

# DEVELOPMENT OF PROTOTYPE MACHINE (MEG-2023 LELIS) FOR COMPACTION OF ANIMAL FEED INTO PELLETS

ALEX DA TRINDADE LÉLIS, FELIX LÉLIS DA SILVA EFERNANDO NUNES DA SILVA

## ABSTRACT

Processing machines are very useful in carrying out work in rural areas. In this sense, the present work aims to present a prototype machine (MEG-2023LELIS) aimed at pelletizing feed and/or bran in general. Its components have been designed, manufactured, and simulated to produce fish feed. It consists of a structural support base, a flat matrix, central axis and compressor rollers. The machine's power supply is 220 volts for a 3677-watt, two-phase 1740 rpm motor. A performance evaluation of the machine was carried out, the main objective of which was to analyze production capacity, transfer rate and efficiency. The machine had a production capacity of

around 0.857 kg/min, equivalent to a transfer rate of 51.42 kg/h with a maximum efficiency of 89.25% for a present moisture content of 25%. The total weight of the set is 76 kg. Each batch produces around 17.85 kg of feed, with an estimated energy consumption of R\$36.61. The results indicate that the designed pelletizing machine can enable greater dynamics in animal husbandry systems on small and medium-sized rural properties, as it will allow producers to produce and supply their own feed in pellets from regional inputs and/or waste from agro-industries, thus alleviating the problems associated with costs and dependence on the use of commercial feed.

KEYWORDS: Amazon, agriculture, pellet machine, feed processing.

## DESENVOLVIMENTO DE MÁQUINA PROTÓTIPO (MEG-2023 LELIS) PARA COMPACTAÇÃO DE RAÇÃO ANIMAL EM PELETS

### RESUMO

Máquinas processadoras são muito úteis no desenvolvimento de trabalhos no meio rural. Neste sentido, o presente trabalho tem por objetivo apresentar uma máquina protótipo (MEG-2023LELIS) voltada a peletizar ração e/ou farelos em geral. Seus componentes foram projetados, fabricados e simulados para produzir ração para peixes. A mesma consiste em uma base estrutural suporte, uma matriz plana, eixo central e rolos compressores. A fonte de alimentação da máquina é de 220 volts para um motor de 3677 watts, bifásico de 1740 rpm. Foi realizada a avaliação de desempenho da máquina, cujo objetivo principal foi analisar a capacidade de produção, taxa de transferência e sua eficiência. A máquina apresentou capacidade de produção na ordem

de 0,857 kg/min o equivalente a uma taxa de transferência de 51,42 kg/h com eficiência máxima de 89,25% para um teor de umidade presente de 25%. Apresenta peso total do conjunto de 76 kg. Em cada batelada produz cerca de 17,85 kg de ração, com consumo de energia estimado de R\$ 36,61. Os resultados indicam que a máquina peletizadora projetada pode viabilizar uma maior dinâmica a sistemas de criação animal em pequenas e médias propriedades rurais, uma vez que, permitirá produtores produzirem e fornecerem sua própria ração em pellets a partir de insumos regionais e ou residuais de agroindústrias, aliviando assim os problemas associados custos e dependência da utilização de rações comerciais.

**Palavras-chave:** Amazônia, agropecuária, máquina peletizadora, processamento de ração.

# 1 INTRODUÇÃO

A ração é um dos insumos de maior importância em diversos setores de produção animal, como setor avícola, aquícola, suinocultura etc. No entanto, é considerada um dos insumos que mais eleva os custos do sistema de produção, uma vez que afeta o custo de produção entre 70% e 80% (Tonissi et al., 2013; Schroeder 2019), podendo variar conforme o setor de produção adotado. Muitos trabalhos indicam que rações peletizadas para nutrição de aves e mamíferos resultam em maior taxa de ganho e melhor eficiência alimentar (Castro *et al.*, 2020; Schroeder 2019; Faria de Souza; Amadei; Maurício de Souza, 2022; Miranda *et al.*, 2011), gerando maximização do crescimento (Dozier *et al.*, 2010).

Na pecuária, a maior parte do custo de manejo são associados os custos de alimentação (Freitas., 2022). Em frangos de corte o consumo de ração em pellets resulta na melhora da digestibilidade dos nutrientes (Massuquetto *et al.*, 2019), devido permitir redução da segregação de ingredientes, facilidade de manuseio, melhor fluxo de ração no equipamento e possibilita a redução do custo de formulação ao incluir ingredientes alternativos (Behnke, 1994). Na piscicultura a alimentação responde por cerca de 40 a 80% dos custos de produção intensiva (Kubitza, 2009).

O processamento de rações é uma importante ferramenta para otimizar o uso dos ingredientes e evitar desperdícios, uma vez que o processamento modifica as características físicas e nutricional da ração a fim de melhorar a sua eficiência de utilização pelos animais e suas características de transporte e armazenamento (Brustolini, 2014). Dentre os processamentos mais econômicos e menos dispendioso tem-se a peletização, o processo além de reduzir desperdícios tende a melhorar a palatabilidade da ração, evita a seleção de ingredientes pelos animais, aumenta a densidade da ração e diminui o custo com armazenamento e transporte. Assim como pode viabilizar o uso aproveitamento de diversas formas de resíduos agrícolas e agroindustriais e subprodutos para formulação de rações completas para pecuária, aves e peixes (Okolie *et al.*, 2019).

A peletização trata-se de um tratamento térmico que tem como objetivo melhorar a eficiência alimentar através de alterações físico-químicas e a redução de microrganismos, onde são considerados os fatores como; tempo, temperatura, umidade e pressão (Brustolini, 2014). Para Klein (2009) a peletização trata-se da transformação da ração farelada em granulada através de um processo físico-químico adicionando-se vapor ao farelo e submetendo-o a temperatura, umidade e pressão.

Processos de peletização é uma tecnologia utilizada para comprimir materiais, como: madeira, serragem, maravalha, pó, casca, palha, papel e praticamente qualquer tipo de biomassa residual agrícola, florestal, industrial ou pecuária (López-Verdugo, 2019).

Nesta lógica, diversos setores têm buscado a melhora dos sistemas de produção relacionados a produção animal, principalmente a partir de investimentos em ciência e tecnologia (C&T), de modo, a contribuir principalmente com a eficiência dos sistemas produtivos. Assim, a tecnologia de processamento das rações tem avançado buscando atender as demandas relacionadas a redução de desperdícios e a maximização do uso dos recursos através de uma maior precisão no processo de produção, assim como, as condições nutricionais dos animais. Portanto, a

ração peletizada está entre as opções de nutrição animal que ajudam a otimizar os resultados de diversas fases do processo de produção animal.

O processo de peletização de rações, tende a viabilizar a eliminação de desperdícios, garantindo maior eficiência em relação aos aspectos de custos x benefícios, pois processo tecnológicos voltados a este fim, melhora sensivelmente a qualidade nutricional e microbiana do alimento, traduzido em melhor desempenho com menor desperdício de alimento. A peletização da dieta melhora a eficiência de ganho de peso e o retorno econômico (De Jong *et al.*, 2012).

Vale ressaltar que as dificuldades associadas a custo de produção e uso de tecnologias ainda são maiores e mais constantes quando associamos as atividades de criação de animais de pequeno porte em pequenos sistemas familiares de produção (agricultura familiar).

Apesar da viabilidade agregada existentes no uso de ração peletizadas, se observa uma grande dificuldade de uso dessas rações por diversos pequenos produtores e ao mesmo tempo a preferência por ração fareladas, isso deve-se ao fato da busca pela redução de custo desses produtores, pois as rações peletizadas apresentam maior valor agregada, tendendo, portanto, elevar seu custo, sendo o mesmo repassado aos compradores/produtores onerando assim os sistemas de criação.

Nesta lógica, a presente trabalho objetiva apresentar um projeto de máquina peletizadora de ração de baixo custo, a fim de contribuir com pequenos produtores de animais de forma a otimizar a relação custo/benefício, permitindo maior eficiência alimentar, aproveitamento de resíduos, maior tempo de armazenamento de alimentos nas propriedades, e conseqüentemente elevar a competitividade dos pequenos produtores de diversos sistemas de criação animal no mercado a partir da redução do impacto atrelado ao custo da alimentação. As peletizadoras são máquinas utilizadas para compactar ou extrusar pequenas porções de diferentes substâncias ou materiais em processos industriais, essas porções são comumente chamadas grânulos ou pellets (Anzures, 2023).

## **2 MATERIAIS E METODOS**

O projeto foi desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Gestão, Experimentação e Modelagem Aplicada a Biosistemas, GEMABio/IFPA Campus Castanhal em parceria com a Faculdade de Engenharia Mecânica/UFPA Campus Tucuruí. O projeto proposto (Figura 1), visa produzir pellets a partir de composições fareladas, por meio da compactação e formação de pellets de 7 mm, em que a compressão do material é realizada com auxílio de rolos de compressão multidenteados sobre a base molde perfurada (matriz plana).

Os cálculos detalhados do projeto e respectivo desenho técnico foram ajustados no Software Solidwoks, e os respectivos testes de resistências no software Ansys 19.0. A simulação da estrutura do equipamento e qualidade da malha foi realizada através do Método Numérico dos elementos finitos com discretização realizada por geometria com foco no problema de continuidade física. A simulação utilizou-se do plano 3D do equipamento projetado. Para refinar a qualidade da malha, foi utilizado a métrica de malhas Element quality

Para as simulações foi utilizado métodos computacionais, visto que cálculos manuais demandam tempo e elevam as chances de erros em casos complexos (Antoniacomí; Souza, 2010).

Assim, as simulações via softwares são mais confiáveis e demandam menos tempo, no entanto, podem onerar custos de projetos (Naves; Cunha, 2011).

Vale pontuar que o custo de implementação da simulação de um projeto por meio de software é baixo, considerado sua importância (Duarte; 2003). Em problemas complexos de engenharia, devido ao grau de dificuldade dos cálculos numéricos aplicados, a simulação visa exaurir problemas iniciais e incertezas existentes que elevam fatores de riscos e que podem inviabilizar o projeto (Antoniacomí; Souza; 2010).

Foi utilizado o software solidworks para determinar a massa estimada de todos os elementos acoplados no suporte da máquina, assim como tensão e deformação.

O desempenho da peletizadora foi avaliado em testes triplicata de bateladas, considerando o teor de umidade da mistura utilizada, teor de umidade do produto final e quantidade produzida. Portanto, foram definidas a eficiência de pelotização, capacidade de pelotização, capacidade de produção hora e custo de operacionalização/energia elétrica.

A eficiência de pelotização foi dada por:

$$E(\%) = \frac{E_P}{M_T} \times 100 \quad (1)$$

Em que E é a eficiência de pelotização em porcentagem,  $E_P$  é a massa total de pellets produzido pela máquina (kg), e  $M_T$  é a massa total do insumo (kg).

A capacidade de pelotização de uma máquina  $C_p$  é definida considerando a relação entre o total de pellets produzidos pela máquina ( $E_p$ ) e o tempo total de trabalho (T).

$$C_p = \frac{E_P}{T} \quad (2)$$

A taxa de transferência  $T_X$  da máquina que define é a capacidade de produção em kg por hora, é especificada pela relação entre a produção em massa total da máquina em kg dado por  $p_T$ , e o tempo que a máquina leva para produzir pellets em uma hora t.

$$T_X = \frac{p_T}{t} \quad (3)$$

Para que a máquina desenvolva um trabalho de forma satisfatória são necessários que os elementos de máquinas nela presente funcionem de forma coerente, por esse motivo, parâmetros como relação entre polias, rotação na polia movida, torque do motor e torque na máquina, sejam medidos e/ou parametrizados, através das seguintes equações (4, 5 e 6).

## 2.1 Relação entre polias

A relação ( R ) entre a polia motora e a polia movida é dada pela divisão do diâmetro da polia movida ( $D_2$ ), pelo diâmetro da polia motora ( $D_1$ ) (Equação 4), obtendo com isso a relação é de 9:1.

$$R = \frac{D_2}{D_1} \quad (4)$$

## 2.2 Rotação na polia movida

A partir da rotação do motor e dos diâmetros das polias é possível calcular a rotação no eixo da máquina através da equação 5:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1} \quad (5)$$

Onde:

$n_1$  = rotação na polia motora;  $n_2$  = rotação na polia movida;  $D_1$  = diâmetro da polia motora e  $D_2$  = diâmetro de polia movida.

## 2.3 Torque do motor e torque na máquina

O torque é calculado através da equação 6:

$$T = \frac{30.P}{\pi.n} \quad (6)$$

Onde: 30 = é constante; P = é a potência do motor em watts;  $\pi$  = é constate; n = é a rotação na polia notado em rpm.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A protótipo da máquina consiste em uma base estrutural suporte, uma matriz plana, eixo central, rolos compressores, eixo de transmissão, polias e cuba de alimentação. A fonte de alimentação da máquina é de 220 volts para um motor de 3677 watts, bifásico de 1740 rpm. Para a execução do processo de peletização os rolos denteados giram e exercem carga no material sobre a matriz plana que permanece estacionária, assim o material é pressionado nos furos da matriz, onde são compactados.

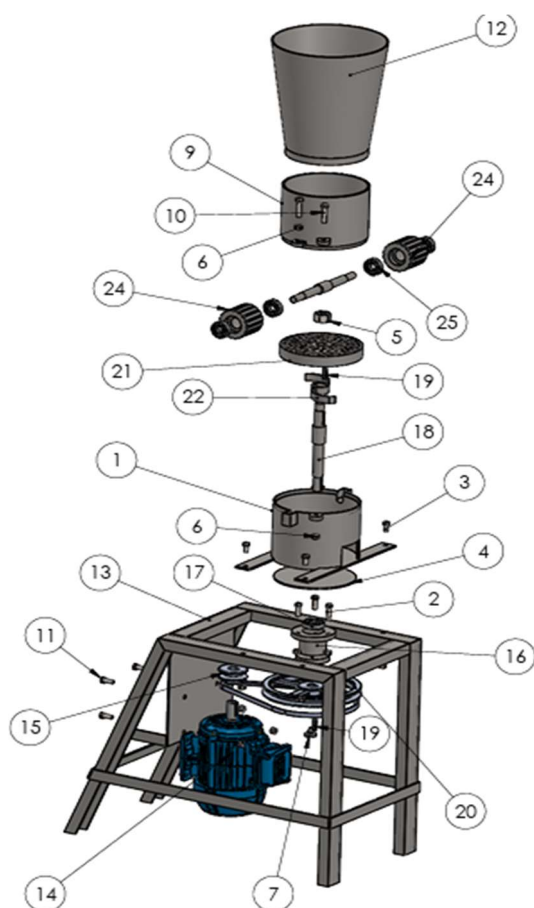
A descrição das peças utilizadas na máquina (Figura 1) e suas funcionalidades são:

**Base estrutural:** A base estrutural é a parte utilizada para serem fixados todos os componentes da máquina, a base foi construção própria, portanto não foi incluído valor de mão de obra, foram usados 4 metros de perfil tipo C 2x1", 2,5m de barra chata 1 1/5x1/8", 0,0896m de chapa de 3mm de espessura.

**Motor elétrico:** O motor tem a função de rotacionar a máquina com a velocidade e o torque ideal, ele é um motor de indução ME-3572 M 5.0 P4, potência 3677 Watts (5 CV), rotação nominal de 1740 rpm, 220 volts, equipado com uma polia motora tipo v de 50 mm de diâmetro.

**Correia:** A correia tem a função de transmitir a rotação da polia motora para a polia movida, ela é do tipo v perfil A 55".

**Polia movida:** A polia movida tem a função de transmitir a rotação para o eixo primário ela é em alumínio tipo A com 450 mm de diâmetro.



Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	DESCRIÇÃO	QTD.
1	Corpo Principal		1
2	ISO 4017 - M10 x 30-N		4
3	ISO 4017 - M10 x 20-N		4
4	Base intermediária		1
5	ISO - 4034 - M24 - N		1
6	ISO - 4034 - M10 - N		15
7	Calço da polia		1
8	ISO 7045 - M8 x 10 - Z - 10N		1
9	Copo intermediário		1
10	ISO 4016 - M10 x 45 x 26-WN		4
11	ISO 4018 - M10 x 25-WN		4
12	Boca funil		1
13	Montagem da estrutura		1
14	Motor		1
15	Polia motora		1
16	Mancal		1
17	Rolamento 6205		2
18	Eixo principal		1
19	Chaveta		2
20	Polia movida		1
21	Matriz plana		1
22	Palheta		1
23	Correia		1
24	Rolo de compressão		2
25	Rolamento 6204		4
26	Eixo secundário		1

**Figura 1: Desenho técnico mecânico da Máquina Peletizadora MEG-2023 LELIS e descrições.**

**Chaveta:** A chaveta tem a função de não deixa as polias rotacionar no eixo, foram usados duas chavetas.

**Eixo primário:** O eixo primário tem a função de transmitir a rotação e a potência para a matriz plana, ele foi feito no por torneamento.

**Rolamento:** Foram usados quatro rolamentos de esfera, dois rolamentos ref. 6205 e quatro rolamentos ref. 6204.

**Mancal:** O mancal é o suporte onde são fixados os rolamentos e o eixo primário, ele foi fabricado por torneamento.

**Corpo principal:** A base principal é onde vai fixado o mancal a matriz plana e os rolos compressor, ela foi fabricada por torneamento e soldagem.

**Matriz plana:** A matriz plana é a peça onde o material irá ser comprimido passando por furos de 6 a 10mm dependendo da escolha do usuário formando pellets, ela foi fabrica por torneamento.

**Palheta:** A palheta tem a função de quebra os pellets no tamanho ideal e empurra-los para fora da máquina, ele foi fabricado por usinagem e soldagem.

**Base intermediária:** A base intermediária é uma base de proteção para não passar material para o rolamento, foi fabricada por usinagem.

Eixo secundário: O eixo secundário é onde são fixados os rolos compressores, ele foi fabricado por usinagem.

Rolo compressor: Os rolos compressores têm a função de comprimir o material a ser extrusado sobre a matriz plana formando os pellets, também foi fabricado por usinagem.

Corpo intermediário: O corpo intermediário tem a função de fixar os parafusos de regulagem de altura do rolo compressor e dá mais profundidade no corpo da máquina, ele foi fabricado por usinagem.

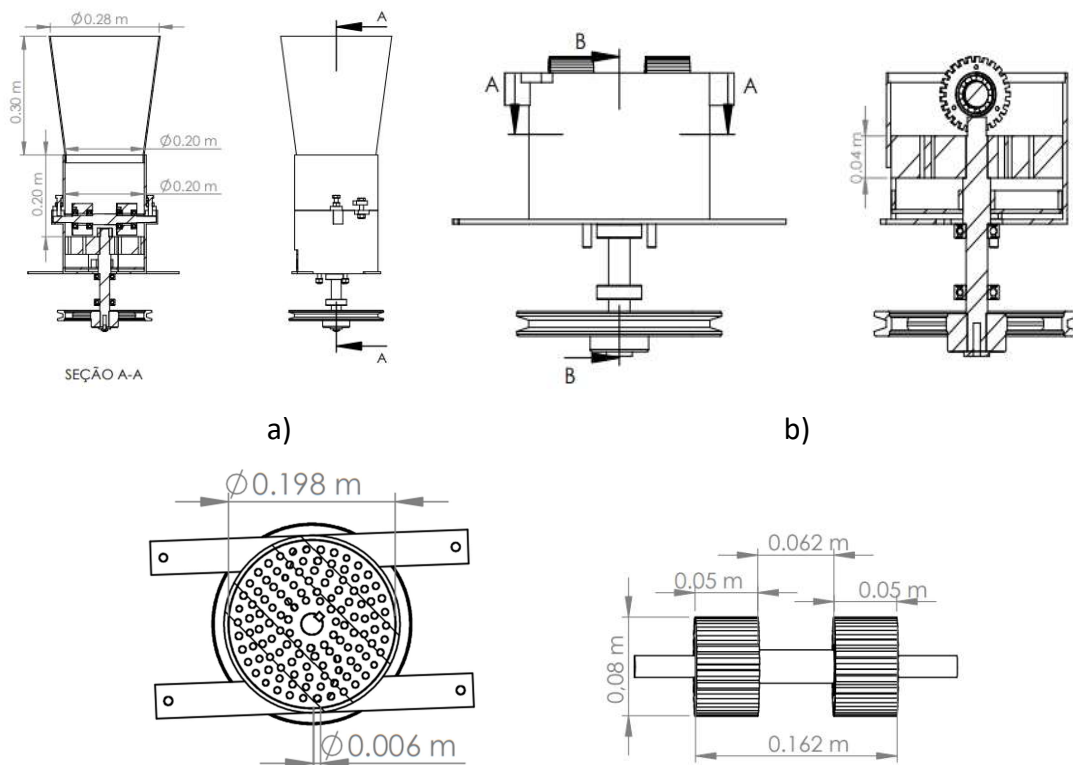
Boca funil: Aboca funil foi feita a partir de um balde inox de litros, onde foram retirados o fundo e a alça para ser usado e sua função e não deixa material cair para fora da máquina.

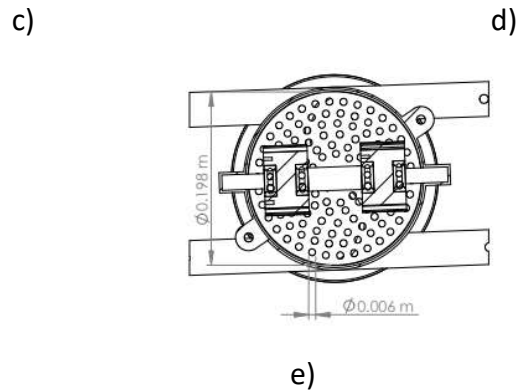
Parafusos e porcas: Foram usados quatro parafusos M10x45, quatro parafusos M10x30, quatro parafusos M10x20, quatro parafusos M10x25, quinze porcas M10, um parafuso M8 e uma porca M24.

### 3.1 Sistema de compressão por Matriz Plana Móvel e Roletes Fixos

O sistema utilizado para compressão do material (Figura 2E) se caracteriza por uma matriz móvel (Figura 2C) e roletes de compressão fixos (Figura 2D), agregados no corpo principal e fixados por um corpo secundário. Este conjunto é responsável pela estruturação dos pellets, em que os rolos aplicam uma força compressiva do material sobre os orifícios da matriz plana, permitindo a saída do material extrusado. O pellet produzido pelo protótipo é de 6 mm.

O abastecimento, dá-se por meio do funil de alimentação, e o acionamento do conjunto peletizador dá-se por meio de eixo motriz conectado através da polia e correia tipo V ao motor (Figura 2B). O conjunto é fixado em uma estrutura base, resultando o conjunto estrutural final (Figura 2A).

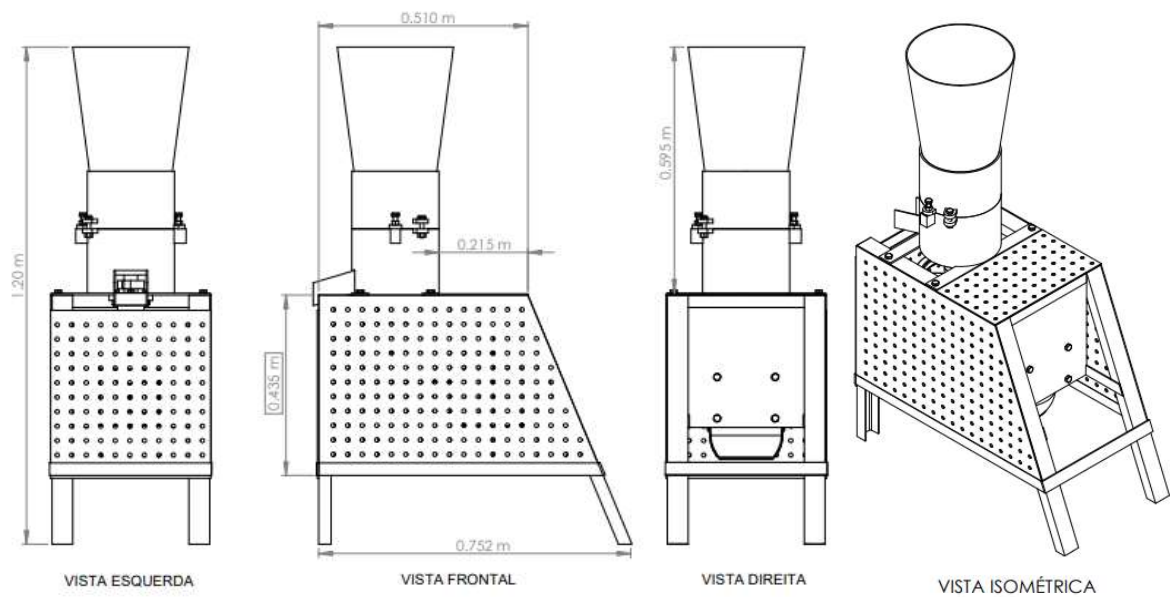




**Figura 2: A) Conjunto sistema de compressão; B) Corpo Principal, C) Matriz Plana; D) Conjunto Rolos e E) Vista superior do conjunto compressor.**

O conjunto final (Figura 3), apresenta dimensão de 0,38 m de largura por 0,75 m de comprimento e 1,20 m de altura, e peso total de 76 kg. Nestas condições, o equipamento projetado é de fácil transporte e manuseio, conforme necessidade de uso no dia-dia.

### 3.2 Vistas do Conjunto Final



**Figura 3: Vistas Esquerda, Frontal, Direita e Isométrica da máquina protótipo de fabricação de pellets.**

### 3.3 Simulações

A avaliação do produto final foi realizada por meio de simulação computacional com base no método dos elementos finitos, buscando assim prever o comportamento estrutural da máquina, principalmente quando exposta a uma determinada carga de trabalho. Para obter os resultados foi utilizado o modelo 3D (figura 4) no processo de simulação, e para poupar recursos computacionais, foi levado em consideração apenas a estrutura que irá suportar as maiores concentrações dos esforços associados ao trabalho.



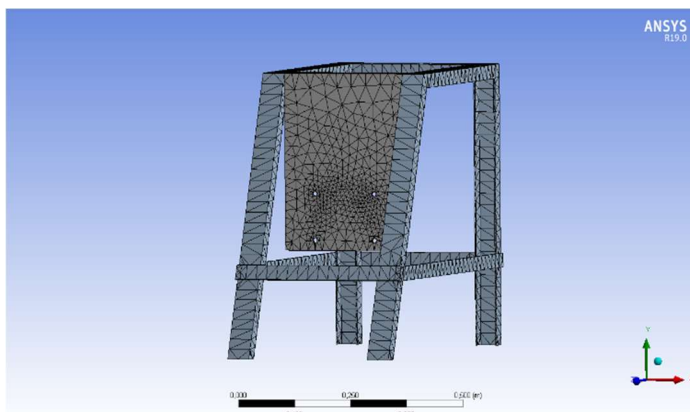
**Figura 4: Modelo 3D projetado do equipamento.**

Portanto, nesse equipamento o que irá receber a maior parte dos esforços é o suporte metálico onde irá ser acoplado todo o aparato.

### 3.4 Qualidade da malha

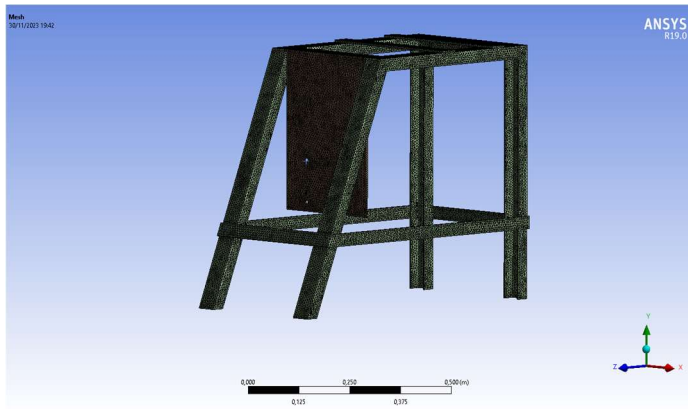
Uma simulação computacional desse tipo é quase que inteiramente dependente da qualidade da malha gerada para o modelo, ou seja, a precisão do MEF (Método dos elementos finitos) vai depender das variáveis envolvidas nesse processo, ou seja, da quantidade de elementos e nós, do tamanho e do tipo de malha gerada, porém um fator que dificulta alcançar a “perfeição” neste quesito é a limitação no poder computacional disponível, quanto mais refinada for, mais elementos irá apresentar, necessitando de mais e mais poder de processamento.

A estrutura suporte da máquina projetada, resultou em uma malha padrão, em que foi possível identificar 18490 nós e 7372 elementos finitos conectados entre si (Figura 5A). Quanto a malha final cujo critério de avaliação foi a métrica Element quality, a estrutura da máquina projetada apresentou 403565 nós e 203317 elementos finitos conectados entre si (Figura 5B). Após o refinamento da malha no corpo de estudo, é possível notar um elevado aumento nos elementos da malha, porém houve também um aumento significativo na qualidade o que irá favorecer resultados mais precisos e adequados.



Métrica de malha	Qualidade do elemento
Mínimo	0,0042
Máximo	0,9534
Média	0,2777
Desvio padrão	0,1938

a)



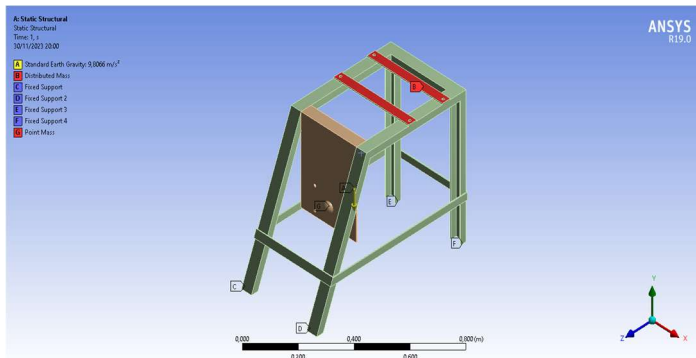
Métrica de malha	Qualidade do elemento
Mínimo	0,2285
Máximo	0,9984
Média	0,8012
Desvio padrão	0,0984

b)

**Figura 5: A) Malha padrão gerada pelo Software e sua qualidade e B) Malha refinada gerada pelo Software e sua qualidade**

### 3.5 Resultados Simulações

Para prever o comportamento de uma estrutura e aperfeiçoar a precisão da simulação, é importante conhecer os parâmetros operacionais envolvidos.



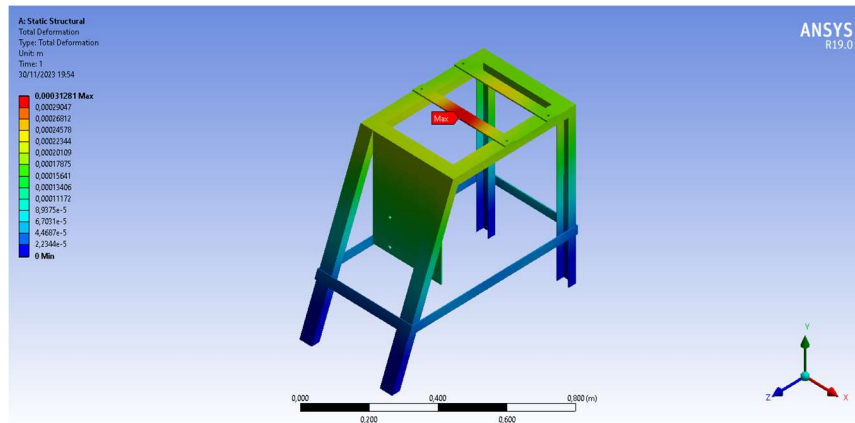
Hipótese	Item	Valor numérico
A	Gravidade	9,8066 m/s <sup>2</sup>
B	Carregamento distribuído	28,37kg
C,D,E,F	Suporte fixo	
G	Motor	61kg

**Figura 5: Configuração da simulação/Capacidade de suporte e Configuração de simulação.**

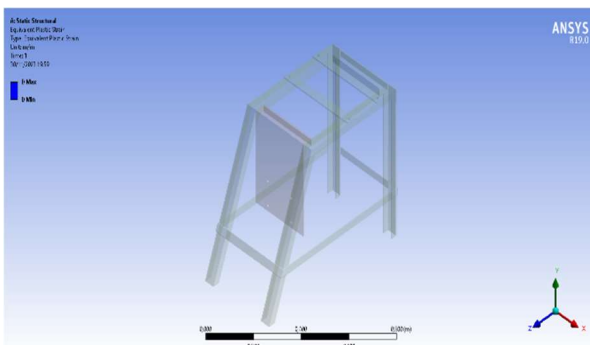
O material utilizado para a simulação foi o SAE 1020, o motor de referência utilizado foi SEW-EURODRIVE R77, e através do software solidworks foi possível determinar a massa estimada dos demais elementos acoplados no suporte.

### 3.6 Deformação

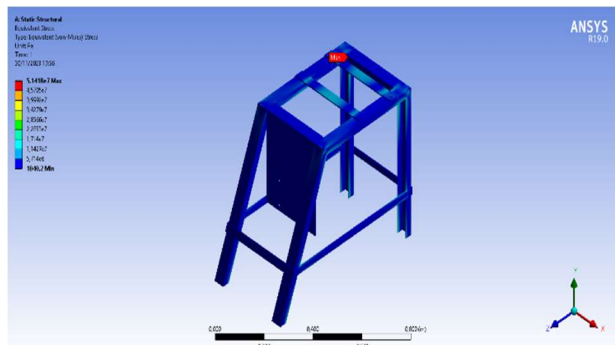
A análise de deformação (Figura 6A e 6B), indica que a estrutura suporte apresentou deformação máxima na ordem de 0,00031m, o que implica afirmar que a deformação seria imperceptível, já que seria menor 1mm. Sendo assim, a máquina projetada não sofrerá com deformações após a carga aplicada ser removida. Por outro lado, pode-se prever com base na deformação total que a estrutura da máquina projetada, estará no regime elástico.



a)



b)



c)

Figura 6: A) Deformação total do conjunto suporte, B) Deformação plástica e C) Tensão de Von Mises

As análises realizadas via software sugerem que não existem pontos, no qual a estrutura atingira o regime plástico. Quanto a tensão mecânica (Figura 6C), resultante das forças por unidade de área no corpo da máquina, segundo resultados obtidos por meio do critério de escoamento de Von Mises, tem-se que a tensão máxima no suporte seria de  $5,1418 \times 10^7$  Pa. Esses resultados em comparação com a tensão de escoamento do AÇO 1020 que é de cerca de  $3,5 \times 10^8$  Pa, pode-se inferir que a tensão se encontra relativamente muito abaixo do limite. O que se pode concluir que a estrutura projetada não irá falhar em condições normais de trabalho, ou seja, a mesma não deixará o regime elástico ou irá sofrer rupturas na estrutura.

### 3.7 Resultados Funcionais de Trabalho da Máquina

#### 3.7.1 Rotação da Polia Movida e Torque do motor

Considerando as variáveis rotação da polia motora ( $n_1$ ) equivalente a 1740 rpm, o diâmetro da polia motora ( $D_1$ ) de 50 mm e o diâmetro da polia movida ( $D_2$ ) de 450 mm e utilizando a equação (5), tem-se a rotação na polia movida ( $n_2$ ) é de 193,3 rpm. Para obtenção do torque, utilizou-se a equação (6), obtendo assim o torque no eixo da máquina de 181,6 N.m.

#### 3.7.2 Cálculo do volume total de alimentação para processamento da máquina

O volume total ( $V_t$ ) de preenchimento da máquina para uma batelada de operação é dado pela soma do volume do corpo principal e corpo intermediário ( $V_1$ ), mais o volume da boca funil

( $V_2$ ), menos o volume do rolo compressor ( $V_3$ ), o volume do eixo secundário é desprezado, sendo que a maior parte dele já foi incluso no volume dos rolos compressor. O volume do corpo principal e corpo secundário é considerado utilizando a área interna a partir da matriz plana.

O  $V_1$  calculado foi de  $0,00628 \text{ m}^3$ , enquanto o  $V_2$  foi de  $0,0137 \text{ m}^3$ , já o  $V_3$  foi de  $0,000503 \text{ m}^3$  e o  $V_t$  foi de  $0,019477 \text{ m}^3$  (Quadro 1). O que corresponde a aproximadamente 19,5 litros de material por batelada, considerando uma densidade de rações fareladas na ordem de  $0,71 \text{ Kg/L}$  resultando em uma capacidade de armazenamento de material por batelada de aproximadamente 13,85 Kg. Resultado obtido em protótipo projetado por GÓMEZ-ÁGUILA et al., (2023), apresentou capacidade de 15,41 Kg por batelada de material farelado.

$V_1 = \pi \cdot r^2 \cdot h$	$V_2 = \frac{\pi \cdot h}{3} \cdot (R^2 + r^2 + R \cdot r)$	$V_3 = 2 \times V_1$	$V_t = V_1 + V_2 - V_3$
$0,00628 \text{ m}^3$	$0,0137 \text{ m}^3$	$0,000503 \text{ m}^3$	$0,019477 \text{ m}^3$

Quadro 1: Cálculo de volume do corpo principal e corpo intermediário ( $V_1$ ), volume da boca funil ( $V_2$ ) e volume do rolo compressor ( $V_3$ ).

### 3.7.3 Teste de Fabricação

Para o teste de fabricação do projeto finalizado (Figura 7A), foram realizadas eficiência de peletização ( $E(\%)$ ), capacidade de peletização ( $C_p$ ) e taxa de transferência ( $T_x$ ). Para a realização desses testes foram utilizados 2 kg de ração farelada com teor de 25% de umidade. Após o período de teste, que teve duração de 2 minutos, foi observado uma produção de 1,785 kg de pellets (Figura 7B) processados em 2,0833 minutos, com um consumo médio de energia médio de R\$3,52, por hora trabalhada.

A eficiência de peletização foi de 89,25%, enquanto a capacidade de peletização foi de 0,892 Kg/min e a taxa de transferência foi de 54,09 Kg/h (Quadro 2).

Eficiência de peletização ( $E(\%)$ )	capacidade de peletização ( $C_p$ )	taxa de transferência ( $T_x$ )
$0,00628 \text{ m}^3$	$0,0137 \text{ m}^3$	$0,000503 \text{ m}^3$

Quadro 2: Cálculos de testes de fabricação: eficiência de peletização ( $E(\%)$ ), capacidade de peletização  $C_p$  e taxa de transferência  $T_x$



**Figura 7: A) Máquina peletizadora protótipo; B) Ração Farelada e C) Pellets resultantes da máquina**

Os resultados dos testes obtidos, sugerem que o projeto proposto se compara com os resultados de processamento e consumo de energia de máquinas já existentes no mercado (Quadro 3). No entanto, em relação a taxa de transferência apresentou menor capacidade produtiva hora.

Modelo	Potência	Capacidade de produção	Consumo/hora	Custo R\$
MEG-2023 LELIS	3677 watts	56,60 Kg/h	4.430 watts	R\$ 6.114,60
MIO 150	3677 watts	200 Kg/h	4.430 watts	R\$ 8.990,00
Metal Correia 100	2941 watts	75 Kg/h	3.543 watts	R\$ 7.300,00
AF 100	3677 watts	120 Kg/h	4.430 watts	R\$ 7.225,00
PT-150	2941 watts	150 Kg/h	3.543 watts	R\$ 9.990,00

**Quadro 3: Comparação do projeto proposto e máquinas politizadora comerciais.**

Resultado associado ao desempenho de produção foram superiores a máquina projetada por Okolie et al., (2019), em que apresentou capacidade de produção de 17 kg/h e eficiência da máquina de 73,33% e eficiência de pelotização de 90,90%, para um produto pellet com dimensões entre 2 a 8 mm de diâmetro, adequado para piscicultura e avicultura. Constantine et al., (2017) com apresentam protótipo com capacidade de produção de 12 Kg/h.

### 3.7.4 Custo Total para fabricação da Máquina

O custo de produção total dos materiais utilizados na máquina (Quadro 4), ficou na ordem de R\$ 6.114,64. Pode ser observar que o custo com materiais é o que eleva o valor da produção da máquina, sendo o motor o equipamento de maior valor e representa cerca de 45,79% do valor total de fabricação do projeto. Vale salientar que todos os equipamentos são facilmente obtidos no mercado nacional.

Nº DO ITEM	DESCRIÇÃO DA PEÇA	QUANTIDADE	VALOR
1	Corpo principal	1	R\$ 350,00
2	Parafuso M10x30	4	R\$ 4,80
3	Parafuso M10x20	4	R\$ 4,80
4	Base intermediária	1	R\$ 30,00
5	Porca M24	1	R\$ 2,80
6	Porca M10	16	R\$ 3,20
7	Encosto da polia movida	1	R\$ 10,00
8	Parafuso M8x10	1	R\$ 8,00
9	Corpo intermediário	1	R\$ 170,00
10	Parafuso M10x45	4	R\$ 5,60
11	Parafuso M10x25	4	R\$ 4,20
12	Boca funil	1	R\$ 78,00
13	Base estrutura	1	R\$ 201,84
14	Motor elétrico 5 cv 4 polos	1	R\$ 2800,00
15	Polia motora	1	R\$ 50,00
16	Mancal	1	R\$ 280,00

17	Rolamento 6205	2	R\$ 36,00
18	Eixo primário	1	R\$ 150,00
19	Chaveta	2	R\$ 8,00
20	Polia movida	1	R\$ 159,90
21	Matriz plana	1	R\$ 500,00
22	Palheta	1	R\$ 70,00
23	Correia	1	R\$ 35,00
24	Rolo de compressão	2	R\$ 320,00
25	Rolamento 6204	4	R\$ 60,00
26	Eixo secundário	1	R\$ 135,00
			R\$5.477,14
27	Materiais de consumo: cinco folhas de lixa para ferro grão 80 e cinco de grão 130, dois quilogramas de eletrodo E6013 2,5 mm, dez discos de corte de 4", dois discos de desbaste de 4", 500 ml de tinta esmalte verde e um litro de thinner solvente.	diversas	R\$137,50
28	Mão de obra: Montagem e Pintura	1	R\$500,00
	Total geral		R\$ 6.114,64

**Quadro 4: Descrição dos materiais e custo total da Máquina projetada.**

## 4 CONCLUSÃO

A máquina apresentou capacidade de produção na ordem de 0,892 kg/min o equivalente a uma taxa de transferência de 54,09 kg/h com eficiência máxima de 89,25% para um teor de umidade presente de 25%. Apresenta peso total do conjunto de 76 kg. Possui um custo de produção de R\$ 6114,64, tendo o motor 5cv o componente que mais onera sua produção, visto que representa cerca de 45,79% do custo total. Detém capacidade de processamento por batelada aproximada de 17,85 kg de ração, com consumo de energia estimado de R\$ 36,61.

Neste sentido, os resultados obtidos por meio dos testes realizados indicam que a máquina peletizadora projetada pode viabilizar uma maior dinâmica a sistemas de criação animal em pequenas e médias propriedades rurais, pois apresenta excelente desempenho funcional. Assim, permitirá que produtores produzam e utilizem sua própria ração em pellets, a partir de insumos regionais e ou residuais de agroindústrias, aliviando assim os problemas associados custos e dependência da utilização de rações comerciais.

## 5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos à PROPPG/IFPA pelo incentivo a pesquisa por meio do EDITAL DE AUXÍLIO A PROJETOS DE INOVAÇÃO E PESQUISA APLICADA – APIPA EDITAL n° 01/2016 APIPA – PROPPG – IFPA. O fomento obtido foi fundamental para o início do projeto em 2016 e conclusão após 7 anos em 2023. Aos pesquisadores do grupo de pesquisa GEMABio/IFPA pelo empenho e persistência com o projeto. Também, agradecemos imensamente, à parceria dos pesquisadores do grupo de pesquisa GEMABio/IFPA e a Faculdade de Engenharia Mecânica da UFPa/Campus Tucuruí, sem esta união, a conclusão do projeto seria mais difícil.

## 6 REFERÊNCIAS

- ANSYS. (2020). Computational Applications and System Integration Inc., Version 19.0.
- ANTONIACOMI, L. A. M.; SOUZA, S. I. S. de. (2010). A técnica dos múltiplos domínios aplicada à geração de malhas no software Ansys CFX-MESH. *In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA*, 6., 2010. Campina Grande. Resumos [...]. Paraíba: ABCEM.
- ANZURES, L. B. P. M. (2023). Obtención y evaluación de pellets basados em materia orgánica para la liberación de fósforo y su aprovechamiento en la agricultura. [Dissertação de Mastrado, Universidad Autónoma de Estado de Hidalgo]. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/handle/231104/2962>.
- BEHNKE, K.C. (1994). Factors affecting pellet quality. In: Proc. Maryland Nutrition Conference. Dept. of Poultry Science and Animal Science, College of Agriculture, Univ. of Maryland, College Park. <https://silو.tips/download/factors-influencing-pellet-quality>.
- DE JONG, J. A, TOKACH, M. D, GOODBAND, R. D. (2012). Effects of corn particle size, complete diet grinding, and diet form on finishing pig growth performance, caloric efficiency, carcass characteristics and economics. Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports. DOI: 10.4148/2378-5977.7080.
- BRUSTOLINI, A. P. L. (2014). Avaliação do tamanho de partícula e forma física da ração sobre o desempenho e características de carcaça de suínos machos castrados em crescimento e terminação. [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Geral]. <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/52646>.
- CASTRO, R. M. do A. D., CARVALHO, F. B. de, STRINGHINI, J. H., CAFÉ, M. B., OLIVEIRA, E. M. de, JARDIM FILHO, R. M., & JARDIM, M. M. (2020). Idade da matriz e peso do ovo fértil sobre o desenvolvimento inicial de pintos alimentados com ração pré-inicial micropelletizada e triturada. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 3(3), 1600–1615. <https://doi.org/10.34188/bjaerv3n3-077>
- CONSTANTINE, K. G. M.; BONIFAZ-MARTÍNEZ, J. S. (2017). Diseño de un prototipo para la fabricación de pellets a partir de biomasa residual forestal. Trabajo final para la obtención del título: Ing. Mecánica. Espol fimcp, Guayaquil. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/41581?locale=es>.
- DOZIER, W. A. III; BEHNKE, K. C.; GEHRING, C. K.; BRANTON, S. L. (2010). Effects of feed form on growth performance and processing yields of broiler chickens during a 42-day production period. *Journal of Applied Poultry Research*, 19(3) 219-226. DOI: <https://doi.org/10.3382/japr.2010-00156>.
- DUARTE, R. N. (2003). Simulação Computacional: análise de uma célula de manufatura em lotes do setor de auto-peças. [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Itajubá]. <https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/handle/123456789/3760>.

- FARIA DE SOUZA, M.; AMADEI, B. H. T.; MAURÍCIO DE SOUZA, T. V. (2022). Revisão de literatura: efeitos da qualidade do pellet nas rações de suínos. *Nutritime Revista Eletrônica*, 19(3), 9074-9081. <https://nutritime.com.br/wp-content/uploads/2022/05/Artigo-556.pdf>.
- FREITAS, J. W. L. (2022). Aspectos econômicos e produtivos da pecuária de leite no semiárido nordestino. [Monografia, Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Ceará]. <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/69300>
- GÓMEZ-ÁGUILA, M. V.; ENRÍQUEZ-SÁNCHEZ, A.; VÁSQUEZ-LÓPEZ, M. B.; CASTELLANOS-SERRANO, L. T.; CASTELLANOS-SUÁREZ, A.; PÉREZ-VIVAR, M. A. (2023). Diseño de un prototipo de máquina peletizadora del mezquite dulce para la alimentación del ganado vacuno y porcino: Design of a prototype of a sweet mesquite pelletizing machine for feeding cattle and pigs. *e-CUCBA*, 20, 166–173. DOI: 10.32870/ecucba.vi20.309.
- KLEIN, A. A. (2009). Peletização de rações: Aspectos técnicos, custos e benefícios e inovações tecnológicas. In: Conferência Apinco de Ciência e Tecnologia Avícolas, FACTA, 173-193. [https://pt.engormix.com/balanceados/peletizacao-racoes/peletizacao-racoes-aspectos-tecnicos\\_a36785](https://pt.engormix.com/balanceados/peletizacao-racoes/peletizacao-racoes-aspectos-tecnicos_a36785).
- KUBITZA, F. (2009). Manejo na produção de peixes: parte 4 - manejo nutricional e alimentar. *Panorama da Aquicultura*. 19(111), 14-27. <https://panoramadaaquicultura.com.br/manejo-na-producao-de-peixes-parte-4-manejo-nutricional-e-alimentar>.
- LÓPEZ-VERDUGO, L. E.; OSUNA-FLORES, I. (2015). Elaboración de pellets como biocombustible sólido, para el mejoramiento ambiental y económico en el Norte de Sinaloa, México. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*. [https://riiit.com.mx/apps/site/idem.php?module=Catalog&action=ViewItem&id=6216&item\\_id=83145](https://riiit.com.mx/apps/site/idem.php?module=Catalog&action=ViewItem&id=6216&item_id=83145).
- MASSUQUETTO, A.; DURAU, J. F.; SCHRAMM, V. G.; TEIXEIRA NETTO, M. V. T.; KRABBE, E. L. MAIORKA, A. (2018). Influence of feed form and conditioning time on pellet quality, performance and ileal nutrient digestibility in broilers. *Journal of Applied Poultry Research*, 27(1), 51-58. DOI: <https://doi.org/10.3382/japr/pfx039>.
- MIRANDA, D. J. A.; LARA, L. J. C.; POMPEU, M. A.; BARBOSA, V. M.; ROCHA, J. S. R.; CARDOSO, D. M. (2011). Peletização de ração para frangos de corte: fatores que interferem na qualidade do pélete. *Boletim De Indústria Animal*, 68(1), 81-92. <http://bia.iz.sp.gov.br/index.php/bia/article/view/1064>
- NAVES, G. F.; CUNHA, J. (2011). Simulação numérica do comportamento estrutural e pré-dimensionamento das estruturas arco e cúpula. *Revista Horizonte Científico*, 5(1) 1-20. <https://seer.ufu.br/index.php/horizontecientifico/article/view/11752>.
- OKOLIE, P. C.; CHUKWUJIKE, I. C.; CHUKWUNEKE, J. L.; DARA, J. E. (2019). Design and Production of a Fish Feed Pelletizing Machine. *Heliyon Elsevier*, 5(6), 1–7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02001>.

SCHROEDER, Bruna. (2019). Modelagem empírica da qualidade dos péletes de rações para frangos de corte e suínos. [Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul]. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/196114>.

SOUZA, R. M. de. (2003). O método dos elementos finitos aplicado ao problema de condução de calor. Apostila, Universidade Federal do Pará. [https://www.researchgate.net/profile/Remo-De-Souza/publication/326331671\\_O\\_Metodo\\_dos\\_Elementos\\_Finitos\\_Aplicado\\_ao\\_Problema\\_de\\_Conducao\\_de\\_Calor/links/5b466378aca272c609377a4b/O-Metodo-dos-Elementos-Finitos-Aplicado-ao-Problema-de-Conducao-de-Calor.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Remo-De-Souza/publication/326331671_O_Metodo_dos_Elementos_Finitos_Aplicado_ao_Problema_de_Conducao_de_Calor/links/5b466378aca272c609377a4b/O-Metodo-dos-Elementos-Finitos-Aplicado-ao-Problema-de-Conducao-de-Calor.pdf).

TONISSI, R. H. de. GOES, B. de; SILVA, L. H. X. da; SOUZA, K. A. de. Alimentos e Alimentação Animal. Dourados: Universidade Federal da Grande Dourados, 79 p. <https://omp.ufgd.edu.br/omp/index.php/livrosabertos/catalog/book/211>.