

Limite crítico ambiental de fósforo (LCA-P) em solos utilizados para distribuição de dejetos suínos

Environmental critical limit of phosphorus (LCA-P) in soils used for the distribution of swine manure

Camila Griffante¹, Carlos Rodolfo Pierozan²

RESUMO: O objetivo deste estudo foi avaliar os teores de fósforo em solos utilizados para a distribuição de dejetos suínos e identificar possíveis fatores que predisõem a ultrapassar o Limite Crítico Ambiental para P (LCA-P). Foram avaliados os teores de fósforo em 191 amostras de solo obtidas ao longo de oito anos em 26 propriedades (duas amostras por propriedade, com intervalo de três a quatro anos). Metade das propriedades praticava a produção de suínos e a outra metade pertencia a terceiros que cederam suas terras para aplicação de dejetos. Apenas 7,32% das amostras apresentaram um LCA-P acima de 20% em relação ao limite estabelecido pela legislação, 2,09% apresentaram até 20% acima do LCA-P e 90,59% ficaram abaixo deste limite. Quanto mais distante a pocilga de suínos do local de coleta da amostra de solo, menor o teor de fósforo ($P \leq 0,05$), e quanto maior o número de suínos na granja, maior o teor de fósforo nas amostras de solo inerentes ao proprietário da granja ($P \leq 0,05$). Na região estudada, os solos que recebem dejetos suínos estão, em geral, dentro dos limites de LCA-P estabelecidos pelo órgão ambiental.

Palavras-chave: Adubação fosfatada; Instrução normativa; Legislação ambiental; Suinocultura.

ABSTRACT: The aim of this study was to evaluate the phosphorus levels in soils used for apply swine manure and to identify possible factors that predispose them to exceed the Environmental Critical Limit for P (LCA-P). Phosphorus levels were assessed in 191 soil samples taken over eight years from 26 properties (two samples per property, three to four years apart). Half of the properties practiced pig production and the other half belonged to third parties who gave up their land to incorporate manure. Only 7.32% of the samples showed an LCA-P above 20% in relation to the limit established by the legislation, 2.09% showed up to 20% above the LCA-P and 90.59% were below this limit. The further the pigsty from the soil sample collection site, the lower the phosphorus content ($P \leq 0.05$), and the greater the number of pigs on the farm, the higher the phosphorus content in the soil samples inherent to the farm owner ($P \leq 0.05$). In the region, the soils that receive pig manure are generally within the LCA-P limits set by the environmental agency.

Keywords: Phosphate fertilization; Normative instruction; Environmental legislation; Pig farming.

Autor correspondente: Carlos Rodolfo Pierozan
E-mail: carlosrpierozan@gmail.com

Recebido em: 2025-09-11
Aceito em: 2025-12-12

¹ Acadêmica do Curso Bacharelado em Agronomia no Instituto Federal Catarinense (IFC), Videira (SC), Brasil.

² Doutor em Ciência Animal pela Universidade Estadual de Londrina (UEL). Professor do Instituto Federal Catarinense (IFC), Campus Videira, Videira (SC), Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Em 2025 Santa Catarina consolidou sua posição de destaque no abate de suínos, com 32,94% do abate nacional. O estado é detentor da primeira colocação tanto em produção quanto em exportação (ABPA, 2025). A suinocultura é uma importante atividade econômica de Santa Catarina, especialmente na mesorregião oeste catarinense (Epagri, 2025), uma vez que é a atividade agropecuária que mais tem gerado receitas para o estado nos últimos anos (Toresan *et al.*, 2025).

Nesse contexto, a destinação correta dos dejetos de suínos é uma questão de grande relevância para a sustentabilidade da atividade, que envolve desafios ambientais e oportunidades. Os dejetos, também denominados de efluentes suinícolas, são constituídos por fezes, urina, desperdícios de água, ração, resíduos de medicamentos e microrganismos patogênicos (Amaral *et al.*, 2024). Muitos produtores têm utilizado esses dejetos como fonte energética em suas propriedades (Oliveira 2023; Orth; Frigo; Furtado., 2024), e sua aplicação no solo é uma prática comum no âmbito da fertilização de culturas agrícolas.

Entretanto, quando adotada de forma incorreta, essa prática pode ter consequências negativas sobre a qualidade do solo e dos recursos hídricos, especialmente no que diz respeito aos níveis de fósforo presentes nos dejetos. O fósforo é um nutriente essencial para o crescimento das plantas, mas seu excesso pode resultar em problemas de poluição ambiental. A distribuição excessiva dos dejetos no solo pode acarretar acúmulo excessivo de P, eventual lixiviação para os corpos d'água próximos, predominantemente na forma de ortofosfato solúvel (PO_4^{3-}), levando à eutrofização (Antes *et al.*, 2024). Isso está intimamente relacionado com o volume e a composição dos dejetos produzidos no local. O primeiro varia significativamente de acordo o sistema de produção da granja e o manejo de água nas instalações, enquanto que a composição do dejetos sofre grande influência da dieta dos animais, seu aproveitamento pelo sistema digestivo, além da quantidade de água usada na granja (Amaral *et al.*, 2024).

As legislações ambientais brasileira e estadual estabelecem diretrizes e normas para a gestão adequada dos resíduos agrícolas, visando proteger o meio ambiente e promover a sustentabilidade rural (Brasil, 2011; IMA, 2022). Avaliar os níveis de fósforo nos solos é uma etapa importante para garantir o cumprimento dessas regulamentações e promover práticas agrícolas sustentáveis, especialmente em regiões com alta produção de suínos. Além disso é importante averiguar potenciais fatores associados aos elevados níveis desse nutriente nas amostras de solo. Essas avaliações podem prover *insights* sobre a magnitude e os potenciais impactos dessa prática sobre a fertilidade do solo, a qualidade da água e a saúde dos ecossistemas locais. A partir desses conhecimentos é possível promover ações e políticas públicas em favor da sustentabilidade da suinocultura e da proteção do meio ambiente.

O objetivo deste estudo foi avaliar os níveis de fósforo em solos de propriedades do Vale do Rio do Peixe (microrregião de Joaçaba) que realizam a aplicação de dejetos de suínos, e identificar possíveis fatores que predispõe a exceder o limite crítico ambiental de P (LCA-P).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo não demandou submissão ao Comitê de Ética em Uso de Animais (CEUA), visto que utilizou uma base de dados já consolidada, sem qualquer visualização ou manipulação animal.

Este estudo foi realizado com base na Instrução Normativa nº 11 (IN nº 11) do Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina (IMA-SC), que fornece recomendações técnicas para a aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e para o monitoramento da qualidade do solo adubado (IMA, 2022).

Para a avaliação da qualidade do solo nas áreas que receberam a aplicação desses fertilizantes, levou-se em consideração o Limite Crítico Ambiental de Fósforo (LCA-P) que conforme a equação proposta pela IN nº 11 do IMA estabelece o teor máximo aceitável de P extraível na camada de 0 a 10 cm do solo (IMA, 2022). A equação utilizada é a seguinte:

$$\text{LCA} - \text{P} = 40 + \text{argila (\%)} \quad (1)$$

Os dados obtidos foram analisados conforme os padrões de limite crítico estabelecido pelo órgão ambiental, a fim de avaliar a aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e os efeitos sobre a qualidade do solo.

As seguintes medidas são necessárias tendo em vista os níveis de P extraíveis por solução Mehlich-1 (IMA, 2022):

- a) Para nível de P extraível (Mehlich-I) de até 20% acima do LCA-P: limitar a aplicação de P em até 50 % da dose de manutenção recomendada para a cultura a ser adubada.
- b) Para nível de P extraível (Mehlich-I) que excedam 20% acima do LCA-P: deve-se proibir a utilização de fertilizantes orgânicos provenientes de suínos ou e quaisquer outros resíduos ou fertilizantes de outras fontes, até que os níveis de P sejam reduzidos para um valor aceitável de LCA-P.

2.1 LOCAL DO ESTUDO

Este estudo englobou amostras de solo de propriedades pertencentes à região do Meio Oeste Catarinense, mais especificamente, na Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe, com território de 5.238 km², perímetro de 425 km² e população estimada em 385.160 habitantes, distribuídos 21% na zona rural e 79% na urbana (Comitê Peixe, 2024).

Ainda conforme dados do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe, a bacia é integrada por 28 municípios: Água Doce, Alto Bela Vista, Arroio Trinta, Caçador, Calmon, Campos Novos, Capinzal, Erval Velho, Fraiburgo, Herval D'Oeste, Ibiam, Ibicaré, Iomerê, Ipira, Joaçaba, Lacerdópolis, Luzerna, Macieira, Ouro, Peritiba, Pinheiro Preto, Piratuba, Rio das Antas, Salto Veloso, Tangará, Treze Tílias, Videira e Zortéa (Comitê Peixe, 2024). As amostras de solo utilizadas neste estudo foram obtidas nos municípios de Videira, Arroio Trinta e Iomerê.

A escolha desses municípios foi fundamentada na importância econômica da suinocultura para a região. Esses municípios estão localizados em uma área que concentra uma significativa parcela da produção estadual. Videira, por exemplo,

destaca-se como um importante polo agroindustrial, com uma forte presença da suinocultura em seu setor econômico, sendo o município com segundo maior plantel do estado, totalizando 539,20 mil cabeças produzidas em 2024 (Epagri, 2025). Iomerê e Arroio Trinta (nono e trigésimo terceiro colocados do estado no ranking por efetivo do rebanho suíno, respectivamente), apesar de menores em tamanho, possuem relevância estratégica na cadeia produtiva suinícola devido à quantidade de propriedades dedicadas à criação de suínos, com um plantel de 165.000 e 93.500 cabeças, respectivamente no ano de 2023 (IBGE, 2024).

2.2 OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS DE SOLO

As amostras de solo foram obtidas seguindo recomendações da Instrução Normativa nº 11 (IMA, 2022). Em cada talhão foi obtida, no mínimo, uma amostra composta de solo, camada 0 - 10cm, com identificação de coordenada planas UTM (Datum SIRGAS- 2000). Um talhão foi dividido a cada cinco hectares. Esse monitoramento ocorre no início do processo de licenciamento, sendo repetido a cada quatro anos para renovação da licença ambiental de operação (IMA, 2022).

As amostras foram coletadas por profissionais habilitados dos laboratórios contratados pelos proprietários das áreas de estudo. Utilizando o mesmo laboratório para todas as amostras. Os laboratórios precisam estar acreditados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) ou em laboratórios reconhecidos pelo IMA, para variáveis de interesse.

As coletas de solo ocorreram no período de 2017 a 2024, seguindo o período de renovação das respectivas licenças ambientais dos proprietários. Foram realizadas em 13 propriedades que possuem a atividade de suinocultura em operação e 13 propriedades de terceiros, que são denominados no processo de licenciamento como o termo 'cedentes', uma vez que cedem sua área para a aplicação de fertilizantes oriundos da produção animal. Os sistemas de produção desenvolvidos pelas propriedades que possuíam a atividade de suinocultura eram os seguintes: granja de suínos – terminação; e unidades de produção de leitão – UPL.

O *software* Microsoft Excel, versão 2016, foi utilizado para a realização do sorteio dos cedentes. Primeiramente, a cada cedente foi atribuído um número aleatório, pelo qual apenas um cedente foi sorteado para participar do estudo. Utilizou-se a função 'aleatório entre', onde esta busca um valor aleatório entre um valor mínimo e um valor máximo, e sendo escrita da seguinte forma: = ALEATÓRIOENTRE (valor mínimo; valor máximo).

Desta forma em cada uma das 26 propriedades selecionadas, foram coletadas entre três e cinco amostras de solo, sendo que cada coleta foi realizada duas vezes ao longo do período de oito anos (entre 2017 e 2024).

2.3 VARIÁVEIS ANALISADAS

Durante o estudo, avaliou-se diversas variáveis relacionados às propriedades químicas e físicas do solo e à influência da criação de suínos, como os níveis de Fósforo

(P) e Potássio (K) em mg/dm^3 e %, o número de animais, a distância das pocilgas, a área total em hectares, o índice de LCA - P, a porcentagem de argila, os valores de pH, a matéria orgânica (%), a concentração de alumínio, além dos micronutrientes zinco e cobre (mg/dm^3). Essas variáveis são essenciais para avaliar questões relacionadas a fertilidade, a composição e a influência da proximidade das pocilgas sobre a qualidade do solo nas áreas estudadas.

Também procedeu-se com a aferição da distância entre as pocilgas e os pontos de aplicação de dejetos no solo, com o objetivo de verificar as concentrações conforme a proximidade. Esse processo foi realizado através da inserção de pontos de referência no Google Maps, que permitiu a medição das distâncias entre as áreas de aplicação dos dejetos e as pocilgas.

2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para todas as análises estatísticas (SAS® ONDEMAND FOR ACADEMICS; Release: 3.81 - Enterprise Edition - SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, 2022) a amostra de solo foi considerada a unidade observacional.

Para as variáveis categóricas as frequências relativas e absolutas em cada categoria foram obtidas (Proc Freq do SAS) e, para variáveis numéricas medidas de tendência central (média e mediana) e de dispersão (desvio-padrão, quartis, amplitude e coeficiente de variação) foram calculadas (Proc Means Univariate Boxplot do SAS).

A fim de identificar possíveis fatores relacionados com os níveis de P (mg/dm^3) e K (%) nos solos, ambas variáveis foram consideradas dependentes, enquanto os possíveis fatores de influência incluíram 'número de animais na granja', 'distância do galpão até o ponto de coleta da amostra (m)', 'tamanho da propriedade (ha)', consideradas variáveis independentes numéricas, e 'tipo da propriedade onde a amostra foi coletada' (proprietário da granja ou propriedade cedente) foi considerada variável independente categórica.

As variáveis dependentes foram verificadas quanto sua distribuição (Proc SORT UNIVARIATE dos SAS), ambas seguindo distribuição Gamma (simetria positiva à direita, e todos os valores maiores que 0). Optou-se por utilizar a variável K (%) em detrimento de K (mg) pois esta última não se adequou a qualquer distribuição. Após análise dos gráficos Box-Plot, para a variável P (mg/dm^3) uma observação foi excluída (289,14 mg/dm^3) por assumir-se que houve erro de digitação ou de registro no sistema de onde os dados foram coletados, uma vez que esse ponto era quase duas vezes maior do que o segundo maior valor (149,16 mg/dm^3). Para a variável K (%), duas observações foram excluídas por apresentarem 2,5 desvios padrão acima da média (21,8 e 30%) e, após as exclusões, o gráfico e a estatística da distribuição Gamma melhoraram.

Foram performados modelos lineares generalizados para cada variável dependente. Cada modelo foi customizado utilizando-se individualmente cada variável independente (Proc GENMOD dos SAS), com função de ligação Logarítmica (Log), e efeitos parametrizados por codificação GLM. Foram executados três modelos para cada variável dependente, dois deles de acordo com a primeira ou segunda coleta de solo na propriedade, e o terceiro considerando ambas as coletas. Foram calculadas para cada modelo as Estimativas de Máxima Verossimilhança, estatística Wald Chi-Square, erro

padrão e intervalo de confiança 95%, sendo considerado significativo quando P-valor \leq 0,05 observando-se esta estatística. O critério para boa construção dos modelos foi o desvio (*deviance*) dividido pelos graus de liberdade, além do Critério de Informação de Akaike (AIC) e Critério de Informação de Bayesiano (BIC), sendo que quanto menor os valores, melhor é a construção do modelo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no presente estudo fornecem informações importantes sobre os níveis de fósforo (P) e potássio (K) nos solos estudados, em diferentes contextos de aplicação de dejetos suínos, incluindo o uso de tratores com distribuidores, sistemas de aspersão e caminhões, e sob diferentes condições de coleta, influenciadas por fatores climáticos, como a presença de sol ou chuvas nas últimas 24 horas que se sucedeu a coleta.

As Figuras 1 e 2 exploram as relações entre fósforo (P) e potássio (K) com a distância dos galpões de animais, conforme a coleta do solo (primeira ou segunda). Para o P, observa-se que, à medida que a distância do galpão de criação de animais aumenta, a concentração desse nutriente no solo diminui.

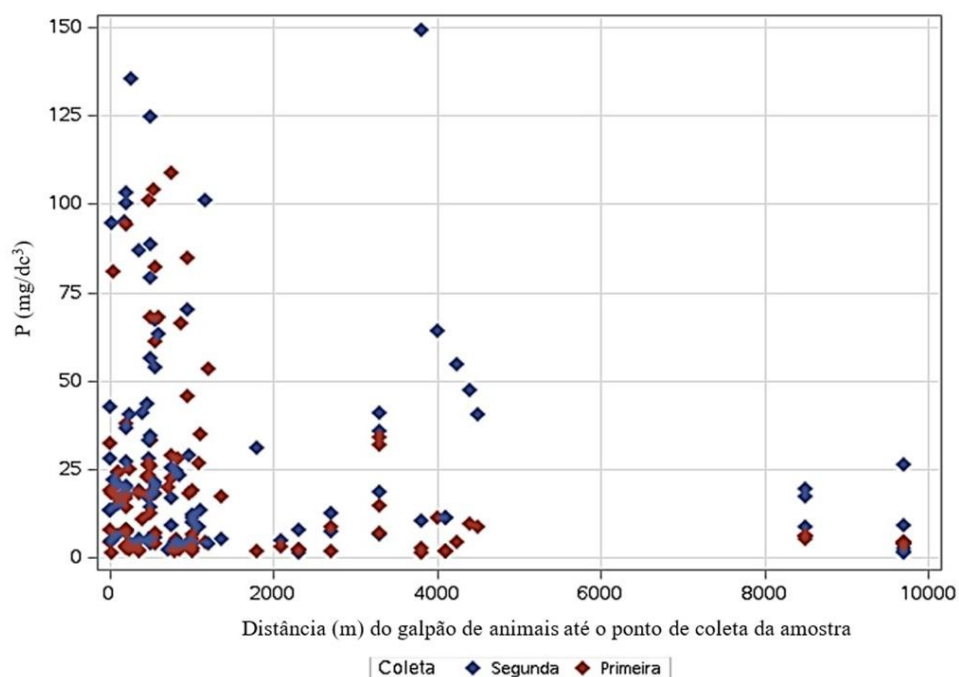


Figura 1. Relação entre P (mg/dm^3) na amostra de solo e a distância (m) do galpão de animais, de acordo com a coleta do solo (primeira ou segunda)

Nas proximidades do galpão, os valores de P são mais elevados e os pontos apresentam maior aglomeração. A partir de 2.000m de distância, os valores de fósforo permaneceram abaixo de 75 mg/dm^3 , exceto para um ponto de coleta. Isso indica que a concentração de fósforo tende a diminuir à medida que ocorre o afastamento dos galpões, evidenciando uma sobrecarga de nutrientes nas áreas mais próximas, provavelmente devido à maior aplicação de dejetos. No entanto, essa diminuição não é

linear e varia entre as coletas, o que pode estar relacionado ao manejo diferente realizado entre os anos.

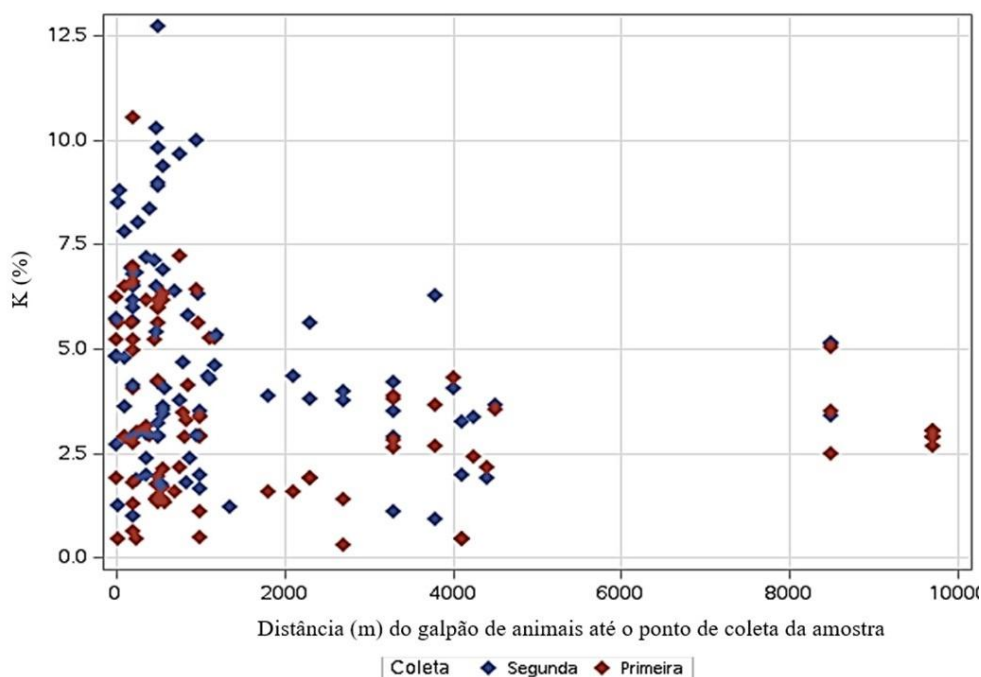


Figura 2. Relação entre K (%) na amostra de solo e a distância (m) do galpão de animais, de acordo com a coleta do solo (primeira ou segunda)

Em relação K, a tendência é semelhante à do fósforo: quanto maior a distância do galpão, menor é a porcentagem de K no solo. Percebe-se que nos pontos de coleta mais distantes dos galpões obteve-se menores porcentagens de K, especialmente na segunda coleta. A partir de 2.000 m de distância, os pontos de K se mantêm abaixo de 7,5 %.

Destaca-se que o K se encontra à disposição nos talhões de distribuição do fertilizante, onde pode ocorrer um acúmulo deste macro nutriente em virtude da não absorção do nutriente pelas culturas cultivadas na região (Sardans; Peñuelas, 2021). Todavia, deve-se levar em consideração que a maioria dos solos das regiões meio-oeste e oeste de Santa Catarina são classificados como solos eutróficos, boa parte cujo material de origem são rochas basálticas (Rosini *et al.*, 2023), fontes de K (Conceição *et al.*, 2021; Swoboda; Döring; Hamer, 2022).

Os resultados obtidos nas amostras de solo coletadas entre 2017 à 2024, abrangendo duas coletas em 26 propriedades, fornecem um panorama detalhado da qualidade e composição do solo em áreas que recebem fertilizantes de suínos. Os resultados revelam uma média de P de 25,49 mg/dm³, com um desvio padrão de 29,60, indicando uma variabilidade considerável nos teores de fósforo das amostras. Seu valor máximo encontrado foi de 149,16 mg/dm³, sendo este 585,17% maior que a média (Tabela 1). O coeficiente de variação (CV) para o fósforo foi de 116,13%, sugerindo que há grandes diferenças nas concentrações de P entre as amostras coletadas. Para os níveis de potássio no solo a variação entre amostras foi mais discreta.

Tabela 1. Valores descritivos das variáveis numéricas contínuas referentes a 191 amostras de solo coletadas em locais que receberam dejetos suínos, realizadas em 26 propriedades ao longo dos anos 2017 e 2024

Variável	N	Média	DP	Mínimo	1 quartil	Mediana	3 quartil	Máximo	CV
Fósforo -P (mg/ dm ³)	191	25,49	29,60	1,3	4,74	16,63	31,94	149,16	116,13
Potássio -K (mg/ dm ³)	191	251,15	158,60	19,84	119,85	248,6	315,98	896,11	63,15
Potássio -K (%)	172	4,14	2,39	0,3	2,395	3,645	5,69	12,73	57,73
Número de animais	191	1300	884,45	200	570	920	1700	3000	68,02
Distância da pocilga	191	1772,86	2566,72	0	260	585	2300	9700	144,78
Hectares	191	3,13	1,79	0,29	1,59	3	4,6	10	57,33
LCA - P	191	78,94	14,59	55	68	75	90	119	18,49
Argila (%)	191	38,94	14,59	15	28	35	50	79	37,48
H2O- pH	191	5,52	0,52	4,3	5,2	5,5	5,9	6,8	9,48
pH - SMP	191	5,80	0,56	4,5	5,4	5,8	6,1	7,4	9,59
Matéria orgânica (%)	191	3,39	1,24	0,81	2,6	3,29	4,28	9,12	36,59
Alumínio (cmolc/dm ³)	191	0,49	0,86	0	0,01	0,01	0,6	3,61	176,21
Cálcio (cmolc/dm ³)	191	9,38	10,49	1,68	4,68	6,96	9,8	94,9	111,90
Cálcio (%)	174	44,18	20,91	6,5	32,13	45,685	54,89	178,3	47,34
Magnésio (cmolc/dm ³)	191	3,07	2,28	0,59	1,87	2,63	3,66	22,19	74,24
Magnésio (%)	174	16,09	6,794	2,14	12,39	15,93	19,89	43,7	42,23
Al + H (cmolc/dm ³)	191	6,65	4,52	0,87	3,89	5,49	8,3	24,41	67,92
CTC (cmolc/dm ³)	191	13,57	11,93	3,72	7,96	10,82	13,87	107,84	87,92
CTC pH7 (cmolc/dm ³)	182	17,53	4,271	10,4	14,45	17,21	19,46	29,95	24,37
Zinco (mg/ dm ³)	191	16,72	13,25	0,91	7,59	14,45	21,37	74,51	79,22
Cobre (mg/ dm ³)	191	20,82	37,32	0,64	9,26	12,17	18,68	263,23	179,25
Carbono	191	19,74	7,24	4,71	15	19,1	24,88	53,02	24,88

DP = desvio padrão. CV = coeficiente de variação. LCA- P = limite crítico ambiental do fósforo. SMP = método de análise e correção de acidez do solo. Al + H = acidez potencial do solo. CTC = capacidade de troca de cátions.

A média da matéria orgânica no solo foi de 3,39%, o que é um indicador positivo para a fertilidade do solo. Esse aporte de material orgânico no contexto agrícola depende dos tipos de cultivos adotados e das práticas de uso e manejo do solo (Dick *et al.*, 2009; Rosa *et al.*, 2017). Já a presença de alumínio (média de 0,49 cmolc/dm³) indica possível acidificação do solo, um fator a ser considerado no planejamento que sucede os plantios das culturas, pois a maioria das espécies de plantas não alcançam seu potencial máximo de produção quando cultivadas em solos com elevada acidez, isto ocorre devido à toxicidade do Al e à deficiência nutricional (Kochian *et al.*, 2015; Goulding, 2016; Barbosa *et al.*, 2017).

A maioria das amostras de solo obtidas foram de propriedades com granjas que praticavam a fase de terminação de suínos (86,39%) (Tabela 2). A maior concentração de propriedades estava localizada no município de Videira (64,40%). Com relação à produção vegetal nas propriedades avaliadas, maior parte possuía lavoura e pastagens, onde as lavouras tipicamente são de milho silagem e milho grão na região de estudo. Considerando que uma das formas de destinação dos dejetos de suínos é pela distribuição como fertilizante em áreas de lavoura ou pastagens, devem ser respeitados os limites e recomendações impostos pela legislação ambiental vigente (Antes *et al.*, 2024), e sempre adotando práticas agronômicas conservacionistas.

Tabela 2. Frequências absolutas e relativas das variáveis categóricas referentes a 191 amostras de solo em locais que receberam dejetos suínos, realizadas em 26 propriedades ao longo dos anos 2017 e 2024

Variável	Frequência absoluta (n)	Frequência relativa (%)
<i>Tipo de granja</i>		
Terminação	165	86,39
UPL ¹	26	13,61
<i>Tipo de propriedade</i>		
Cedente	91	47,64
Proprietário da granja	100	52,36
<i>Município</i>		
Arroio trinta	14	7,33
Iomerê	54	28,27
Videira	123	64,40
<i>Cultura</i>		
Lavoura	23	12,04
Lavoura e pastagens	130	68,06
Pastagens	37	19,37
Silvicultura e pastagens	1	0,52

¹ UPL = Unidade de Produção de Leitões

Os resultados demonstram que, em relação à primeira coleta, 6,19 % das amostras superou o LCA-P além de 20% determinado pela legislação, e somente 1,03 % superou o limite em até 20% (Tabela 3). Como o restante das amostras não superou o LCA-P, estavam aptas para a aplicação dos dejetos suínos como fertilizante agrícola de acordo com a normativa (IMA, 2022). Na segunda coleta observamos discreto aumento no número e porcentagem de amostras que superaram o LCA-P.

Tabela 3. Enquadramento de 191 amostras de solo obtidas em locais que receberam dejetos, de acordo com o nível de P extraível (Mehlich-I) em relação ao Limite Crítico Ambiental de Fósforo (LCA-P) no local de obtenção da amostra, de acordo com a Instrução Normativa n. 11 do Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina

Categoria de acordo com o P extraível	Frequência absoluta de amostras	Frequência relativa (%) de amostras
<i>Primeira coleta (n = 97)</i>		
Abaixo ou igual o LCA-P	90	92,78
Até 20% acima do LCA-P	1	1,03
Além de 20% o LCA-P	6	6,19
<i>Segunda coleta (n = 94)</i>		
Abaixo ou igual o LCA-P	83	88,30
Até 20% do LCA-P	4	4,26
Além de 20% o LCA-P	7	7,44

Corroborando com nossos resultados, Da Fré (2015) observou que dentre 500 análises de solo oriundas de municípios próximos, apenas uma amostra superou o LCA-P. Orlando Da Ros *et al.* (2017) constatou que, após realizar quatro aplicações de dejetos de suínos com uma concentração de 19,5 mg/dm³ de fosforo, o solo apresentou 18,6% do LCA-P, permitindo ainda aplicar 17 repetições da mesma dose sem exceder esse limite. Evidenciou-se também que 22,6% das áreas apresentavam um nível muito alto de disponibilidade, enquanto 7,3% registraram valores superiores a 20% do LCA-P (Orlando

Da Ros *et al.*, 2017). É importante frisar que a maior parte das áreas analisadas recebeu a aplicação de dejetos suínos durante um período que varia de 5 a 20 anos.

Destaca-se que em solos argilosos o efeito do fertilizante como adubo tende a ser nas camadas mais superficiais e quanto ao solo arenoso o efeito pode ser em camadas um pouco mais profundas, porém o maior impacto ocorre sempre nos primeiros 10 cm do solo, desta forma tende-se a utilização da camada de 0-10 cm como referência para as análises (Gatiboni, 2014). Assim, também é possível atingir a diminuição da concentração de fósforo através do revolvimento do solo, permitindo a mistura com camadas mais profundas visando a diluição do nutriente. Todavia, essa ação deve ser acompanhada de outras práticas agrônômicas que visem à conservação, como terraços, plantas de coberturas e implementação em curvas de nível (IMA, 2022).

Assis *et al.* (2022) observaram acréscimo na concentração de P ao longo dos anos na camada de 0-20 cm do solo, e que o nível deste nutriente que era de 14 mg/dm³ no início do experimento (2003) classificado como baixo segundo a recomendação de adubação para assegurar a produtividade das culturas (CQFS RS/SC, 2016), alcançou 78 mg/dm³ no ano de 2017, valor considerado muito alto. Neste mesmo estudo ainda é enaltecido que a maior concentração de P está nas camadas superficiais do solo, atingindo um valor médio de 94,5 mg/dm³ na camada de 0-10 cm, no ano de 2017, devido à baixa mobilidade do elemento no perfil do solo, permanecendo próximo do local onde foi aplicado.

Para as áreas que excederem o LCA-P deve-se tomar medidas como o plantio de culturas que apresentem alto nível de extração e exportação de P, como por exemplo, silagem de milho, milheto e sorgo forrageiras para corte (capim-elefante) e fenação (gramíneas). Já para as áreas que atingiram até 20% acima do LCA-P a quantidade de P a ser incorporada no solo não deve ultrapassar 50% da dose de manutenção sugerida para a cultura a ser adubada (IMA, 2022). Além disso, deve-se analisar outras alternativas para o tratamento de dejetos de suínos levando em consideração as limitações de áreas disponíveis para a aplicação destes.

Um dos objetivos do presente estudo foi investigar possíveis fatores associados a maiores níveis de P no solo. Considerando os dados apenas da segunda coleta de solo, e também das duas coletas em conjunto, observamos que granjas com mais suínos foram associadas a maior teor de fósforo nas amostras obtidas (0.0003 mg/dm³ de P para cada animal a mais) ($P < 0,01$).

A distribuição similar das amostras de solo entre proprietários da granja (47,64%) e cedentes (52,36%) foi proposital, a fim de averiguar possível associação desse fator com o nível de P nas amostras de solo.

A variável 'distância da pocilga' apresentou, nos três modelos obtidos, relação inversa com o teor de fósforo na amostra, ou seja, quanto mais distante a pocilga de suínos do local de coleta da amostra de solo, menor o teor de fósforo nesta ($P < 0,05$). Esses resultados evidenciam sobre a gestão de nutrientes em áreas que recebem dejetos suínos e a necessidade de um manejo adequado para garantir a sustentabilidade do solo.

Ceretta *et al.* (2010) citam que as frações de fósforo no solo após a aplicação de dejetos suínos apresentam variações dependendo da frequência e da quantidade aplicada. Os autores demonstraram que as contínuas aplicações na superfície de um solo argissolo vermelho arenoso, que possuía cultivo de cultura em sistema de plantio direto, resultou em aumento no teor de fósforo até 25 cm de profundidade.

Tabela 4. Efeito individual (modelos lineares generalizados) dos fatores da propriedade com relação ao teor de fósforo no solo (mg/dm³) considerando a primeira e segunda coletas do solo independentes e as duas coletas em conjunto

Variável	Categoria	Estimativa	EP	IC Wald 95%		P-valor*	DE/GL	AIC
				Mín.	Máx.			
Intercepto	-	2,716	0,227	2,271	3,162	<,0001		
Número de animais	-	0,0003	0,0000	-0,000	0,001	0,099	1,12	772,92
Escala	-	0,911	0,114	0,713	1,165	-		
Intercepto	-	3,327	0,119	3,094	3,56	<,0001		
Distância da pocilga	-	-0,0002	0,0000	-0,000	-0,000	<,0001	1,12	772,92
Escala	-	1,048	0,133	0,817	1,345	-		
Intercepto	-	2,828	0,235	2,368	3,289	<,0001		
Hectares	-	0,069	0,064	-0,055	0,194	0,277	1,33	792,10
Escala	-	0,900	0,113	0,704	1,150	-		
Intercepto	-	3,250	0,147	2,961	3,539	<,0001		
Tipo da Propriedade	Cedente	-0,434	0,212	-0,849	-0,019	0,040	1,29	789,19
	Proprietário	0,000	0,000	0,000	0,000	-		
Escala	-	0,921	0,116	0,720	1,178	-		
Intercepto	-	2,960	0,181	2,605	3,315	<,0001		
Número de animais	-	0,0003	0,0001	0,0001	0,0005	0,009	1,11	841,74
Escala	-	1,057	0,135	0,823	1,357	-		
Intercepto	-	3,531	0,125	3,285	3,776	<,0001		
Distância da pocilga	-	-0,0001	0,0000	-0,000	-0,000	0,030	1,14	844,60
Escala	-	1,033	0,132	0,804	1,326	-		
Intercepto	-	3,586	0,221	3,153	4,016	<,0001		
Hectares	-	-0,070	0,067	-0,202	0,063	0,302	1,17	847,60
Escala	-	1,008	0,128	0,785	1,293	-		
Intercepto	-	3,516	0,140	3,241	3,791	<,0001		
Tipo da propriedade	Cedente	-0,287	0,203	-0,684	0,111	0,158	1,16	846,70
	Proprietário	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		
Escala	-	1,015	0,129	0,791	1,303	-		
Intercepto	-	2,839	0,142	2,561	3,117	<,0001		
Número de animais	-	0,0003	0,0001	0,0001	0,0005	0,002	1,22	1631
Escala	-	0,960	0,086	0,806	1,144	-		
Intercepto	-	3,435	0,089	3,260	3,609	<,0001		
Distancia da pocilga	-	-0,0001	0,0000	-0,000	-0,000	<,0001	1,18	1624
Escala	-	0,989	0,089	0,830	1,179	-		
Intercepto	-	3,284	0,161	2,969	3,600	<,0001		
Hectares	-	-0,015	0,046	-0,105	0,075	0,744	1,27	1641
Escala	-	0,925	0,082	0,777	1,101	-		
Intercepto	-	3,392	0,103	3,190	3,593	<,0001		
Tipo da propriedade	Cedente	-0,350	0,148	-0,641	-0,060	<,0001	1,24	1636
	Proprietário	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		
Escala	-	0,944	0,084	0,793	1,125	0,018		

EP = Erro padrão. IC = Intervalo de confiança. GL = Graus de liberdade. DE = Deviance. AIC = Critério de Informação de Akaike (AIC). *Pelo Chi-quadrado de Wald.

A variável ‘tamanho da propriedade’ (ha), não foi associada ($P > 0,05$) ao teor de P nas amostras de solo. Entretanto, considerando a primeira coleta individualmente e também as duas em conjunto, as amostras de solo obtidas em propriedades de cedentes, onde não haviam granjas de suínos, foram associadas à menor nível de P em comparação àquelas obtidas em propriedades nas quais havia atividade suinícola (proprietário da granja e também da terra de aplicação dos dejetos) ($P < 0,05$).

Segundo estudo realizado por Bandeira *et al.* (2019), a concentração de P aumentou em 37% de 9,6 para 13,1 mg dm⁻³, enquanto o K aumentou 84%, de 115 para 212 mg dm⁻³, na média dos tratamentos e camadas do solo, isso refletindo em resultado positivo na adubação e fertilidade do solo. Entretanto, a elevada concentração de P nos sedimentos de erosão foi 50 vezes maior do que na água de escoamento superficial, o que indica um potencial risco de contaminação ambiental e aumento dos custos de produção. Todavia, também deve-se frisar que a aplicação de dejetos de suínos melhorou os atributos físicos do solo em todos os tratamentos e camadas, estimulando a atividade biológica do solo e aumentando a estabilidade dos agregados e diminuição da densidade aparente com correspondente aumento da macroporosidade (Bandeira *et al.*, 2019).

A análise da variabilidade dos nutrientes, juntamente com a categorização das propriedades e suas práticas de manejo, fornece informações cruciais para o desenvolvimento de estratégias que busquem otimizar a fertilidade do solo e minimizar os impactos ambientais. A continuidade do monitoramento e a implementação de práticas de manejo mais sustentáveis são essenciais para melhorar a qualidade do solo nas regiões estudadas.

4 CONCLUSÃO

De forma geral, na região do Vale do Rio do Peixe (microrregião de Joaçaba) os solos que sofreram aplicação com dejetos suínos encontram-se dentro dos limites de LCA-P determinados pelo órgão ambiental. Atenção especial deve ser dada aos locais que ultrapassaram este limite, sobretudo quando próximos do local de produção dos dejetos e quanto mais suínos houver na granja, ambos fatores associados com maiores níveis de P no solo. Nas propriedades com talhões onde o LCA-P foi superado, devem ocorrer orientações técnicas a fim de prevenir o agravamento da situação e riscos para o meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL - ABPA. **Relatório Anual 2025**. São Paulo, SP. 67p. 2025. Disponível em: <https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2025/04/ABPA.-Relatorio-Anual-2025.pdf>. Acesso: 03 set. 2025.

AMARAL, A. C.; TAPPARO, D. C.; RAMME, M. A.; BERNARDO, E. L.; STEINMETZ, R. L. R.; KUNZ, A. Produção, caracterização e coleta dos dejetos. *In*: KUNZ, A. **Gestão dos resíduos da produção animal: gestão e tratamento dos dejetos na suinocultura**. Brasília, DF: Embrapa; Concórdia: Sbera, 2024. p. 11-27.

ANTES, G. F.; BONASSA, G.; GOMES, D. C.; MORES, R.; KUNZ, A. Remoção e recuperação de fósforo. *In*: KUNZ, A. **Gestão dos resíduos da produção animal: gestão e tratamento dos dejetos na suinocultura**. Brasília, DF: Embrapa; Concórdia: Sbera, 2024. p. 111-138.

ASSIS, J. ; BRAUWERS, L. P.; DUARTE, L. P.; GHISLENI, G.; TIECHER, T.; CARVALHO, P. C. F.; BREMM, C. SOUZA, E. D.; MARTINS, A. P. Phosphorus lability in a subtropical Acrisol under long-term integrated crop-livestock system: impacts of grazing management and cropping system. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 46, e0220066, 2022. DOI: <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20220066>.

BANDEIRA, D. H.; BERTOL, I.; VÁZQUEZ, E. V.; RAMOS, J. C.; BERTOL, C. Impact of pig slurry application on soil and water losses: Comparison with a historical series. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 6, p. 425-431, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n6p425-431>.

BARBOSA, J. Z.; MOTTA, A. C. V.; CONSALTER, R.; PAULETTI, V. Wheat (*Triticum aestivum* L.) response to boron in contrasting soil acidity conditions. **Agrária – Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 2, p. 148-157, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v12i2a5432>.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições, parâmetros, padrões e diretrizes para o lançamento de efluentes em corpos d'água. Brasília, DF: Diário Oficial da União, [2011]. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/CONAMA/RE0430-130511.PDF>. Acesso: 10 out. 2024.

CERETTA, C. A.; LORENSINI, F.; BRUNETTO, G.; GIROTTO, E.; GATIBONI, L. C.; LOURENZI, C. R.; TIECHER, T. L.; DE CONTI, L.; TRENTIN, G.; MIOTTO, A. Frações de fósforo no solo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 6, p. 593-602, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000600009>.

COMITÊ PEIXE. **Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe**. [S.l]: [s.n], 2024. Disponível em: <https://www.aguas.sc.gov.br/a-bacia-rio-do-peixe/bacia-hidrografica-rio-do-peixe>. Acesso em: 26 out. 2024.

CONCEIÇÃO, L. T.; SILVA, G. N.; HOLSBACK, M. S.; OLIVEIRA, C. de F.; MARCANTE, N. C.; MARTINS, E. de S.; SANTOS, F. L. de S.; SANTOS, E. F. Potential of basalt dust to improve soil fertility and crop nutrition. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 10, 100443, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100443>.

DA FRÉ, M. **Análise da situação ambiental de solos utilizados para distribuição de dejetos suínos na região meio-oeste catarinense**. 2015. 87 p. Monografia (Especialização em Economia e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Paraná, UFPR, Curitiba, 2015. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/handle/1884/44207>. Acesso: 19 nov. 2024.

DICK, D. P.; NOVOTNY, E. H.; DIECKOW, J., BAYER, C. Química da matéria orgânica do solo. *In*: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. ed. **Química e Mineralogia do Solo: Parte II - Aplicações**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), 2009. p.1-68.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA - EPAGRI **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2024**. Florianópolis, SC: Epagri. 202p. 2025.

GATIBONI, L. C.; SMYTH, T. J.; SCHMITT, D. E.; CASSOL, P. C.; OLIVEIRA, C. M. B. **Proposta de limites críticos ambientais de fósforo para solos de Santa Catarina**. Lages: UDESC-CAV, 2014. 38p. (CAV-UDESC. Boletim técnico, 2). Disponível em: https://www.cav.udesc.br/arquivos/id_submenu/622/boletim_tecnico_2014_proposta_de_limites_criticos_ambientais_de_fosforo_para_solos_de_santa_catarina.pdf. Acesso: 09 set. 2025.

GOULDING, K. W. T. Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. **Soil Use and Management**, v. 32, n. 3, p. 390-399, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/sum.12270>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **PPM - Pesquisa da Pecuária Municipal (2023)**. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?=&t=resultados>. Acesso: 03 de set. de 2025.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE DE SANTA CATARINA. **Instrução Normativa 11**. Versão junho/2022. 2022. Disponível em: <https://in.ima.sc.gov.br/>. Acesso em: 07 abr. 2024.

KOCHIAN, L. V.; PIÑEROS, M. A.; LIU, J.; MAGALHÃES, J. V. Plant adaptation to acid soils: the molecular basis for crop aluminum resistance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 66, n. 1, p. 571-598, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-arplant-043014-114822>.

OLIVEIRA, P. A. V de. Produção de suínos em sistemas sustentáveis. *In*: Congresso Brasileiro de Produção Animal Sustentável., 2, 2012, Chapecó, SC. **Anais[...]** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2012. p. 57-70.

ORLANDO DA ROS, C.; DA SILVA, V. R.; SILVESTRIN, T. B.; SILVA, R. F. da; PESSOTTO, P. P. Disponibilidade de nutrientes e acidez do solo após aplicações sucessivas de água residuária de suinocultura. **Revista Brasileira de Tecnologia Agropecuária, [S.l.]**, v. 1, n. 1, p. 35-44, 2017.

ORTH, J. T; FRIGO, J. P; FURTADO, A. C. A importância da produção de biogás por meio de dejetos suínos para as ODS's. **Revista Foco: Interdisciplinary Studies**, v. 17, n. 9, 2024. DOI: <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v17n9-034>.

ROSA, D. M; NÓBREGA, L. H. P; MAULI, M. M; LIMA, G. P de; PACHECO, F. P. Substâncias húmicas do solo cultivado com plantas de cobertura em rotação com milho e soja. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 2, p. 221-230, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170026>.

ROSINI, D. N.; LOPES, B. C.; MATIAS, C. A.; MUNIZ, B. R. B.; DELFINO, F. A.; CAMPOS, M. L. Saturação por bases dos solos do meio-oeste e oeste de Santa Catarina. **Revista Latino Americana Ambiente e Saúde (rLAS)**, v. 5, n. 3 especial, 2023.

SARDANS, J.; PEÑUELAS, J. Potassium control of plant functions: ecological and agricultural implications. **Plants**, v. 10, n. 2, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10020419>.

SWOBODA, P.; DÖRING, T. F.; HAMER, M. Remineralizing soils? The agricultural usage of silicate rock powders: a review. **Science of The Total Environment**, v. 807, n. 10, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150976>.

TORESAN, L.; PADRÃO, G de.; A.; GOULART JUNIOR, R.; ARAÚJO, L. A.; ALVES, J. R.; MONDARDO, M. **Desempenho da agropecuária e do agronegócio de Santa Catarina: 2024**. Florianópolis, SC: Epagri, 2025. Boletim Técnico n. 225. 92p. Disponível em: https://docweb.epagri.sc.gov.br/website_epagri/Desempenho-da-agropecuaria-2024.pdf. Acesso em: 08 set. 2025.