

**PROJETO DE AERAÇÃO DE GRÃOS DE TRIGO PARA O MUNICÍPIO DE LAPA-PR
(ESTUDO DE CASO)**

**WHEAT GRAIN AERATION PROJECT FOR THE MUNICIPALITY OF LAPA, PR (CASE
STUDY)**

 <https://doi.org/10.63330/aurumpub.065-011>

Adonai Bastos Borges

Graduando em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Sergipe
E-mail: adonaiborgescj@gmail.com

Douglas Romeu da Costa

Doutor em Engenharia Agrícola
Professor Associado na Universidade Federal de Sergipe
E-mail: douglascosta@academico.ufs.br

Manoel de Santana de Campos

Graduado em Engenharia Agrícola
Mestrando em Desenvolvimento e Meio Ambiente na Universidade Federal de Sergipe
E-mail: engenheiromanoelcampos@gmail.com

Adson Andrade Barros

Graduado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Sergipe
Mestrando em Desenvolvimento e Meio Ambiente na Universidade Federal de Sergipe
mail: adsonandrade.agro@gmail.com

Mário Cupertino da Silva Júnior

Doutor em Engenharia Agrícola
Professor Associado na Universidade Federal de Sergipe
E-mail: mariocupertino@academico.ufs.br

Jorge Antônio Vieira Gonçalves

Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais
Professor Adjunto na Universidade Federal de Sergipe
E-mail: javgufs@academico.ufs.br

Glauber Silva Godoi

Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais
Professor Associado na Universidade Federal de Sergipe
E-mail: glaubersg@academico.ufs.br

Thiago Herbert Santos Oliveira

Mestre em Recursos Hídricos
Técnico em Edificações na Universidade Federal de Sergipe
E-mail: thiagosipac@academico.ufs.br

Wendel de Melo Massaranduba

Doutor em Agricultura e Biodiversidade
Técnico em Agropecuária na Universidade Federal de Sergipe
E-mail: wendeljr@academico.ufs.br

Lusivaldo Luiz dos Santos

Mestre em Recursos Hídricos
Técnico em Agropecuária na Universidade Federal de Sergipe
E-mail: Lusivaldosantos97@gmail.com

Resumo

Objetivou-se, com este trabalho, dimensionar a capacidade estática de silo e o sistema de aeração de acordo com a produção de grãos de trigo estimada para o município de Lapa, estado do Paraná, e avaliar os resultados para definir a melhor configuração de uma unidade armazenadora para uma propriedade fictícia que comercializa esse cereal. Este estudo de caso utilizou uma metodologia que envolveu o levantamento de dados climáticos regionais e de produtividade agrícola, além da estimativa de área e produção via softwares QGIS e Google Earth. A partir dessas informações, dimensionou-se as capacidades estáticas dos silos e os respectivos sistemas de aeração considerando-se dois cenários de armazenamento, sendo um silo único central e uma bateria composta por sete silos menores. Os resultados indicaram que a relação diâmetro-altura de 5:3 foi a mais vantajosa para os sistemas de aeração, pois a menor altura da camada de grãos reduz os requerimentos de fluxo de ar e a potência necessária para os ventiladores. Conclui-se que a configuração dividida em sete silos é a alternativa ideal para o projeto, uma vez que ela atenua os efeitos do fenômeno de migração de umidade e proporciona uma melhor uniformização térmica da massa de grãos, garantindo maior segurança na preservação do trigo a longo prazo.

Palavras-chave: Armazenamento de grãos; Dimensionamento; Engenharia Agrícola; Pós-colheita.

Abstract

This study aimed to size the static silo capacity and aeration system based on estimated wheat production for the municipality of Lapa, Paraná state, and to evaluate the results to determine the optimal storage unit configuration for a hypothetical farm trading this cereal. The case study employed a methodology involving the collection of regional climate and agricultural productivity data, alongside area and production estimates using QGIS and Google Earth software. Based on this information, silo static capacities and their respective aeration systems were sized, considering two storage scenarios: a single central silo and a battery of seven smaller silos. The results indicated that a 5:3 diameter-to-height ratio was the most advantageous for the aeration systems, as the lower grain bed height reduces airflow requirements and fan power needs. It is concluded that the seven-silo configuration is the ideal alternative for the project, as it mitigates moisture

migration effects and ensures better thermal uniformity within the grain mass, thereby guaranteeing greater safety for long-term wheat preservation.

Keywords: Agricultural Engineering; Grain storage; Post-harvest; Sizing.

1 INTRODUÇÃO

A produção de trigo no Brasil caracteriza-se pela sua grande contribuição socioeconômica, devido ao alto consumo de seus derivados em alimentos processados (Carneiro *et al.*, 2005). Na safra 2024/25, a produtividade (kg/ha) apresentou aumento de 19,9%. No entanto, houve uma queda de 4,5% na produção anual e de 19,9% na área plantada, em comparação à safra anterior (CONAB, 2025). Ainda de acordo com CONAB (2026), para a safra 2025/26 a estimativa de produção trigo é 5,81 milhões de toneladas, sendo 26,2% menor que a safra anterior. Em relação a área e à produtividade as estimativas foram, respectivamente, 20,4% e 7,2% inferiores à safra 2024/25.

Além desse cenário de retração cabe salientar que é necessário uma gestão da pós colheita do trigo, principalmente nas etapas de armazenamento, pois o grão é bastante suscetível ao ataque de insetos e fungos, devendo ser armazenado com teor de umidade abaixo dos 13% b.u. e temperatura máxima da massa de grãos em 60° C. (EMBRAPA, 2021). Nesse contexto, a secagem e a aeração da massa de grãos de trigo asseguram uma colheita antecipada e a diminuição de danos causados por agentes externos (Silva *et al.*, 2008).

O estado do Paraná é o segundo maior produtor de trigo do país, ficando atrás somente do Rio Grande do Sul. Em 2025, o estado contou com 819 mil hectares de área plantada e uma produção de 2430 mil toneladas de grãos (CONAB, 2026). Dessa forma, é justificado que haja um sistema de secagem e armazenamento na região que garanta aos produtores uma melhor qualidade final de seus produtos.

A aeração é definida como a passagem forçada de ar, com fluxo adequado, através da massa de grãos armazenada, com o objetivo de prevenir ou solucionar problemas de conservação. Essa técnica é utilizada principalmente para igualar a temperatura da massa, reduzir a atividade de fungos e insetos e diminuir a taxa de respiração do produto, contribuindo para a manutenção da qualidade dos grãos durante o armazenamento (Silva *et al.*, 2008).

Objetivou-se, com este trabalho, dimensionar a capacidade estática de silo e o sistema de aeração de acordo com a produção de grãos de trigo estimada para o município de Lapa, estado do Paraná, e avaliar os resultados para definir a melhor configuração de uma unidade armazenadora para uma propriedade fictícia que comercializa esse cereal.

2 METODOLOGIA

2.1 MEMORIAL DESCRITIVO

2.1.1 Disposições gerais

Os silos e o sistema de aeração foram dimensionados a fim de armazenar uma quantidade estimada de grãos de trigo, durante um período de 365 dias, para uma propriedade fictícia localizada no município de Lapa, estado do Paraná. Para tal, foi realizado levantamento de dados e informações iniciais sobre a localidade em páginas da internet geridas por instituições públicas governamentais, como a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os parâmetros referentes ao produto agrícola avaliado para armazenamento foram estipulados a partir da leitura de artigos científicos e apostilas que versam sobre o estudo das características físicas e dos métodos de secagem e aeração desses grãos. Foram estabelecidos que serão avaliados dois tipos de sistema de armazenamento e aeração: Inicial: somente um silo para armazenagem de toda a produção estimada e; Sete silos: sete silos, sendo um silo reservado para ocasiões excepcionais (silo pulmão).

2.1.2 Caracterização do local

O município de Lapa localiza-se a 25°46'11" de latitude sul e 49°42'57" de longitude oeste, altitude de 910 metros, na região metropolitana da capital do estado do Paraná, Curitiba. Possui classificação climática Köppen-Geiger Cfb, caracterizado como clima temperado, com verão ameno e chuvas uniformemente distribuídas, sem estação seca e a temperatura média do mês mais quente não chega a 22° C. Precipitação anual de 1.100 a 2.000 mm e ocorrência de geadas severas e frequentes, num período médio de dez a 25 dias por ano (Nitsche et al., 2019) (EMBRAPA, s.d.).

O relevo é categorizado como subunidade morfoescultural número 2.3.4 (Planalto de Ponta Grossa) situado no Segundo Planalto Paranaense, com formas predominantes de topos alongados, vertentes retilíneas e côncavas e vales em formato de “U” (Oka-Fiori & Santos, 2006.).

No site do INMET, os dados de temperatura ambiente e umidade relativa do ar não estão disponíveis para Lapa. Dessa forma, coletou-se os dados da estação automática mais próxima, nesse caso, da cidade de Curitiba, para um período de dez anos (2016 a 2025). A planilha foi importada para o software Excel, onde foram calculadas as médias anuais para os dois parâmetros supracitados (Tabela 1).

Tabela 1. Médias anuais dos dados de temperatura ambiente e umidade relativa do ar para a cidade de Curitiba - PR.

Ano	Temperatura ambiente (média)	Umidade Relativa do ar (média)
-	(°C)	(%)
2016	18,36	70,88
2017	18,48	67,56
2018	18,54	65,42
2019	19,14	67,19
2020	18,66	65,49
2021	18,41	68,63
2022	18,12	81,36
2023	18,64	80,93
2024	19,43	78,52
2025	18,67	80,06
Média	18,65	72,6

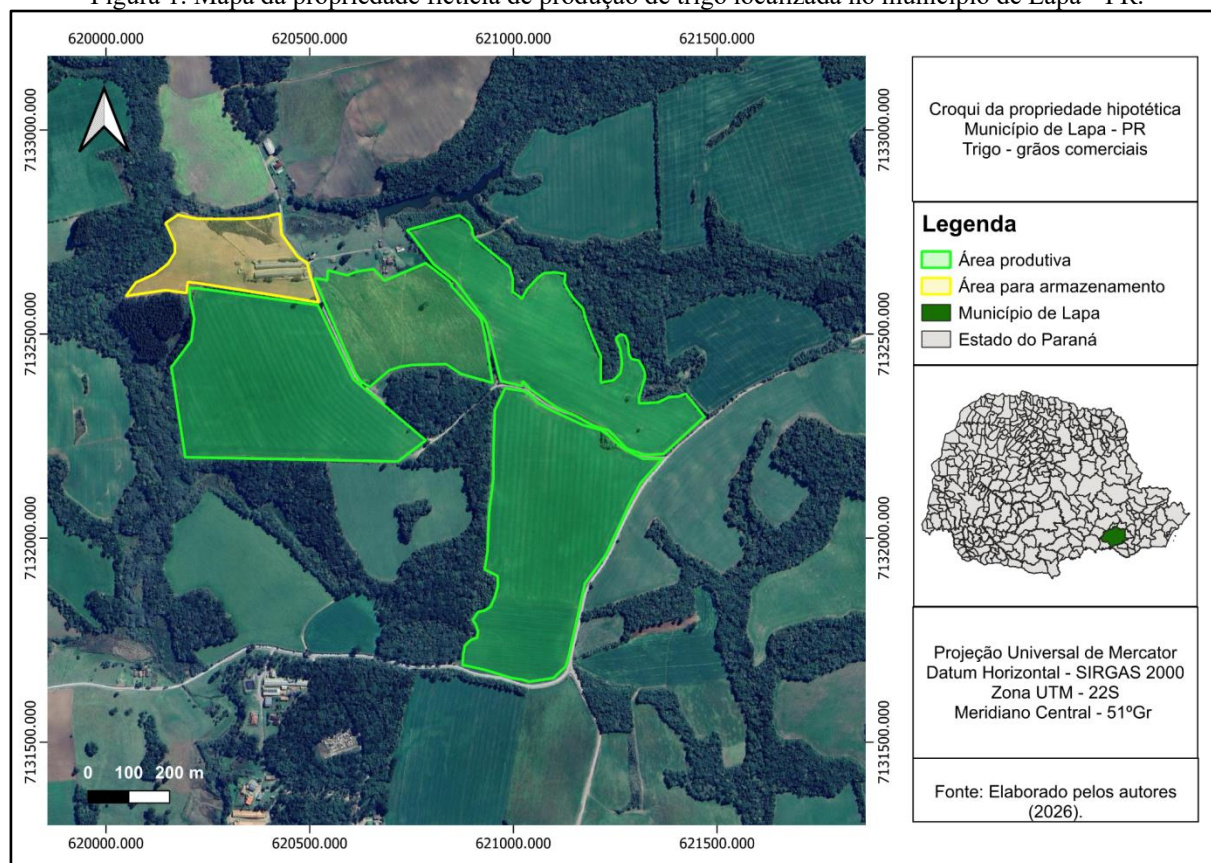
Fonte: Adaptado de INMET (2026).

2.1.3 Estimativa de produção

Com o uso do software Google Earth, foi realizada uma visualização das propriedades rurais presentes no município, através da observação de imagens de satélite disponibilizadas de forma gratuita na internet. Após essa atividade, realizou-se o download de camadas vetoriais (shapefile) relativas às unidades da federação brasileira, denominadas “Malhas Municipais”, disponibilizadas online pelo IBGE. Essas camadas foram adicionadas ao software livre QGIS para vetorização das áreas produtivas e de armazenamento da propriedade selecionada. Dessa forma, foram criadas duas camadas vetoriais, denominadas pelos autores como “Área Produtiva” e “Área de Armazenamento”, ao utilizar as ferramentas de edição “Adicionar polígono” e “Calculadora de campo”. Esta última foi utilizada para estimar as áreas das duas camadas criadas, em hectares.

Para criação do croqui/mapa de localização, utilizou-se a ferramenta “Criação de Layout de Impressão”, onde foram adicionados à página de impressão os mapas do estado do Paraná, do município de Lapa e da propriedade fictícia. Com as informações de área calculadas no QGIS, utilizou-se o software Excel para cruzar os dados e estimar a produção total de trigo na propriedade. Na figura a seguir (Figura 1) é apresentado o mapa de localização da propriedade, com a delimitação das áreas produtivas e de armazenamento.

Figura 1. Mapa da propriedade fictícia de produção de trigo localizada no município de Lapa - PR.



Fonte: Autores (2026).

Os dados de produtividade de grãos de trigo para o estado do Paraná foram coletados no portal de informações de safra de grãos da CONAB. Esses dados foram tabulados no software Excel, onde foi calculada a média de produtividade por hectare para um período de seis anos, como apresentado na tabela abaixo (Tabela 2).

Tabela 2. Dados anuais de produtividade de produção de grãos de trigo por hectare para o estado do Paraná.

Ano	Produção Anual (1000 t)	Produtividade (kg/ha)
-		
2020	3283	2949,69
2021	3880,2	3302,2
2022	4270,9	3049,99
2023	3077,1	2666
2024	2392,6	2905,05
2025	2770,7	3383,03
Total	19674,5	-
Média	3279,08	3042,66

Fonte: Adaptado de CONAB (2026).

Em posse da média de produtividade por hectare no período analisado, foi calculada, também no Excel, a produtividade total da propriedade fictícia, como apresentado na tabela a seguir (Tabela 3).

Tabela 3. Estimativa de produção de grãos de trigo no ambiente fictício localizado no município de Lapa - PR.

Ambiente de produção	Área produtiva (ha)	Produção total	
		(kg)	(t)
Fazenda	17,786	177755	178
	8,469		
	13,326		
	18,84		
Total	58,421	-	-

Fonte: Autores (2026).

2.2 MEMORIAL DE CÁLCULO

Os dimensionamentos dos silos e dos sistemas de aeração foram realizados com o uso das equações propostas nas apostilas “Ângulo de repouso dos produtos agrícolas”, “Massa específica dos produtos agrícolas” e no capítulo 11 do livro Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas, “Aeração de grãos armazenados”, ambos elaborados pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), sob organização do Prof. Dr. Juarez de Souza e Silva. As equações, tabelas e parâmetros de cálculo são apresentados a seguir:

Tabela 4. Dados preliminares para dimensionamento do sistema de armazenamento e aeração.

Produto	Trigo
Qtde Calculada (t)	178
Qtde Ajustada - 30 % (t)	231
Qtde Adotada (t)	230
Teor de água (% b.u.)	11
Massa específica (kg/m³)	790
Ângulo de repouso (radianos)	0,511

Fonte: Adaptado de Corrêa, P. C. & Goneli, A. L. D. (2005).

2.2.1 Cálculo do volume do cilindro

$$\rho = m \div V_{cilindro} \therefore V_{cilindro} = m \div \rho$$

1)

onde:

- ρ : Massa específica do grão, em kg/m³;
- m : Massa de grãos, em kg;
- V_{cilindro} : Volume do cilindro, em m³.

2.2.2 Determinação do diâmetro e altura do cilindro

a) Relação 1:1:

$$D = [(V \times 4) \div \pi]^{(1 \div 3)} \quad 2)$$

$$H = D \quad 3)$$

onde:

- D : Diâmetro do cilindro, em m;
- H : Altura do cilindro, em m;

b) Relação 5:3:

$$D = (V \div 0,471)^{(1 \div 3)} \quad 4)$$

$$H = (3 \times D) \div 5 \quad 5)$$

c) Relação 1:2:

$$D = (V \div 0,157)^{(1 \div 3)} \quad 6)$$

$$H = 2 \times D \quad 7)$$

d) Relação 1:10

$$D = (V \div 0,785)^{(1 \div 3)} \quad 8)$$

$$H = 10 \times D \quad 9)$$

2.2.3 Determinação da altura do cone

$$h' = tg(\alpha) \times R \quad 10)$$

onde:

- h' : Altura do cone, em m;
- α : Ângulo de repouso, em graus;
- R: Raio do cilindro, em m.

2.2.4 Determinação do volume do cone e do volume total do silo

$$V_{cone} = \left(\frac{1}{3}\right) \times \left(\frac{\pi \times D^2}{4}\right) \times h' \quad 11)$$

$$V_{silo} = V_{cilindro} + V_{cone} \quad 12)$$

onde:

- V_{cone} : Volume do cone, em m^3 ;
- V_{silo} : Volume do silo, em m^3 .

2.2.5 Sistema de aeração

a) Área do piso

$$A = (\pi \times D^2) \div 4 \quad (13)$$

onde:

- A: Área do piso, em m.

b) Determinação da capacidade estática do silo

$$C_e = (H \times \rho \times A)/1000 \quad (14)$$

onde:

- C_e: Capacidade estática do silo, em toneladas.

c) Vazão de ar

$$Q = F \times C_e \quad (15)$$

onde:

- Q: Vazão de ar, em m³/min;
- F: Fluxo de ar, em m³/min x t (tabelado).

Tabela 5. Recomendação de fluxos de ar para aeração.

Tipo de unidade/finalidade	Fluxo de ar (m ³ /min x t de grãos)	
	Região fria	Região quente
Horizontal/grão seco	0,05 a 0,10	0,10 a 0,20
Vertical/grão seco	0,02 a 0,05	0,03 a 0,10
Pulmão/grãos úmidos	0,30 a 0,60	0,30 a 0,60
Seca-aeração	0,50 a 1,00	0,50 a 1,00

Fonte: Silva *et al.*, 2008.

d) Pressão estática total

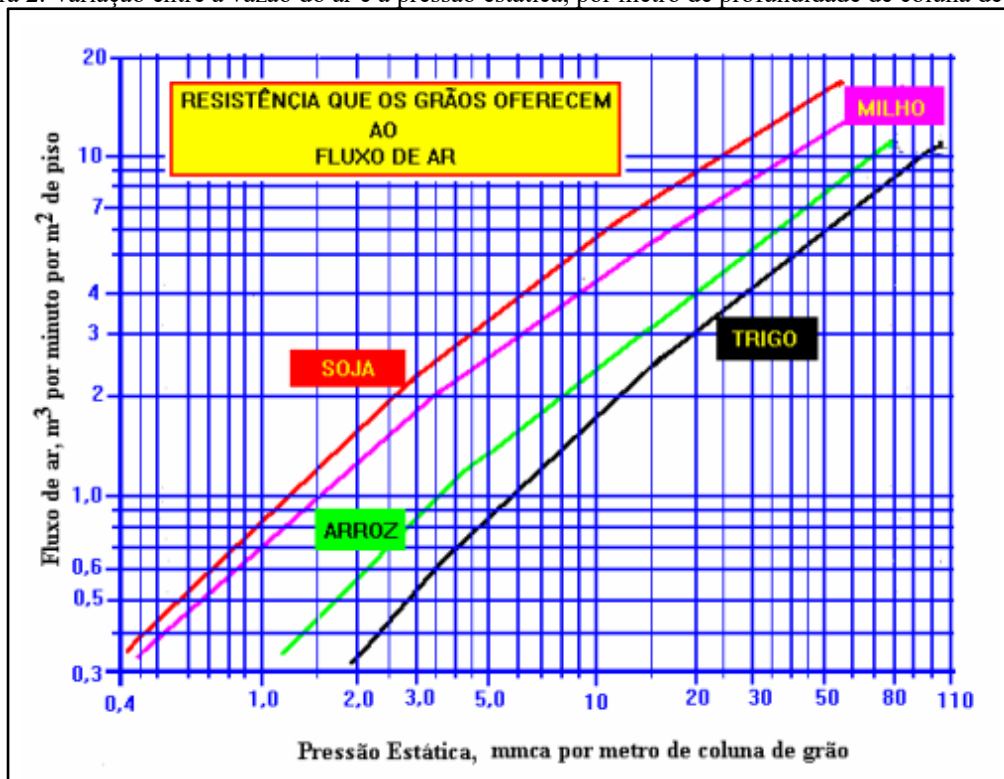
$$P_{et} = [P_e + (P_e \times 0,2) + (P_e \times 0,6)] \times H \quad (16)$$

onde:

- P_{et}: Pressão estática total, em cm.c.a.;

- P_e : Pressão estática, em cm.c.a. (tabelado).

Figura 2. Variação entre a vazão do ar e a pressão estática, por metro de profundidade de coluna de grãos.



Fonte: Silva *et al.*, 2008.

e) Potência do ventilador

$$Pot = (Q \times P_{et}) \div (450 \times \eta) \quad 17)$$

onde:

- Pot: Potência do ventilador, em cv;
- η : Eficiência do ventilador, em decimal, definida como 0,6.

f) Superfície perfurada

$$SP = Q \div V_{m\acute{a}x} \quad 18)$$

onde:

- SP: Superfície perfurada do piso, em m²;

- $V_{\text{máx}}$: Velocidade máxima de ar ao sair dos furos do duto, em m/min.

Para silos horizontais, a velocidade máxima de ar na saída dos dutos para a massa de grãos não deve ultrapassar 10 m/min, e 15 m/min para silos verticais (Silva *et al.*, 2008).

g) Seção transversal do duto principal

$$ST = Q \div V_{\text{ar máx.adm.}} \quad 19)$$

onde:

- ST: Seção transversal do duto principal;
- $V_{\text{ar máx. adm.}}$: Velocidade máxima admissível do ar dentro dos dutos.

A velocidade admissível para o ar dentro do duto varia entre 470 a 600 m/min, quando o comprimento é de no máximo 7,5 m, e entre 300 a 470 m/min, quando o comprimento varia de 7,5 a 18 m (SILVA *et al.*, 2008).

h) Largura do duto principal

$$L = \sqrt{ST}^1 \quad 20)$$

onde:

- L: Largura do duto principal, em m.
- ¹para silos com seção transversal quadrada.

i) Altura do duto principal

$$h = L \quad 21)$$

onde:

- h: Altura do duto principal, em m.

j) Comprimento do duto perfurado

$$C = SP \div h \quad 22)$$

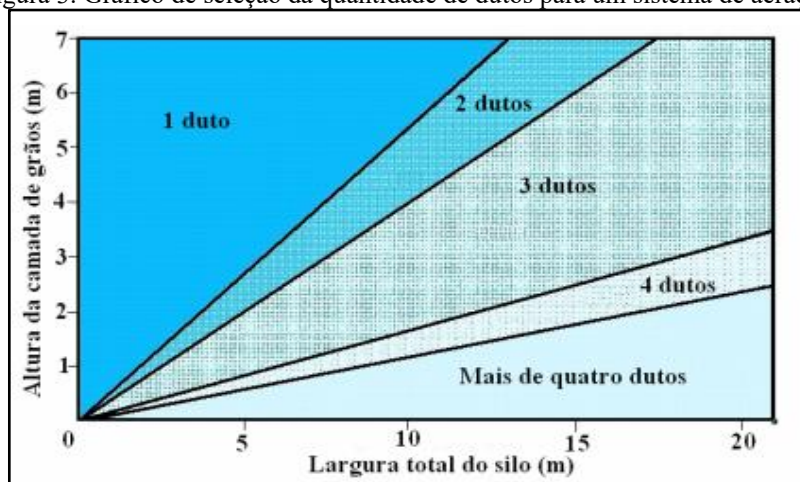
onde:

- C: Comprimento do duto perfurado, em m.

k) Quantidade de dutos

A quantidade de dutos perfurados para cada dimensionamento foi estipulada de acordo com as recomendações de Hilborn, 1976 apud Silva *et al.*, 2008, ao relacionar a altura da massa de grãos com o diâmetro do silo. A figura a seguir (Figura 3) apresenta o gráfico de seleção da quantidade de dutos proposto por Hilborn 1976:

Figura 3. Gráfico de seleção da quantidade de dutos para um sistema de aeração.



Fonte: Hilborn, 1976 apud Silva *et al.*, 2008.

l) Espaçamento entre dutos

O espaçamento entre dutos (X) foi estimado com o uso da relação L/H, que pode variar entre 1.2, 1.5 e 1.7, sendo 1.5 a mais recomendada (Silva *et al.*, 2008). As três relações foram calculadas e foi selecionada a que melhor se adequa à situação estudada.

Para o dimensionamento em que houve a necessidade de se instalar mais de um duto perfurado, dividiu-se a vazão de ar, comprimento, largura e área de seção perfurada pela quantidade de dutos estabelecida.

m) Tempo de resfriamento da massa de grãos

$$t = (16,6 \times m_g \times C_g) \div (Q_t \times D_a \times C_a) \quad 22)$$

onde:

- t: Tempo, em horas;
- m_g: Massa total de grãos, em toneladas;

- C_g : Calor específico do grão, em kJ/kg x °C;
- Q_t : Fluxo de ar total, em m³/min;
- D_a : Densidade do ar, em kg/m³;
- C_a : Calor específico do ar, em em kJ/kg x °C.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 DIMENSIONAMENTO DOS SILOS E SISTEMAS DE AERAÇÃO

Apresenta-se, nas Tabelas 6 e 7 abaixo, os resultados dos cálculos de dimensionamento dos silos para as duas configurações analisadas (um silo com capacidade total da produção e um sistema de armazenamento com sete silos) e dos sistemas de aeração.

Tabela 6. Altura, diâmetro, volume e capacidade estática dos silos analisados.

Tabela 6: Altura, diâmetro, volume e capacidade estática dos silos analisados.					
Situação	Inicial		Sete Silos		
Volume do cilindro (m³)	291,14		41,59		
Relações diâmetro:altura (m:m)					
1:1	7,18	7,18	3,76	3,76	
5:3	8,52	5,11	4,45	2,67	
1:2	5,70	11,41	2,98	5,96	
1:10	3,33	33,35	1,74	17,43	
Altura do cone (m)					
1:1	2,02		1,05		
5:3	2,39		1,25		
1:2	1,60		0,84		
1:10	0,94		0,49		
Volume do cone (m³)					
1:1	27,24		3,89		
5:3	45,41		6,49		
1:2	13,62		1,95		
1:10	2,72		0,39		
Volume total do silo (m³)					
1:1	318,38		45,48		
5:3	336,55		48,08		
1:2	304,76		43,54		
1:10	293,86		41,98		
Capacidade estática corrigida (t)					
1:1	251,52		35,93		
5:3	265,87		37,98		

1:2	240,76	34,39
1:10	232,15	33,16

Fonte: Autores (2026).

Tabela 7. Dimensionamento dos sistemas de aeração para a relação diâmetro:altura 5:3.

Situação	Inicial	Sete Silos
Área do piso (m²) - Calculada	56,96	15,57
Área do piso (m²) - Arredondada	57	16
Capacidade estática do silo (t)	230	33
Fator de fluxo de ar (F)	0,1	0,1
Vazão de ar (Q)		
m³/min	23,00	3,29
m³ de ar/min*m²	0,40	0,21
Pressão estática (cm.c.a.)	0,25	0,19
Pressão estática total (cm.c.a.)	2,30	0,91
Potência (cv)	0,20	0,011
Potência comercial (cv)	0,5	0,5
Velocidade máxima do ar (m/min)	10	10
Superfície perfurada (m²)	2,30	0,33
Máxima velocidade do ar admissível (m/min)	350	350
Seção transversal do duto principal (m²)	0,066	0,009

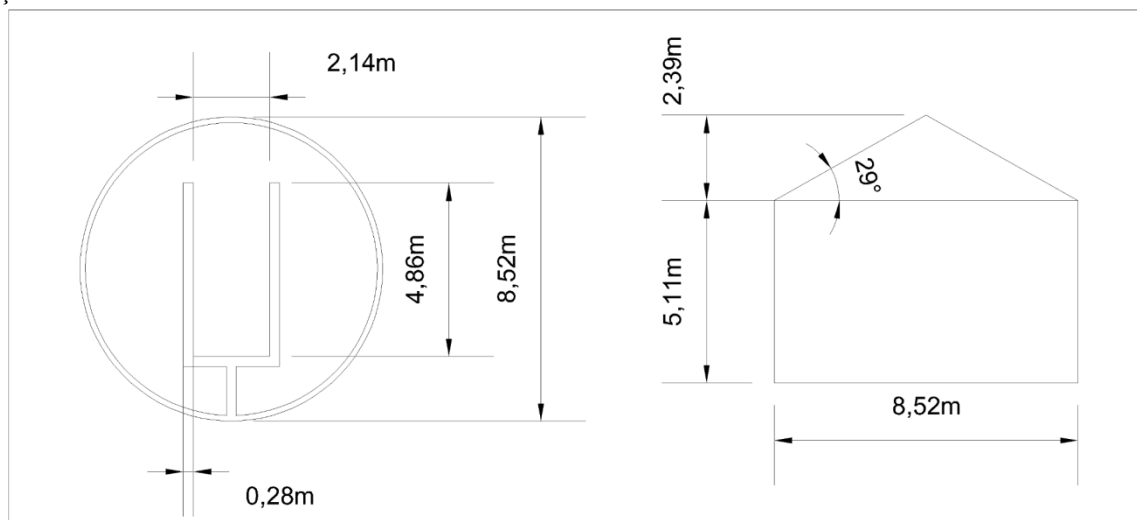
Largura do duto principal (m)	0,26	0,097
Altura do duto principal (m)	0,26	0,097
Comprimento dos dutos perfurados (m)	8,97	3,39
Quantidade de dutos	2	1
Espaçamento entre dutos (m)		
1,2	1,02	-
1,5	2,56	-
1,7	3,58	-
Vazão de ar na saída de cada duto perfurado (m³/min)	11,50	3,3
Comprimento de cada duto perfurado (m)	4,49	3,391
Área da seção perfurada de cada duto (SPi)	1,150	0,329
Largura dos dutos perfurados (l)	0,26	0,097
Calor específico - Trigo (kJ/kg*°C)*	1,45	1,45
Calor específico do Ar (kJ/kg*°C)	1,00	1
Densidade do ar (kg/m³)	1,15	1,15
Tempo de resfriamento da massa de grãos (horas)	209	209

Fonte: Autores (2026). *Pabis *et al.*, 1998 apud Corrêa, P. C.; Resende, O.; Goneli, A. L. D., 2005.

A relação diâmetro:altura selecionada para os cálculos do sistema de aeração foi a de 5:3, pois é a que apresenta menor altura da massa de grãos, e, conseqüentemente, diminui os custos energéticos. Assim,

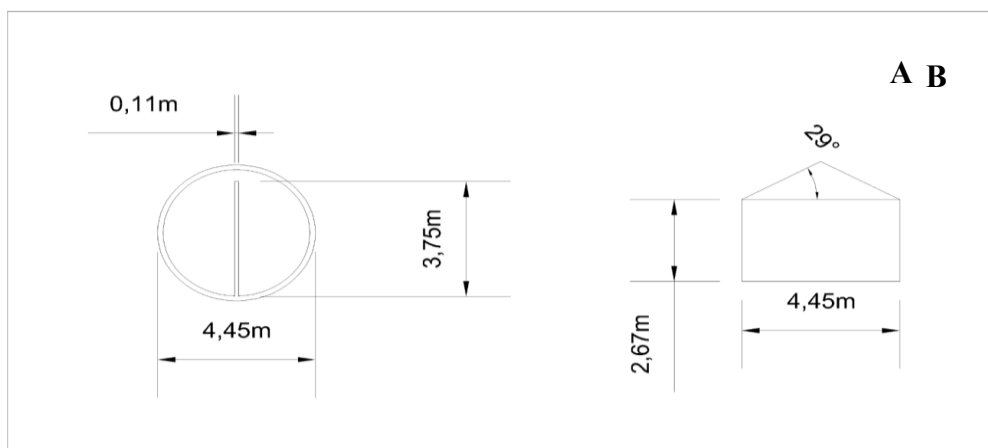
para avaliação do fenômeno de migração de água no silo, serão analisados os silos de altura 5.11 m e 8.52 m de diâmetro (inicial) e o de altura de 2.67 m e 4.45 m de diâmetro. Estes apresentaram volume total de 291.14 m³ e 41.59 m³ e capacidade estática de 230 t e 33 t, respectivamente (acréscimo de 15% em relação a C_e inicial). Observou-se, nesse caso, que as potências requeridas para ambos os ventiladores ficaram abaixo dos 0,5 cv, com a configuração inicial apresentando, como esperado, maior pressão estática total. Para a configuração com um silo, seriam necessários dois dutos para melhor uniformização da vazão de ar, enquanto os setes silos necessitam somente de um duto para tal (Hilborn, 1976 apud Silva *et al.*, 2008). Dessa forma, não houve resultados para o espaçamento na configuração de sete silos, enquanto que para a primeira, a relação de espaçamento que melhor se adequa a situação seria a de 1.5, com os devidos ajustes construtivos, pois os dutos estarão equidistantes (Figuras 4 e 5).

Figura 4. Representação das medidas dos silos dimensionados e dos dutos perfurados para (A) situação inicial e (B) para a configuração em sete silos.



Fonte: Autores (2026).

Figura 5. Representação das medidas dos silos dimensionados e dos dutos perfurados para (A) situação inicial e (B) para a configuração em sete silos.

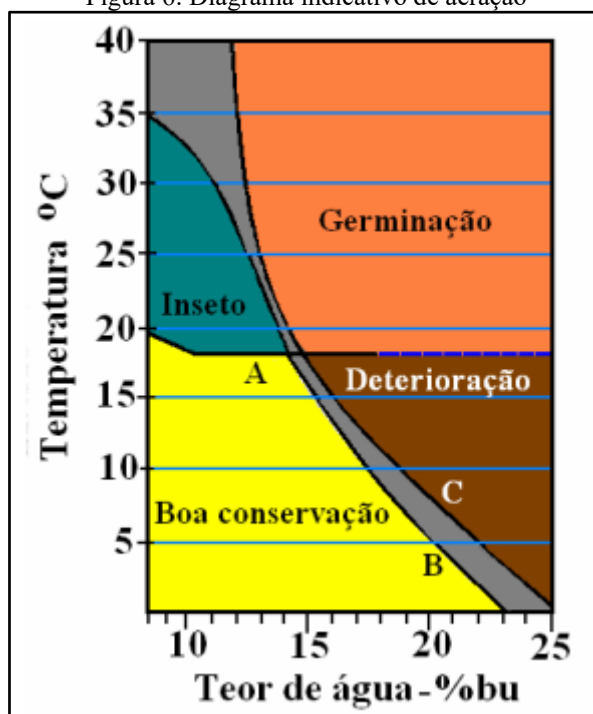


Fonte: Autores (2026).

3.2 ANÁLISE SOBRE O FENÔMENO DA MIGRAÇÃO DE ÁGUA DENTRO DOS SILOS

A unidade armazenadora de grãos de trigo deve ser monitorada constantemente para melhor conservação do produto no município de Lapa, especialmente devido às variações térmicas características da região, como observado na caracterização climática do local, que apresenta temperatura média do ambiente abaixo dos 19° C e UR média de 72%. Dessa forma, a aeração da massa de grãos de trigo será realizada com intuito de resfriá-la, uma vez que o produto passará por sistema de secagem e, muito provavelmente, apresentará temperatura maior que a temperatura ambiente. Assim, o operador deve acionar o ventilador até que o produto armazenado atinja os valores de temperatura e teor de umidade indicados para melhor conservação, isto é, abaixo dos 20° C (Figura 6).

Figura 6. Diagrama indicativo de aeração

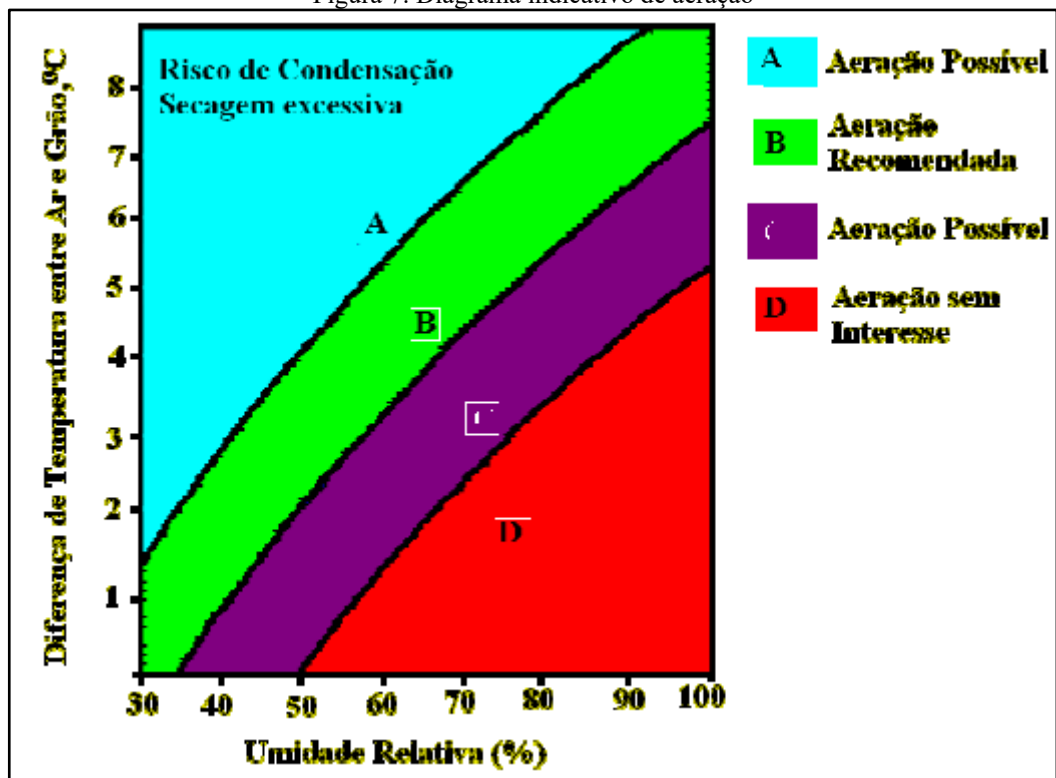


Fonte: Silva *et al.*, 2008.

Essas características climáticas favorecem a ocorrência do fenômeno de migração de umidade na unidade armazenadora. Como mencionado anteriormente, a temperatura ambiente estará abaixo da temperatura da massa de grãos. Assim, se esta temperatura não estiver uniformizada e semelhante à do ambiente, o ar próximo às paredes do silo ficará mais frio que o ar no centro da massa de grãos, o que provocará uma convecção de baixo para cima, formando zonas de condensação de vapor d'água na camada superior do produto. Nesse contexto, o operador deverá estar atento ao sistema de termometria e avaliar os momentos ideais para acionar o ventilador, verificando os parâmetros de diferenças de temperatura da massa de grãos e a temperatura ambiente, além da variação diárias da UR do ar ambiente (Figura 7). Para Lapa, sugere-se acionar o sistema de aeração somente durante o dia, observado que a UR média esteja

abaixo dos 70% e a temperatura da massa de grãos esteja entre 3 a 7° C acima do valor da temperatura ambiente.

Figura 7. Diagrama indicativo de aeração



Fonte: Silva *et al.*, 2008.

Outro aspecto a ser observado diz respeito à espessura da camada de grãos. Quanto maior a espessura, maior a intensidade da convecção de correntes naturais de ar. Verifica-se, portanto, que dividir a quantidade de silos em sete propicia uma melhor uniformização da temperatura da massa de grãos de trigo. Além disso, o preenchimento das camadas é intermitente e ocorre de maneira escalonada entre os dias da semana, enquanto que o silo de camada única será preenchido de uma só vez, o que pode provocar gradientes de umidade durante o processo de aeração, retomando à observação da espessura da camada de grãos.

4 CONCLUSÃO

A relação diâmetro:altura de 5:3 foi a mais indicada para sistemas de aeração, visto que apresentou a menor altura da camada de grãos, o que propicia a redução do fluxo de ar a ser insuflado no silo e consequente a queda nos custos de energia.

Com a configuração em sete silos obteve-se resultados melhores em comparação a um silo, visto que promove uma melhor uniformização da temperatura da massa de grãos, contribuindo para a preservação da qualidade do trigo armazenado por um maior período.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARNEIRO, L. M. T. A. *et al.* Diferentes épocas de colheita, secagem e armazenamento na qualidade de grãos de trigo comum e duro. **Revista Bragantia**, v.64, n.1, p.127-137, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/9FSpLymnyHPBVvvGT9CX3Kw/?lan>. Acesso em: 22 de fev. 2026.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: Safra 2025/26**. Brasília, DF: CONAB, 2026. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-graos.html>. Acesso em: 15 de fev. 2026.

_____. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos (12º levantamento)**. Brasília, DF: CONAB, 2025. Disponível em: https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/12o-levantamento-safra-2024-25/e-book_boletim-de-safras-12o-levantamento_2025.pdf. Acesso em: 22 de fev. 2026.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 13, safra 2025/26, n. 11 décimo primeiro levantamento, agosto 2026. Acesso em: 25 de ago. 2026.

CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D. **Ângulo de repouso dos produtos agrícolas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa - UFV (Apostila), 2005. 16 págs.

_____. **Massa específica dos produtos agrícolas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa - UFV (Apostila), 2005. 13 págs.

CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; GONELI, A. L. D. **Propriedades térmicas de produtos agrícolas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa - UFV (Apostila), 2005. 12 págs.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Clima**. s.d. Disponível em: <https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>. Acesso em: 16 fev. 2026.

_____. **Trigo: pós-produção**. Online, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/trigo/pos-producao>. Acesso em: 22 de fev. 2026.

FILHO, E. F. *et al.* Qualidade de grãos de trigo submetidos a diferentes condições de armazenamento. **Revista Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, RS, v. 18, n. 1, p. 25-35, 2012. Disponível em: <https://revistapag.agricultura.rs.gov.br/ojs/index.php/revistapag/article/view/186/160>. Acesso em: 15 de fev. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **IBGE Cidades e estados: Lapa (PR)**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/lapa.html>. Acesso em: 15 fev. 2026.

_____. **Malhas Territoriais:** malhas municipais. 2024. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2024/UFs/PR/PR_Municipios_2024.zip. Acesso em: 15 fev. 2026.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Banco de Dados Meteorológicos (2016-2025)**. Brasília, DF: INMET, 2026. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br>. Acesso em: 15 de fev. 2026.

MARTHA, A. L. M. D.; LEITE, R. A. **Propriedades físicas de grãos de trigo Mourisco (*Fagopyrum esculentum* Moench) durante a secagem**. 2018. 29 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS. 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/2947/1/AlvaroLuisMachadoDallaMartha%20-%20RafaelAraujoLeite.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2026.

NITSCHKE, P. R. *et al.* **Atlas climático do estado do Paraná**. Londrina, PR: Instituto Agrônômico do Paraná, 2019. 210 p. Disponível em: <https://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/agrometeorologia/atlas-climatico/atlas-climatico-do-parana-2019.pdf>. Acesso em: 21 de fev. 2026.

OKA-FIORI, C; SANTOS, L. J. C. **Atlas geomorfológico do Estado do Paraná**. Curitiba, PR: Universidade Federal do Paraná - UFPR, 2006. 63 p. Disponível em: https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-04/atlas_geomorforlogico_parana_2006.pdf. Acesso em: 21 de fev. 2026.

RIBEIRO, D. M. *et al.* Propriedades térmicas de grãos de trigo: determinação e modelagem. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 31, n. 2, p. 462-467, mar./abr., 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/J3BFxVWbCDhNFqrVdxmzRJm/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 15 de fev. 2026

SILVA, J. de S. e. *et al.* Aeração de grãos armazenados. In: SILVA, Juarez de Sousa e (Org). **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2008. cap. 11, p. 269-295.

_____. Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. In: SILVA, J. de S. e. (Ed.). **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. 2. ed. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2008. 417-500 p.