes áreas planas para construção de terreiros. Sendo assim, o desenvolvimento de novos modelos de secagem favorecem ao aprimoramento das tecnologias de pós-colheita de produtos agrícolas (REIS, et al., 2011).

Greco, Campos e Klosowski (2010) avaliaram a eficiência na secagem de café em um secador de camada fixa, empregando diferentes tempos de revolvimento da massa de grãos, o qual se dava pela rotação mecânica de pás acionadas em diferentes intervalos de tempo, com o ar de secagem a uma temperatura de $75 \pm 5^\circ\text{C}$ e ventilação contínua. Os autores concluíram que, dentre os intervalos de revolvimento estudado, o que melhor se adequou aos estudos foi o de revolvimento a cada 3 h, possibilitando ao sistema uma eficiência energética média de 12 Mj.Kg^{-1} de água evaporada.

Diante disto, objetivou-se dimensionar, desenvolver e analisar um protótipo de secador por convecção forçada do ar, para o processamento de grãos e amêndoas no município de Tomé-Açu - PA. De maneira específica, buscou-se dimensionar o equipamento para trabalhar com 3 diferentes ângulos de abertura da válvula de ajuste da vazão do sistema (90° , 45° e 30°).

Para uma plena avaliação, foi observado se os níveis de ruído eram aceitáveis para execução de um trabalho operacional, assim como a determinação da velocidade, da

pressão estática, dinâmica e total do ar de secagem, da vazão e da temperatura para cada ângulo de ajuste.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no laboratório de secagem da Universidade Federal Rural da Amazônia, no Campus localizado no município paraense de Tomé-Açu ($2^\circ40'54''\text{S}$ e $48^\circ16'11''\text{O}$) (CALLOCONCHA; DENICH, 2014).

A região de Tomé-Açu tem clima mesotérmico e úmido, do tipo Ami, de acordo com a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 26°C e umidade relativa do ar em torno de 85% (PACHECO, N. A.; BASTOS, T. X., 2008).

2.1 Escolha do Mecanismo de Contenção

Para a escolha da tela e da dimensão dos furos da mesma, foi utilizada a metodologia descrita por Alves et al. (2015), adaptada para as realidades da presente pesquisa. A metodologia foi desenvolvida através da utilização de telas com furos entre 5.10^{-3} , 4.10^{-3} e 3.10^{-3} metros de diâmetros, por conseguinte, foi realizado o peneiramento manual de grãos (pimenta-do-reino) e amêndoas (cacau) já secos, com o intuito de classificar qual a melhor tela para ser utilizada.

A tela deve permitir a contenção dos grãos e amêndoas e a passagem do ar de secagem pelos micro espaços formados entre os produtos, de acordo com Sousa (2008). Para a fixação da tela na unidade armazenadora, utilizaram-se fios de cobre esmaltado com diâmetro de $2,052.10^{-3}$ metros.

2.2 Unidade Armazenadora

Para dimensionamento da unidade armazenadora, foi utilizada metodologia descrita por Carneiro (1948), adaptada à presente pesquisa. A unidade foi dimensionada com 0,6 metros de diâmetro e 1 metro de altura.

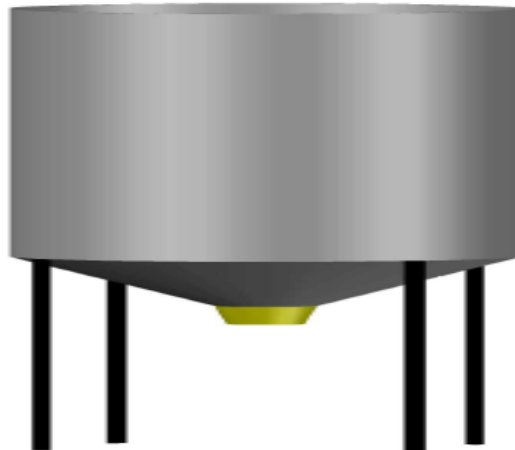
Em sua construção, utilizou-se: uma tela metálica perfurada, responsável por apoiar o produto dentro da estrutura; chapas de

alumínio com dimensões de 1x3 metros; varas de Metalon, com dimensões de 0,04x0,02 metros.

Sendo assim, para o pleno funcionamento do protótipo, foi definida a

entrada do produto pela parte superior da unidade armazenadora e o respectivo escoamento pela parte inferior (Figura 01).

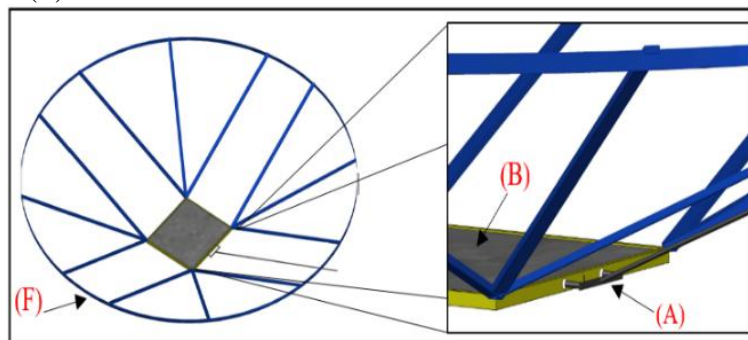
Figura 01. Unidade armazenadora para secagem artificial.



Foi dimensionada e construída uma comporta acionada por uma trava manual (Figura 02). A mesma foi construída para melhor funcionamento do sistema, visto que

durante a secagem o produto necessita de um suporte para continuar em seu estado estático dentro do silo.

Figura 02. Trava de bloqueio da comporta de escoamento (A), comporta de escoamento (B) e Base removível (F).



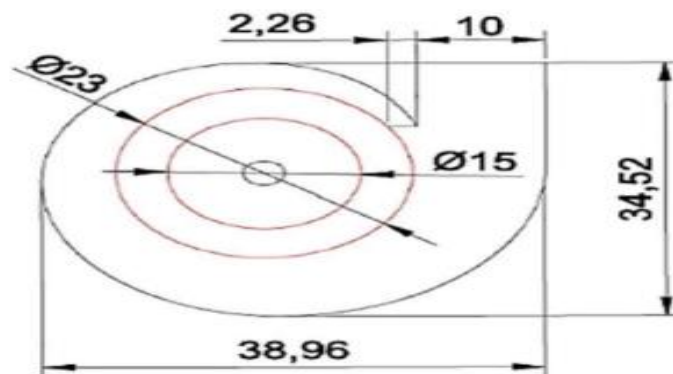
2.3 Sistema de Ventilação

Para construção do sistema de ventilação, foi utilizada uma chapa de aço galvanizada, com $2 \cdot 10^{-3}$ metros de espessura e dimensões de 1x1,20 metros e uma barra de ferro com perfil em L, com 6 metros de comprimento, ambas empregadas na estrutura do ventilador.

O rotor utilizado foi do tipo pás curvadas para trás, que confere melhor aproveitamento do ar e diminui eventuais falhas no projeto (FERNANDES, 2006).

Para a construção da voluta, foram utilizados os conhecimentos relacionados com a espiral de Arquimedes, com quatro arcos de círculos, segundo Sousa (2008), conforme demonstra a Figura 03.

Figura 3. Representação esquemática da voluta do ventilador centrífugo.



Fonte: Sousa (2008).

O rotor foi dimensionado com diâmetro na entrada da sucção com $15 \cdot 10^{-2}$ metros. O ventilador utilizou um motor elétrico trifásico, da marca WEG, com potência mecânica de 735 Watts e rotação de 1730 rpm.

Visando o melhor aproveitamento da rotação disponibilizada pelo motor trifásico, o ventilador centrífugo contou com uma relação de transmissão entre polias em alumínio, tendo a polia motora $72 \cdot 10^{-3}$ metros de diâmetro e a polia movida $18 \cdot 10^{-3}$ metros, resultando assim em uma rotação final no eixo do rotor de 4325 rpm. O diâmetro da entrada de ar na voluta foi de $1 \cdot 10^{-2}$ metros, sendo o mesmo diâmetro para saída de ar da voluta.

Para que houvesse a passagem do ar de secagem pela tubulação de PVC com diâmetro de $1 \cdot 10^{-2}$ metros, foi construído um adaptador

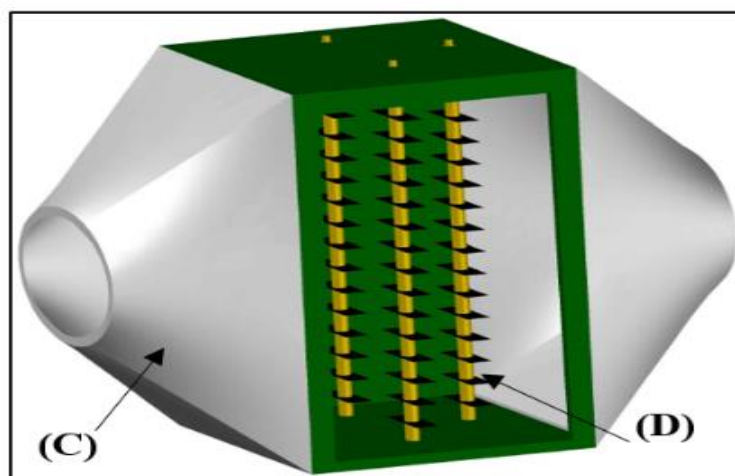
na saída de ar da voluta, isto pelo formato retangular da saída de ar da voluta.

2.4 Dispositivo de Aquecimento do Ar

Para o sistema de aquecimento, utilizou-se metodologia descrita por Antunes et al. (2016), adaptada às realidades do projeto.

Foi dimensionada e construída uma caixa metálica, com chapas galvanizadas as seguintes dimensões: espessura de $2 \cdot 10^{-3}$ metros, largura de 0,36 metros, comprimento de 0,14 metros e altura de 0,06 metros. Para o aquecimento do ar de secagem, foi acoplado 3 resistências aletadas (tipo U) associadas, em paralelo, com potência total de 3,9 KW (Figura 04).

Figura 04. Carcaça metálica (C) e resistências aletadas (D).



Para o controle de temperatura do dispositivo, foi utilizado um termostato da marca TIW do Brasil, com faixa de controle de

10°C a 120°C , cuja função é regular a quantidade de corrente elétrica que passa pelas

resistências, controlando assim a temperatura do ar de secagem.

2.5 Determinação de Vazão, Velocidade, Pressões e Rendimento

Para a determinação da vazão de ar no sistema, velocidade do ar de secagem e pressão no sistema, foi utilizada metodologia descrita por Antunes et al. (2016), onde foram utilizadas as equações de Bernoulli, conservação de energia (Equação 1), velocidade de escoamento (Equação 2) e vazão (Equação 3). Para determinação da pressão dinâmica e pressão estática do sistema, foi utilizado o equipamento denominado como “tubo de Pitot”.

O rendimento total da máquina geradora de fluxo foi quantificado pela Equação 4. Foram determinadas 3 posições para a coleta dos dados na tubulação, sendo a posição 1 o ponto inferior; posição 2 o ponto médio; posição 3 o ponto superior (Figura 05). Para cada posição foram realizadas 20 repetições para cada variável (velocidade, vazão e pressões). A decisão de medir os pontos apenas na linha vertical centralizada foi feita com base na baixa variação de fluxo de ar verificada pelo tubo de Pitot nos pontos laterais.

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v^2}{2g} = \text{constante} \quad (1)$$

Em que:

P = medida de pressão total (m.c.a);
V = velocidade média do fluido, (m/s);
Pe = Peso específico do fluido (N/m³);
G = aceleração da gravidade (m/s²).

$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (2)$$

Em que:

g = aceleração da gravidade (m/s²);
h = altura manométrica (m.c.a).

$$Q = A \cdot v \quad (3)$$

Em que:

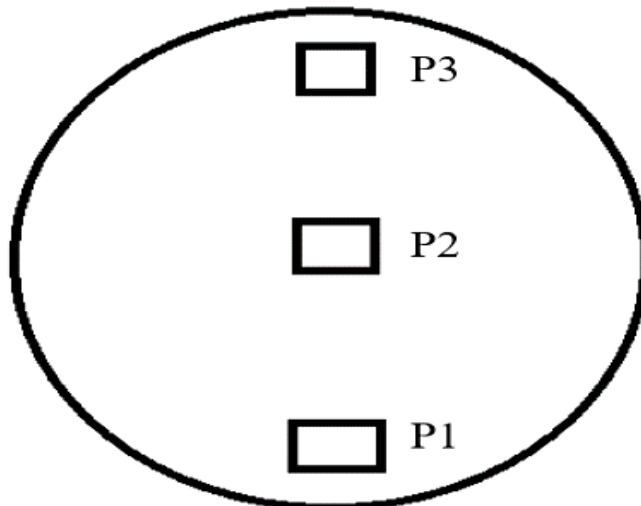
Q = vazão de ar do ventilador (m³/s).
A = área de seção transversal da tubulação (m²);
V = velocidade de escoamento do ar (m/s).

$$Nt = \frac{p Q Y}{pe} \quad (4)$$

Em que:

Nt = Rendimento total (adimensional);
Q = Vazão (m³/s);
Y = Trabalho específico (J/kg);
p = Massa específica (kg/m³);
Pe = Potência do eixo do motor (W)

Figura 05. Pontos de verificação de velocidade, Vazão e pressões da tubulação de PVC, (P1, P2, P3).



Para que houvesse o ajuste da vazão do ar de secagem, foi dimensionada e construída uma única válvula para o ajuste da vazão. Esta válvula foi construída de material metálico (chapa galvanizada de 2×10^{-3} metros de espessura), posicionada na entrada da sucção de ar posicionadas nas angulações de 90° , 45° e 30° de abertura.

2.6 Determinação do Ruído

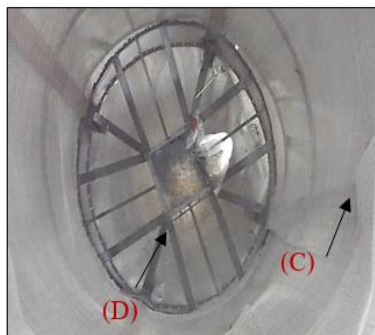
Para o ensaio de ruído de todo sistema de secagem, é avaliado o som causado pelo atrito do ar com as paredes metálicas da voluta. Para esta determinação, foi adotado metodologia descrita por Marques (2015) sendo adaptada as realidades desta pesquisa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Unidade Armazenadora

As dimensões da unidade armazenadora construída (Figura 06)

Figura 06. Unidade armazenadora, tela de contenção (C) e Base removível (D).



Durante os testes realizados com a base removível (Figura 06) foram verificados alguns transtornos, principalmente quando de sua remoção e encaixe na unidade armazenadora. Esse acontecimento foi devido ao atrito entre as partes de encaixe na estrutura da unidade armazenadora

Como solução, os autores sugerem a utilização de rolamentos, de preferência blindados, para que não exista a contaminação do produto pela graxa. A utilização dos rolamentos facilitará o encaixe e a remoção da base na unidade, servindo como guia.

Para coleta de dados, o aparelho decibelímetro foi utilizado para medição do nível de pressão sonora instantâneo e da dose de ruído.

Foram executadas 30 aferições para cada ângulo de abertura da válvula de ajuste da vazão (90° , 45° e 30°) em ambiente aberto para evitar ressonância, durante um período de 1 hora de funcionamento do sistema.

Os softwares utilizados no experimento foram: CAD 2016 para dimensionamento e visualização virtual do protótipo; Excel 2016 para a manipulação, tabulação e análise estatística e interpretação dos dados gerados por meio de 220 repetições, que englobam as variáveis velocidade, vazão, pressão estática e pressão dinâmica e ruído.

proporcionou uma maior facilidade no processo de preenchimento e escoamento da massa de grãos. Além disso, o protótipo foi construído com boa capacidade de carga, podendo ser utilizado em testes vindouros para secagem de diversas culturas.

3.2 Tela de Contenção

A partir dos resultados obtidos na avaliação, definiu-se a utilização de uma tela com dimensão de furos na forma prismática hexagonal de 3.10^{-3} metros e dimensões de 1×3 metros, pois apresentou melhores resultados de contenção e passagem do fluxo de ar pelo produto.

3.3 Ventilador Centrífugo

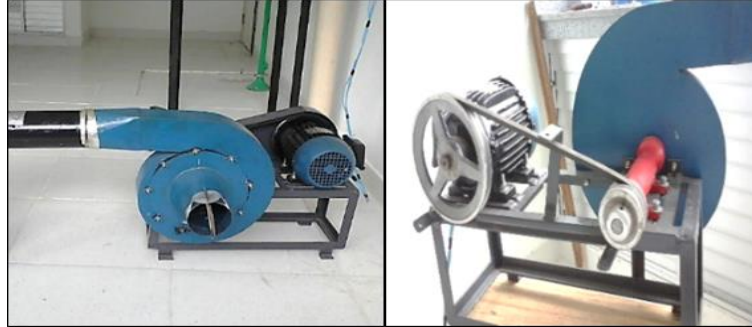
O ventilador centrífugo de pás curvadas para trás apresentou ser adequado

mediante ao uso de todo sistema mecânicos (Figura 07).

A construção do adaptador na saída da voluta mostrou ser adequado ao sistema, proporcionando o perfeito encaixe da tubulação na voluta do ventilador.

O sistema de transmissão utilizado comportou-se de maneira adequada ao objetivo proposto (Figura 07), apresentando perfeita adequação a todo conjunto mecânico.

Figura 07. Ventilador centrífugo e Sistema de transmissão.



A válvula de ajuste da vazão (Figura 08) permitiu a variação da área de sucção, influenciando diretamente na velocidade e no volume de ar do ventilador. Sua posição é dada pela angulação referente à linha horizontal em relação à circunferência da entrada de sucção da voluta.

A utilização de aparato na entrada de sucção da voluta apresentou-se como sendo uma ótima alternativa para o ajuste da vazão e da velocidade do ventilador; isto porque sua utilização trouxe eficiência à manutenção da vazão e da velocidade do ar de secagem.

Figura 08. Imagem demonstrativa da válvula de ajuste da vazão de ar do secador.



3.4 Determinação da Vazão e da Velocidade do Ar de Secagem

Os resultados das velocidades e vazões nas diferentes angulações (90°, 45° e 30°), para

os três pontos de verificação - P1 (ponto inferior), P2 (ponto médio) e P3 (ponto superior) são apresentados na Tabela 01.

Tabela 1. Velocidade do ar de secagem, vazão do ar, médias e desvio padrão (D.P) para as 3 angulações analisadas (90°, 45° e 30°).

Ângulo de abertura	Velocidade (m/s)	Vazão (m ³ /min)
90-P1	24,20	12,2
90-P2	25,95	
90-P3	30,5	
Média	26,0	-----
D.P	0,210	
45-P1	17,20	9,09
45-P2	19,30	
45-P3	25,30	
Média	19,30	-----
D.P	0,155	
30-P1	11,40	6,17
30-P2	13,10	
30-P3	18,45	
Média	13,10	-----
D.P	0,086	

Foi aferido que, com o ângulo de abertura de 90°, os maiores valores de vazão do ar e velocidade foram encontrados. A vazão de 12,2 m³/min foi alcançada, sendo fornecido ao secador uma velocidade do ar de 26 m/s.

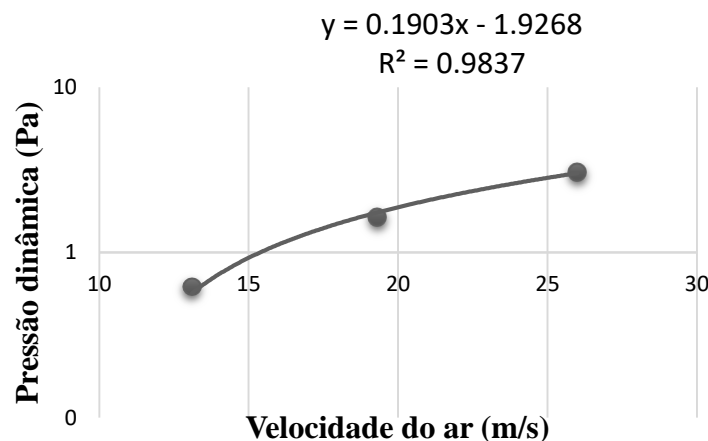
Em contrapartida, com 30° de abertura na válvula de ajuste de vazão, foram observado os menores resultados de vazão do ar e velocidade. Com esta abertura foi constatado que o ventilador forneceu uma vazão de ar com 6,17 m³/min e uma velocidade de 13,10 m³/min.

Com isto, é possível concluir que o sistema de secagem conseguiu ser eficiente, uma vez que, secagens com fluxo de ar

inferiores a 20 m³.min⁻¹ evitam perdas qualitativas e econômicas nas operações de secagem dos grãos (RODRIGUES et. al., 2002).

3.5 Pressão Dinâmica, Estática e Total

Os maiores valores de pressão total foram obtidos devido à maior velocidade do fluido no interior da tubulação, resultando em uma maior pressão dinâmica e estática sobre a coluna de líquido no interior do tubo de Pitot. Os resultados da análise estatística a respeito do fato citado anteriormente são apresentados na Figura 09.

Figura 09. Variação da pressão dinâmica mediante o aumento da velocidade do fluxo de ar do ventilador centrífugo.

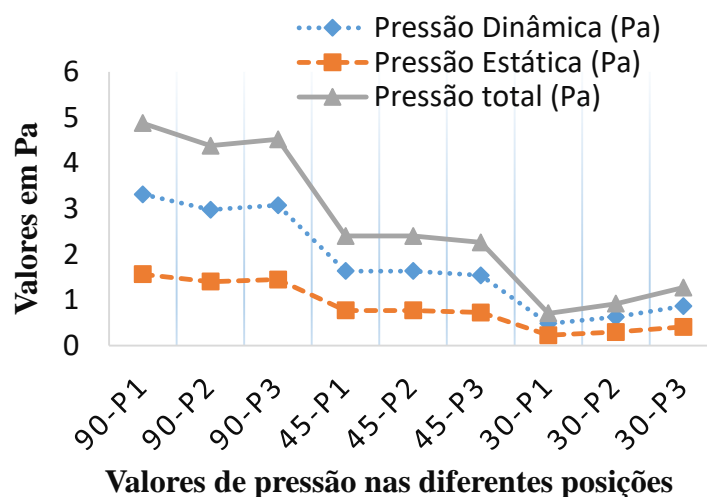
Os resultados da figura acima apresentaram um R^2 com alta correlação entre as variáveis, ou seja, um aumento na velocidade do fluxo de ar resulta em uma significativa variação nos valores de pressão do ventilador até esses atingirem um valor constante. É de conhecimento basilar o entendimento a respeito do fluxo de ar em condutos, como o mesmo é insuflado pelo ventilador passando pela tubulação de PVC, antes de chegar ao plênum, a pressão almejada no sistema é dinâmica, devendo ser convertida ao máximo em estática quando o ar adentra ao

plênum do silo (SILVA; MELO; PINTO, 2000).

A relação apresentada na figura 9, também pode ser explicada pela escolha do ventilador, como o ventilador escolhido é do tipo centrífugo, o mesmo é projetado para fornecer uma maior pressão enquanto sua vazão é menor quando comparado com ventiladores axiais.

Na abertura de 90° , obteve-se pressão total média de 4,6 Pa e para aberturas de 45° e 30° pressão total média de 2,4 Pa e 1 Pa respectivamente (Figura 10).

Figura 10. Pressão dinâmica, pressão estática e pressão total nos diferentes pontos de leitura para as 3 angulações de ajuste de vazão (90° , 45° e 30°).



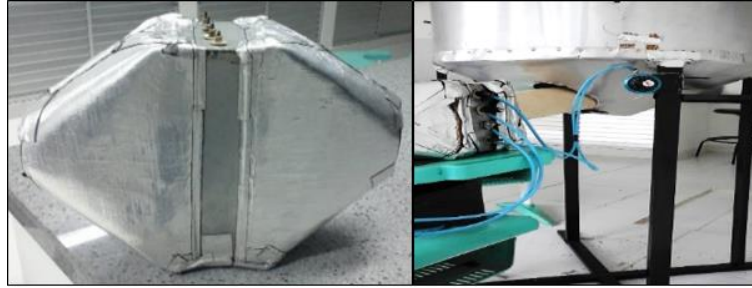
*P1 – ponto inferior, P2 – ponto médio e P3 – ponto superior de observação para cada ângulo abertura.

O ponto de leitura a obter maior valor de pressão dinâmica para 90° foi P1 com 3,316 Pa e para 45° também foi P1 com 1,634 Pa e para 30° foi P3 com 0,865 Pa. Visto isso, sabe-se que, neste ponto, é possível que tenha havido menores atrito entre o ar e as paredes da voluta, advindo dessas circunstâncias, apresentou maior valor quando comparado com P1 e P2 no ângulo de 30° . Fato este, é citado por Silva et. al., (2000) quando neste é estudado a seleção e construção de

ventiladores na secagem, aeração de grãos e sistemas que usam ventilação forçada.

3.6 Sistema de Aquecimento

Durante os testes do referido dispositivo de aquecimento (Figura 11) foi observado a perda de calor para o meio ambiente, visto que a estrutura do dispositivo de aquecimento foi construída em chapas metálicas de elevada condutividade térmica.

Figura 11. Dispositivo de aquecimento e termostato.

Para minimizar as perdas realizou-se o isolamento térmico do dispositivo por meio de uma manta térmica aluminizada com o núcleo de borracha de $2 \cdot 10^{-3}$ metros de espessura.

Conforme a Tabela 02 observou-se que com o aumento da velocidade do ar de secagem, obtém-se valores menores de temperatura, advindo do aumento da vazão de

ar em contato com as resistências. Com o ângulo de abertura de 30° , obteve-se o maior resultado de temperatura, sendo de 63°C . Em contrapartida, com angulação de 90° , o decréscimo na temperatura do ar foi perceptível, sendo fornecido ao sistema de secagem 45°C .

Tabela 02. Temperaturas do ar nas angulações de 90° , 45° e 30° de abertura da válvula de juste.

Ângulos de abertura	Velocidade (m.s^{-1})	Temperatura ($^\circ\text{C}$)
90	27	45
45	20,6	53
30	14,3	63

Segundo Incropera et. al., (2008) ao estudar a transferência de calor e massa, isso acontece devido a um instante qualquer um grande número de moléculas estarem em movimento coletivo ou como agregado sobre uma determinada superfície de contato.

Esse fato associado à diferença de temperatura entre a superfície das resistências e o ar proveniente do ventilador acabam contribuindo para perda de calor (MORISHITA et. Al, 2004).

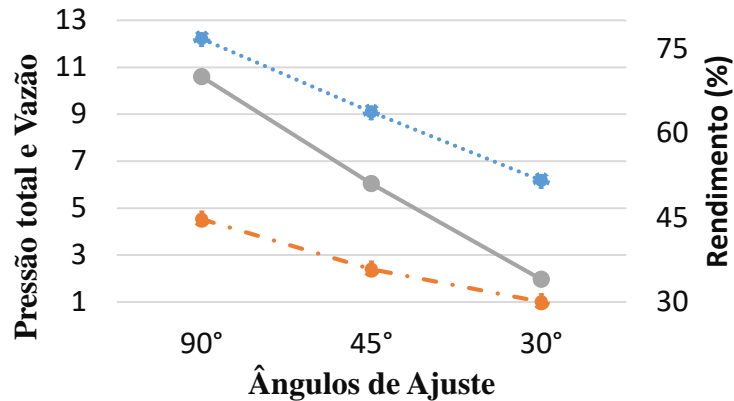
A diferença de temperatura da menor angulação para a maior foi de 18°C . Temperaturas semelhantes foram utilizadas no trabalho de Alves et. al., (2015) para a secagem de pimenta (*Piper nigrum* L.) em camada fina

em vazões menores. Estes autores conseguiram resultados significativos que puderam comprovar a viabilidade da secagem da pimenta (*Piper nigrum* L.) em camada fina com vazões inferiores a $9 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$.

3.7 Rendimento

O rendimento operacional do ventilador foi desenvolvido em laboratório. As angulações que melhor apresentaram rendimento foram as aberturas de 90° e 45° com respectivamente 70% e 51% de rendimento conforme a Figura 12.

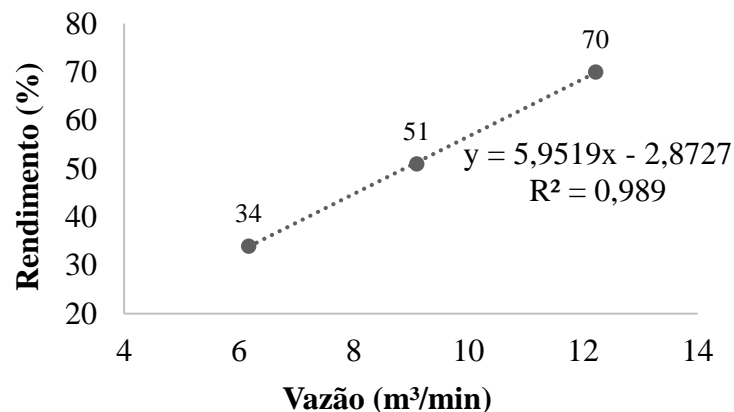
Figura 12. Rendimento atingindo para cada ângulo de abertura do ventilador centrífugo, sendo a linha laranja pressão total (Pa), linha cinza rendimento (%) e linha azul vazão ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).



Um maior rendimento no ângulo de 90° já era esperado, pois com a maior abertura de sucção existe uma maior vazão, influenciando assim no rendimento total final, visto que a equação do rendimento requer a utilização da vazão do ventilador.

Esse fato se comprova quando se observa a Figura 13, onde se observa um aumento significativo do rendimento à medida que se realiza a abertura da válvula de ajuste da vazão até um valor constante sendo seu R^2 igual a 0,989.

Figura 13. Variação do rendimento mediante aumento da vazão.

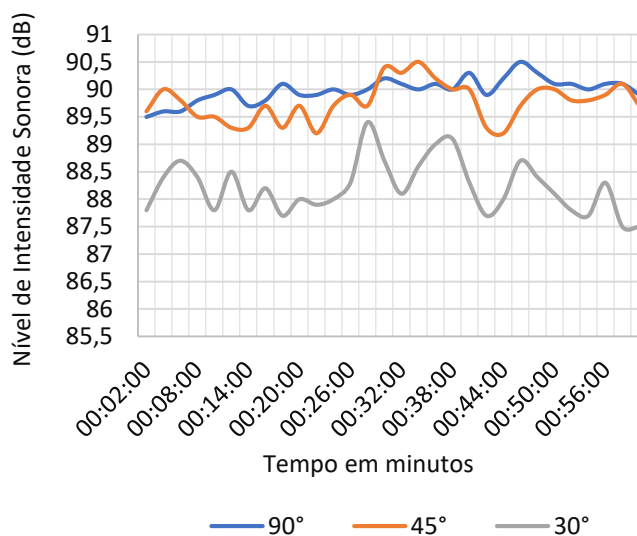


Segundo Luckman (2011) o rendimento tende a atingir um valor máximo conforme o aumento na vazão, devendo-se buscar uma zona de interesse entre a vazão e o rendimento máximo para melhor aproveitamento do dispositivo.

3.8 Ruído

Os níveis de ruídos do protótipo de secagem de grãos e amêndoas foram determinados e avaliados em três angulações de abertura da válvula reguladora da vazão de ar, suas características são apresentados na Figura 14.

Figura 14. Nível da intensidade sonora para os diferentes ângulos de abertura da válvula para regulagem da vazão de ar no ventilador centrífugo (90°, 45° e 30°).



Todos os ângulos de abertura ultrapassaram a barreira dos 80 dB de intensidade sonora, sendo os ângulos de 90° e 45° os que apresentaram maiores níveis de ruído atingindo até 90,5 dB de intensidade.

Isto se deve ao fato de que o ar se desloca com maior velocidade pela tubulação nessas angulações, por conta da maior entrada de ar no sistema, ocorrendo maior atrito entre as partes (ar, parede da voluta e tubulação).

Segundo a NR 15 (Atividade e operações Insalubres), publicada inicialmente em 1978 e atualizada até 2015, valores de 85 dB requerem exposição máxima diária de 8 horas e valores de 90 dB 4 horas diárias de exposição.

Os dados estatísticos que representam a variância e o erro padrão dos dados observados em laboratório estão descritos na Tabela 03.

Tabela 03. Médias em dB, desvio padrão, erro padrão e variância dos níveis de intensidade de ruído para os ângulos de abertura de 90°, 45° e 30° para um ventilador centrífugo de pás curvadas para trás.

Dados estatísticos	90°	45°	30°
Média (dB)	90	89,75	88,15
Desvio P.	0,214	0,344	0,470
Variância	0,046	0,118	0,221
Erro padrão	90 ±0,048	89,75 ±0,077	88,15 ±0,105

É possível constatar que, houve uma maior variância dos dados quando é representado a intensidade sonora na angulação de 30°. Essa maior variação pode ser observada na Figura 14, onde a linha que demonstra a variação da intensidade sonora para o ângulo de 30°, apresenta comportamento oscilante significativo entre os intervalos de 26 a 47 minutos quando comparada as oscilações

das linhas referentes as angulações de 90° e 45°.

Por fim, é perceptível a relação proporcional entre a vazão e o acréscimo dos níveis de ruído. Assim sendo, é correto afirmar que, quanto maior for a vazão do sistema de secagem, maior será os níveis de intensidade do ruído, sendo este um fator a ser observado para uso do modelo. O uso de equipamentos de proteção auricular é imprescindível em casos

de elevados níveis de ruído (SILVA, et. al., 2011).

4 CONCLUSÕES

- O ventilador apresentou valores desejáveis de vazão, pressão e velocidade do ar.
- Com abertura máxima de sucção do ar, o protótipo apresentou um rendimento aceitável de 70%.
- A válvula de ajuste do ar do ventilador possibilita a regulação à diferentes velocidade e vazão do ar, trazendo uma maior facilidade operacional.
- É necessário o uso de equipamento de proteção auricular durante o uso do secador, os níveis de intensidade de ruído ultrapassaram 85 dB.
- As dimensões do dispositivo de aquecimento do ar demonstraram boa

eficiência, sendo sua potência total suficiente para o aquecimento à temperaturas de .

- Os resultados obtidos com a avaliação do sistema foram satisfatórios para a operação de secagem, devendo agora ser realizados outros testes de validação do sistema, sendo necessário avaliar o comportamento da perda de água na massa de grãos ou amêndoas.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro concedido pelo CNPq e a Universidade Federal Rural da Amazônia.

6 REFERÊNCIAS

- ALVES, D. A. S.; PERAZZINI, H.; FREIRE, F. B.; FREIRE, J. T. Secagem de pimenta-do-reino preta (*piper nigrum* L.) em secador de leito fixo. *In: XXXVII CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS*, vol. 2, n.1, 2015, São Carlos - SP. **Anais [...]**. São Carlos: Blucher Chemical Engineering Proceedings, 2015. p. 74.
- ANTUNES, A. M.; DEVILLA, I. A.; BORGES NETO, A. C.; ALVES, B. G. X.; SANTOS, G. R. A. M. Development of an automated system of aeration for grain storage. **African Journal of agricultural research**, Argel – Argélia. v. 11, n. 43, p. 4293–4303, 2016.
- CALLO-CONCHA, D.; DENICH, M. A participatory framework to assess multifunctional land-use systems with multicriteria and multivariate analyses: A case study on agrobiodiversity of agroforestry systems in Tomé Açú, Brazil. **Change and Adaptation in Socio-Ecological Systems**, Bochum - Alemanha, v. 1, n. 1, p. 40–50, 2014.
- CARNEIRO, O. Silos e sua construção. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba-SP, v. 5, p. 3–34, 1948.
- DARVISHI, H.; ASL, A. R.; ASGHARI, A.; AZADBAKHT, M.; NAJAFI, G.; KHODAEI, J. Study of the drying kinetics of pepper. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 13, n. 2, p. 130–138, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2013.03.002>. Acesso em: 02/01/2019.
- FERNANDES, M. F. **Traçado de pás de rotores centrífugos usando critérios de carregamento aerodinâmico e técnicas de otimização**. Dissertação (mestrado em engenharia mecânica) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá - MG, 2006.
- LACERDA FILHO, A. F.; SILVA, J. Secagem de café em combinação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Bodocongó -PB, v. 10, n. 3, p. 671-678, 2006. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662006000300020>. Acesso em: 12/12/2018.

GRECO, M.; CAMPOS, A. T.; KLOSOWSKI, E. S. Variação de diferentes tempos de revolvimento em secador de camada fixa para café. **Acta Scientiarum - Agronomy**, Maringá-PR, v. 32, n. 4, p. 577-583, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v32i4.3670>. Acesso em: 05/01/2019.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D.; BERGMAN, T.; LAVINE, A. **Fundamentos de Transferencia de Calor**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

LUCKMAM, P. R. Evolução metrológica de uma bancada de ensaios de ventiladores radiais. **Journal of Strategic Studies**, País de Gales, v. 34, n. 2, p. 281-293, 2011.

NEVES, E. E.; PESKE, S. T.; VILLELA, F. A.; BAUDET, L.; PERES, W. Secagem de sementes de milho em espiga, em função da altura da camada e fluxo de ar. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 27, p. 117-124, 2005.

PACHECO, N. A.; BASTOS, T. X. **Boletim Agrometeorológico 2006: Tomé-Açu, PA**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 30 p. 2008.

REIS, R. C.; BARBOSA, L.; LIMA, M.; REIS, J.; DEVILLA, I.; ASCHERI, D. Modelagem matemática da secagem da pimenta Cumari do Pará Mathematical modeling of drying kinetics of pepper Cumari do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Bodocongó - PB, v. 15, n. 4, p. 347-353, 2011.

RIGO, A. D.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C.; DEVILLA, I. A. Estratégias de controle para o processo de aeração de grãos em protótipos de silos metálicos. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 5, n. 3, p. 47-55, 2010.

RODRIGUES, M. E. A.; ALMEIDA, F. P. G.; SILVA, M. M. Avaliação da temperatura e velocidade do ar na secagem de Goiaba. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 141-147, 2002.

SILVA, J. L. L.; SILVA, M. E.; SOUSA, J. L.; SOUZA, R. F. O estresse provocado pelo ruído como risco ocupacional entre trabalhadores em vulnerabilidade. **Revista de Pesquisa: Cuidado é Fundamental**, Rio de Janeiro, v. 91, p. 9-12, 2011.

SOUSA, J. S. E. **Secagem e armazenagem produtos agrícolas**. Ed. Aprenda Fácil, 2º ed. Viçosa-MG. ISBN: 978-85-62032-004, 2008.