

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

SUZIELI APARECIDA MULLER

**USO DE CAMA DE AVIÁRIO COMO ESTRATÉGIA DE MITIGAÇÃO DA
DEPENDÊNCIA DE FERTILIZANTES MINERAIS: IMPACTO NO RENDIMENTO DE
GRÃOS E NA FERTILIDADE DO SOLO**

DOIS VIZINHOS

2026

SUZIELI APARECIDA MULLER

**USO DE CAMA DE AVIÁRIO COMO ESTRATÉGIA DE MITIGAÇÃO DA
DEPENDÊNCIA DE FERTILIZANTES MINERAIS: IMPACTO NO RENDIMENTO DE
GRÃOS E NA FERTILIDADE DO SOLO**

**Use of poultry litter as a strategy to mitigate dependence on mineral fertilizers:
impact on grain yield and soil fertility**

Dissertação apresentada como requisito para
obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias
da Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Orientador(a): Laércio Ricardo Sartor.

Coorientador(a): Paulo César Conceição.

DOIS VIZINHOS

2026



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



SUZIELI APARECIDA MULLER

Data de aprovação: 25 de Maio de 2026

**USO DE CAMA DE AVIÁRIO COMO ESTRATÉGIA DE MITIGAÇÃO DA DEPENDÊNCIA DE FERTILIZANTES
MINERAIS: IMPACTO NO RENDIMENTO DE GRÃOS E NA FERTILIDADE DO SOLO.**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Ciências Agrárias da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Agroecossistemas.

Dr. Laercio Ricardo Sartor, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Joice Mari Assmann, Doutorado - Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (Iapar-Emater)

Dr. Jonatas Thiago Piva, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 25/05/2026.

A Deus, pela força e sabedoria que me
guiaram em cada etapa deste caminho. A
todos que, com apoio, paciência e
incentivo, contribuíram direta ou
indiretamente para a realização deste
trabalho. Minha eterna gratidão.

AGRADECIMENTOS

Expresso minha profunda gratidão a todos que tornaram esta jornada possível. A Deus, pela força e sabedoria que guiaram meus passos. À minha mãe, Margarida (*in memoriam*), minha maior inspiração. À minha família. E ao meu noivo, Eduardo, pela paciência, pelo amor, compreensão e apoio incondicional e por ser meu porto seguro em todos os momentos.

Ao meu orientador, Laercio, agradeço pela sabedoria e pela condução fundamental deste trabalho. Estendo meus agradecimentos aos colegas acadêmicos e ao Grupo de Pesquisa em Ciência do Solo, cuja valorosa colaboração e suporte foram essenciais para o desenvolvimento desta pesquisa. A todos que acompanharam e vibraram com este percurso, meus sinceros agradecimentos. Esta conquista é compartilhada com todos vocês.

*"In primis, ut quidquid boni operis
inchoares, ab eo perfici instantissima
oratione deprecas.*

Ora et Labora."

(São Bento de Núrsia, c. 530 d.C.)

RESUMO

O Brasil se destaca como um dos principais produtores mundiais de grãos, contudo, enfrenta o desafio da elevada dependência de fertilizantes químicos e o consequente aumento nos custos de produção. Nesse contexto, o aproveitamento de resíduos agroindustriais, como a cama de aves, emerge como uma alternativa técnica, econômica e ambientalmente sustentável, especialmente na região Sudoeste do Paraná, devido à sua expressiva disponibilidade. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação continuada de diferentes tratamentos de cama de aves e fertilização mineral sobre o desempenho agrônomo das culturas de soja (*Glycine max*) e milho (*Zea mays*), bem como sobre a dinâmica dos atributos químicos do solo em um sistema de sucessão de longa duração, iniciado em 2012, em Dois Vizinhos, PR. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso, com 10 tratamentos e 3 repetições. Foram avaliadas doses crescentes de cama de aves (0, 3, 6 e 9 t ha⁻¹) e a associação de uma dose fixa (6 t ha⁻¹) com diferentes níveis de nitrogênio em cobertura (0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹). Adicionalmente, incluiu-se um tratamento controle com adubação mineral (AM) recomendada. O rendimento total acumulado ao longo de todas as safras diferiu estatisticamente entre os tratamentos. O menor acúmulo de produção foi obtido na ausência de adubação, com 61.374 kg ha⁻¹. Os maiores acúmulos foram alcançados pelas doses de 9 e 6 t ha⁻¹ de cama de aves, com 106.561 e 95.998 kg ha⁻¹, respectivamente, sendo estatisticamente equivalentes entre si e à adubação mineral (AM), que totalizou 101.052 kg ha⁻¹. Notavelmente, a dose de 9 t ha⁻¹ superou numericamente a AM em 5,5%. Esses resultados evidenciam que a aplicação de cama de aves a partir de 6 t ha⁻¹ é capaz de substituir integralmente a adubação mineral sem comprometimento do rendimento total no sistema de rotação soja-milho ao longo de mais de uma década de cultivo. Além dos ganhos produtivos, os resultados indicaram que a aplicação de cama de aves promoveu melhorias significativas na fertilidade do solo, mantendo o pH em faixas ideais, elevando a saturação por bases para níveis próximos a 70% e reduzindo a toxicidade por alumínio trocável. Adicionalmente, observou-se um incremento nos teores de cálcio, magnésio, fósforo e potássio proporcional ao aumento das doses aplicadas, evidenciando o alto efeito residual do insumo orgânico. Conclui-se que a cama de aves é capaz de suprir integralmente as demandas nutricionais do sistema soja-milho e aprimorar as propriedades químicas do solo a longo prazo, consolidando-se como uma estratégia eficaz para a mitigação da dependência de fertilizantes minerais e promoção da sustentabilidade no agroecossistema. Contudo, é importante observar que a dose de resíduo orgânico como fonte de fósforo e potássio, e como fonte de nitrogênio para milho a curto prazo, poderá resultar em acúmulo de P e K no solo, o que pode caracterizar problemas ambientais.

Palavras-chave: Adubação orgânica; Cama de aves; Fertilidade do solo; Produtividade.

ABSTRACT

Brazil stands out as one of the world's leading grain producers, yet it faces the challenge of high dependence on chemical fertilizers and the consequent increase in production costs. In this context, the utilization of agro-industrial residues, such as poultry litter, emerges as a technically, economically, and environmentally sustainable alternative, especially in the Southwest region of Paraná, due to its significant availability. This study aimed to evaluate the effects of continuous application of different poultry litter treatments and mineral fertilization on the agronomic performance of soybean (*Glycine max*) and maize (*Zea mays*) crops, as well as on the dynamics of soil chemical attributes in a long-term succession system initiated in 2012 in Dois Vizinhos, PR. The experiment was conducted in a randomized block design with 10 treatments and 3 replications. Increasing doses of poultry litter (0, 3, 6, and 9 t ha⁻¹) and the association of a fixed dose (6 t ha⁻¹) with different levels of top-dressed nitrogen (0, 75, 150, and 225 kg ha⁻¹) were evaluated. Additionally, a control treatment with recommended mineral fertilization (MF) was included. The total accumulated yield over all harvests differed statistically among treatments. The lowest accumulated production was obtained in the absence of fertilization, with 61,374 kg ha⁻¹. The highest accumulations were achieved with poultry litter doses of 9 and 6 t ha⁻¹, with 106,561 and 95,998 kg ha⁻¹, respectively, being statistically equivalent to each other and to mineral fertilization (AM), which totaled 101,052 kg ha⁻¹. Notably, the 9 t ha⁻¹ dose numerically surpassed AM by 5.5%. These results demonstrate that the application of poultry litter from 6 t ha⁻¹ onwards is capable of fully replacing mineral fertilization without compromising total yield in the soybean-maize rotation system over more than a decade of cultivation. In addition to productive gains, the results indicated that poultry litter application promoted significant improvements in soil fertility, maintaining pH within ideal ranges, raising base saturation to levels close to 70%, and reducing exchangeable aluminum toxicity. Furthermore, an increase in calcium, magnesium, phosphorus, and potassium contents proportional to the increase in applied doses was observed, highlighting the high residual effect of the organic input. It is concluded that poultry litter is capable of fully supplying the nutritional demands of the soybean-maize system and improving soil chemical properties in the long term, consolidating itself as an effective strategy for mitigating dependence on mineral fertilizers and promoting sustainability in the agroecosystem. However, it is important to note that the dose of organic residue as a source of phosphorus and potassium, and as a source of nitrogen for maize in the short term, may result in the accumulation of P and K in the soil, which could lead to environmental problems.

Keywords: Organic fertilization; Poultry litter; Soil fertility; Yield.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização e croqui do experimento	22
Figura 2 – Precipitação acumulada ao longo dos anos na localização do experimento	28
Figura 3 – Precipitação mensal dos anos 2021 e 2022 na localização do experimento	28
Figura 4 – Expressão da produtividade total para cada cultura (A) e expressão da produtividade total de grãos (B) mediante o acúmulo das doses de cama de aves. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026.....	29
Figura 5 – Comparativo do rendimento de grãos para doses de cama de aves (t ha ⁻¹) (A) e dose fixa de 6 t ha ⁻¹ de cama de aves combinada com diferentes doses de N (kg ha ⁻¹) (B) safra 2014/15. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026.	31
Figura 6 - Comparativo do rendimento de grãos para doses de cama de aves (t ha ⁻¹) e dose fixa de 6 t ha ⁻¹ de cama de aves combinada com diferentes doses de N (kg ha ⁻¹) safra 2018/19	32
Figura 7 – Comparativo do rendimento de grãos para doses de cama de aves (t ha ⁻¹) (A) e dose fixa de 6 t ha ⁻¹ de cama de aves combinada com diferentes doses de N (kg ha ⁻¹) (B) safra 2020/21. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026.	33
Figura 8 – Comparativo do rendimento de grãos para doses de cama de aves (t ha ⁻¹) (A) e dose fixa de 6 t ha ⁻¹ de cama de aves combinada com diferentes doses de N (kg ha ⁻¹) (B) safra 2022/23. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026.	34
Figura 9 – Comparativo do rendimento de grãos para doses de cama de aves (t ha ⁻¹) (A) e dose fixa de 6 t ha ⁻¹ de cama de aves combinada com diferentes doses de N (kg ha ⁻¹) (B) safra 2024/25. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026.	35
Figura 10 – Teores de K e P do solo na profundidade de 0-20 cm entre 2012 e 2024. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026.	36
Figura 11 – Distribuição dos teores de P do solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm nos anos de 2023 e 2024. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026.....	37
Figura 12 – Teores de K do solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm nos anos de 2023 e 2024. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026.	37
Figura 13 – pH do solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm ao longo das safras. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026.....	38
Figura 14 – Saturação por bases (%) nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm ao longo das safras. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026.	39
Figura 15 – Teor de Ca no solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm ao longo das safras. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026. ..	40

Figura 16 – Teor de Mg no solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm ao longo das safras. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026. ..	41
Figura 17 - Teor de Al no solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm ao longo das safras. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026.....	42
Figura 18 – CTC do solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm ao longo das safras. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026.....	44
Figura 19 – Teor de matéria orgânica no solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm ao longo das safras. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atributos químicos do solo antes do início do experimento	20
Tabela 2 - Tratamentos com Cama de aves e Adubação Mineral	21
Tabela 3 - Composição química da cama de aves utilizada nas diferentes safras experimentais	22
Tabela 4 - Histórico de cultivos realizados no experimento ao longo dos anos.	23
Tabela 5 – Rendimento das safras de soja e milho (kg ha⁻¹) entre 2012 e 2016, sob efeito de diferentes doses de cama de aves (t ha⁻¹). UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026.	26
Tabela 6 – Rendimento das safras de soja e milho (kg ha⁻¹) entre 2018 e 2026, sob efeito de diferentes doses de cama de aves (t ha⁻¹). UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026.	27

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos	13
1.1.1	Objetivo Geral.....	13
1.1.2	Objetivos Específicos	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1	Cenário atual do mercado de fertilizantes no Brasil	14
2.2	Soluções para a dependência externa de fertilizantes químicos	15
2.3	Produção vegetal: soja e milho.....	16
2.4	Cama de aves.....	18
3	MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1	Localização e Caracterização da Área Experimental	20
3.2	Delineamento Experimental e Tratamentos	20
3.3	Histórico de Cultivos e Aplicações	22
3.4	Metodologia de Coleta e Análise.....	23
4	RESULTADOS E DISCUSÕES	24
4.1	Rendimento de grãos de milho e soja	24
4.2	Análise comparativa entre tratamentos na produtividade de milho ao longo das safras.....	30
4.3	Impactos na fertilidade do solo.....	35
5	CONCLUSÃO	48
	REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

A consolidação de sistemas de produção intensivos no Sul do Brasil, caracterizados pela sucessão soja (*Glycine max*) e milho (*Zea mays*), fundamenta-se na busca por alta eficiência biológica e viabilidade econômica. No entanto, a manutenção da fertilidade do solo e o atendimento às exigências nutricionais dessas culturas têm sido historicamente dependentes de elevados aportes de fertilizantes minerais sintéticos. Esse modelo de gestão nutricional estabelece uma vulnerabilidade estrutural decorrente da volatilidade do mercado de insumos e da elevada dependência externa de matérias-primas, que no Brasil chega a 80% da demanda total (Brasil, 2022; ANDA, 2026). Diante desse cenário, torna-se imperativa a busca por estratégias que otimizem a ciclagem de nutrientes dentro das propriedades rurais, reduzindo a pressão sobre os insumos importados.

Nesse contexto, a região Sul destaca-se pela expressiva concentração da atividade avícola, gerando volumes significativos de cama de aves, resíduo que apresenta alto potencial fertilizante devido aos teores de nitrogênio, fósforo e potássio (EMBRAPA, 2024). O aproveitamento técnico desse subproduto representa uma oportunidade estratégica de integração entre as cadeias produtivas animal e vegetal, alinhando-se aos preceitos da economia circular que preconizam a reciclagem de bio-recursos para reduzir o "gap" nutricional da agricultura moderna, conforme discutido por Withers *et al.* (2018). Para tanto, a caracterização criteriosa deste material é fundamental, uma vez que a sua composição química pode variar drasticamente em função do substrato utilizado e do manejo das aves. Quando reintegrada ao sistema solo-planta, a cama de aves atua como um catalisador de processos edáficos fundamentais, promovendo a estabilização da matéria orgânica e a melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, como o incremento da capacidade de troca catiônica (CTC) via formação de complexos organominerais (Lemos *et al.*, 2014; Thomazini *et al.*, 2022).

A utilização de resíduos orgânicos em experimentos de longa duração é essencial para avaliar não apenas o rendimento imediato, mas também o efeito residual e o impacto cumulativo na qualidade edáfica. Estudos indicam que a aplicação continuada de cama de aves promove o incremento dos teores de P e K e a elevação da capacidade de troca catiônica (CTC), além de estimular a atividade enzimática e a diversidade da microbiota do solo (Campos, 2022; Debiasi, 2025).

Tais investigações são fundamentais para determinar a viabilidade técnica da substituição, parcial ou total, da adubação mineral pela orgânica, garantindo a resiliência produtiva frente aos desafios contemporâneos da agricultura (Bottrel *et al.*, 2023).

Diante do exposto, a presente pesquisa fundamenta-se na análise de um experimento de longa duração (14 anos), com o intuito de avaliar os efeitos da aplicação contínua de doses de cama de aves em comparação à adubação mineral convencional. Parte-se da hipótese de que a utilização estratégica deste resíduo orgânico possibilita a mitigação da dependência de fertilizantes minerais, preservando o potencial produtivo das culturas de soja e milho e promovendo o incremento sustentável da fertilidade do solo em longo prazo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o uso da cama de aves como estratégia de mitigação da dependência de fertilizantes minerais, verificando seus impactos no rendimento da soja e milho e na fertilidade do solo em um experimento de longa duração.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o efeito da aplicação continuada de cama de aves no rendimento de grãos de soja e milho em comparação à adubação mineral convencional.
- Caracterizar as alterações nos atributos químicos do solo, incluindo os teores de fósforo e potássio no perfil e demais indicadores de fertilidade (pH, matéria orgânica, CTC, saturação por bases, Ca, Mg e Al), em resposta às diferentes doses de cama de aves.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cenário atual do mercado de fertilizantes no Brasil

O protagonismo do Brasil no cenário agrícola global, consolidado por safras recordes de soja e milho, contrasta com uma vulnerabilidade estratégica histórica: a elevada dependência de fertilizantes minerais importados. De acordo com os indicadores consolidados pela Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA, 2026), o consumo aparente de fertilizantes no Brasil, que já havia atingido o volume recorde de 45,8 milhões de toneladas em 2024, encerrou o ano de 2025 com a marca histórica de 49,2 milhões de toneladas, representando um crescimento de 7,4% no período. Desse montante, as importações responderam por 88,5% do total entregue ao mercado em 2025, evidenciando que a produção nacional ainda supre apenas uma fração mínima da demanda crescente das grandes culturas de grãos. Esse cenário reforça a urgência de estratégias de mitigação, como o fomento ao Plano Nacional de Fertilizantes e a valorização de alternativas sustentáveis, a exemplo do uso de bioinsumos e fertilizantes orgânicos como a cama de aves (ANDA, 2026).

A fragilidade dessa situação é acentuada pela origem das importações. Cerca de 45% dos países fornecedores de fertilizantes para o agronegócio brasileiro são considerados geopoliticamente instáveis, o que gera uma constante volatilidade nos preços e um risco iminente de desabastecimento (Weiss, 2025). Eventos como conflitos internacionais podem impactar diretamente a cadeia de suprimentos, elevando os custos de produção e comprometendo a segurança alimentar.

Diante desse cenário de vulnerabilidade, o Brasil tem buscado estruturar políticas públicas que visem a soberania nacional no setor de insumos, sendo o Plano Nacional de Fertilizantes (PNF) 2022-2050 o principal norteador dessa transição. O Plano estabelece metas ambiciosas para reduzir a dependência externa para patamares próximos a 50% até metade do século, incentivando não apenas a exploração de jazidas minerais nacionais, mas também o fomento à inovação tecnológica e ao uso de bioinsumos (Brasil, 2022). Nesse contexto, a valorização de fontes alternativas e regionais ganha destaque, pois permite que o produtor rural transforme passivos ambientais em ativos agronômicos. A integração de resíduos

orgânicos, como a cama de aves, ao sistema produtivo, deixa de ser apenas uma prática de manejo e passa a ser uma decisão estratégica alinhada às metas de segurança alimentar e resiliência climática propostas em fóruns internacionais (UNFCCC, 2025; Brasil, 2022).

2.2 Soluções para a dependência externa de fertilizantes químicos

Diante do cenário de vulnerabilidade externa, o Brasil tem buscado estruturar estratégias de Estado que garantam a soberania do seu sistema produtivo. O Plano Nacional de Fertilizantes (PNF) 2022-2050 surge como a principal diretriz governamental, estabelecendo o objetivo ambicioso de reduzir a dependência de importações para cerca de 50% até metade do século (Brasil, 2022). Entre as ações prioritárias, destaca-se a reativação e modernização de unidades fabris nacionais, como as plantas de fertilizantes nitrogenados da Petrobras, visando recuperar a capacidade de produção doméstica. Essa reestruturação industrial é vista como um passo fundamental para estabilizar a oferta de insumos e proteger o agronegócio das oscilações de preços e crises de abastecimento no mercado global (Brasil, 2022; SINPRIFERT, 2026).

Além da retomada industrial, o PNF fomenta a diversificação da matriz de nutrientes por meio do incentivo a alternativas mais sustentáveis e tecnologicamente avançadas. O uso de bioinsumos, fertilizantes organominerais e remineralizadores de solo (pó de rocha) tem ganhado protagonismo por promoverem a ciclagem de nutrientes e a regeneração da saúde biológica do solo (Brasil, 2022). Somado a isso, a adoção de tecnologias de agricultura de precisão permite um aumento significativo na eficiência do uso de nutrientes, garantindo que a aplicação de fertilizantes ocorra de forma racional e localizada. Essas inovações não apenas mitigam a necessidade de grandes volumes de químicos sintéticos, mas também preparam o campo para um modelo de produção mais resiliente e adaptado às exigências ambientais contemporâneas (Brasil, 2022; IPEA, 2025).

Sob a ótica da sustentabilidade e da autonomia produtiva, o aproveitamento da cama de aves consolida-se como uma alternativa estratégica para a mitigação da dependência de insumos sintéticos. A reintegração desse subproduto ao sistema produtivo fundamenta-se nos preceitos da economia circular, viabilizando a

conversão de resíduos da atividade pecuária em fertilizantes orgânicos de elevado valor agrônomo (Corrêa; Miele, 2011). A aplicação técnica desse material em solos tropicais promove a melhoria multidimensional dos atributos edáficos (físicos, químicos e biológicos), favorecendo a estabilidade da estrutura do solo e a eficiência na ciclagem de nutrientes (Bottrel *et al.*, 2023). Consequentemente, essa prática não apenas reduz a necessidade de importação de fertilizantes minerais, mas também estabelece um modelo de gestão de recursos que fortalece a resiliência econômica e ambiental das propriedades rurais (Corrêa; Miele, 2011; Bottrel *et al.*, 2023).

2.3 Produção vegetal: soja e milho

A soja (*Glycine max* L. Merrill) consolida-se como a cultura de maior relevância para o agronegócio brasileiro, desempenhando um papel vital na balança comercial e na segurança alimentar global. Um de seus principais diferenciais competitivos reside na capacidade de realizar a Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN), processo simbiótico que reduz drasticamente a dependência de fertilizantes nitrogenados minerais. Contudo, para que a cultura expresse seu máximo potencial genético, é imprescindível um manejo nutricional equilibrado, uma vez que a eficiência da FBN está diretamente ligada à disponibilidade de outros nutrientes e às condições químicas do solo (EMBRAPA, 2026; CONAB, 2025).

As exigências nutricionais da soja são proporcionais à produtividade almejada, demandando um monitoramento rigoroso da fertilidade do solo. Em termos quantitativos, estima-se que para cada tonelada de grãos produzida, a cultura extraia do sistema aproximadamente 51 kg de Nitrogênio (N), 10 kg de Fósforo (P_2O_5) e 20 kg de Potássio (K_2O) (EMBRAPA, 2026). Essa intensa exportação de nutrientes via colheita torna a adubação fosfatada e potássica um pilar crucial do manejo, especialmente em solos tropicais que apresentam naturalmente baixa disponibilidade desses elementos, exigindo estratégias de reposição que garantam a sustentabilidade do sistema produtivo a longo prazo (EMBRAPA, 2026).

No que tange ao desempenho a campo, a produtividade média nacional da soja tem se mantido em patamares elevados, fruto do avanço tecnológico e do aprimoramento das práticas de manejo. Na safra 2024/25, as estimativas indicam

um rendimento médio entre 3.500 e 3.800 kg ha⁻¹, embora ocorram variações regionais significativas decorrentes de fatores climáticos e da adoção de diferentes níveis de tecnologia (CONAB, 2025). Esse cenário de alta produtividade reforça a necessidade de fontes de nutrientes que acompanhem o ritmo de absorção da cultura, minimizando perdas e otimizando o aproveitamento dos insumos aplicados (CONAB, 2025; EMBRAPA, 2026).

O milho (*Zea mays* L.) representa outro pilar fundamental da agricultura nacional, caracterizando-se por uma alta demanda nutricional e grande versatilidade econômica. Diferente da soja, o milho exige um suprimento externo robusto de macronutrientes para sustentar seu rápido desenvolvimento vegetativo e o enchimento de grãos. O nitrogênio atua como o nutriente limitante e mais demandado, sendo essencial para a síntese de proteínas e expansão foliar, enquanto o fósforo e o potássio desempenham papéis vitais no estabelecimento do sistema radicular, na floração e na qualidade final dos grãos (EMBRAPA, 2026; CONAB, 2025).

As exigências nutricionais do milho são elevadas e escalonáveis; para um teto produtivo de 9 t/ha, a cultura pode extrair cerca de 135 kg de N, 60 kg de P₂O₅ e 120 kg de K₂O (EMBRAPA, 2026). Atualmente, a produtividade média nacional gira em torno de 5.500 kg/ha para a safra total, com destaque para a 'safrinha' (segunda safra), que responde pela maior parte da produção nacional e apresenta rendimentos que podem superar 6.000 kg/ha em regiões de alta tecnologia (CONAB, 2025). Essa dinâmica de sucessão soja-milho exige um planejamento nutricional integrado, onde o uso de fertilizantes de liberação gradual e a ciclagem de nutrientes via matéria orgânica tornam-se estratégias fundamentais para manter a viabilidade econômica e ambiental do sistema (CONAB, 2025; EMBRAPA, 2026).

Diante do elevado custo dos fertilizantes minerais e da intensa exportação de nutrientes pelas culturas de soja e milho, a utilização da cama de aves consolida-se como uma estratégia de manejo tecnicamente robusta e viável. Ao fornecer macro e micronutrientes de forma equilibrada e gradual, esse resíduo orgânico não apenas supre as altas exigências nutricionais discutidas anteriormente, mas também atua na melhoria das propriedades físicas e biológicas do solo, favorecendo a resiliência do sistema produtivo frente às instabilidades climáticas. Assim, a integração da cama de aves ao sistema de sucessão soja-milho deixa de ser apenas uma alternativa de adubação para se tornar uma peça central na busca por uma

agricultura brasileira mais independente, sustentável e produtiva (EMBRAPA, 2026; Bottrel *et al.*, 2023).

2.4 Cama de aves

A cama de aves consolida-se como o principal resíduo gerado pela atividade avícola, sendo constituída por um material de base absorvente como maravalha de madeira ou casca de arroz integrado aos dejetos dos animais, restos de ração e penas. Essa mistura resulta em uma fonte densa de nutrientes e matéria orgânica, o que a caracteriza como um fertilizante orgânico de elevado valor agrônômico (Frigotto, 2024). A qualidade deste insumo é influenciada por variáveis como a dieta das aves, o manejo do galpão e o número de lotes criados sobre o mesmo substrato, fatores que determinam o potencial de mineralização e a eficiência da ciclagem de nutrientes quando o material é transposto para o sistema agrícola (EMBRAPA, 2024; Frigotto, 2024).

A composição química da cama de aves apresenta uma riqueza consistente em macronutrientes essenciais, embora seus teores possam variar conforme as condições de manejo. Estudos realizados na região sudoeste do Paraná indicam que o material pode conter, em média, 13,18 g/kg de nitrogênio, 18,67 g/kg de fósforo e 21,77 g/kg de potássio, além de aportes significativos de cálcio (10,13 g/kg) e Magnésio (10,50 g/kg) (Machado, 2022). Outro atributo químico relevante é o seu pH tipicamente alcalino, situado em torno de 9,3, característica que confere ao resíduo um potencial corretivo da acidez do solo, auxiliando na neutralização de elementos tóxicos e na otimização do ambiente radicular (Machado, 2022; EMBRAPA, 2024).

Para além do aporte direto de nutrientes, a aplicação da cama de aves promove melhorias estruturais profundas no solo. O incremento contínuo de matéria orgânica atua como um agente cimentante, favorecendo a agregação das partículas do solo e aumentando a porosidade total. Consequentemente, observa-se uma redução na densidade aparente e um aumento na capacidade de retenção de água, fatores que são cruciais para a resiliência das culturas de soja e milho durante períodos de estresse hídrico (Machado, 2022; Valadão *et al.*, 2011). Essas alterações físicas criam um ambiente mais favorável ao desenvolvimento radicular,

permitindo que as plantas explorem um maior volume de solo em busca de água e nutrientes (Machado, 2022).

No âmbito da fertilidade, a cama de aves atua de forma multidimensional ao elevar o pH do solo e reduzir a toxicidade por alumínio (Al) trocável, o que resulta no aumento da Capacidade de Troca Catiônica (CTC) e da saturação por bases. Esse processo melhora diretamente a disponibilidade de cátions essenciais como Ca, Mg e K, além de favorecer a solubilização do fósforo (Machado, 2022). Simultaneamente, a matéria orgânica serve como substrato para a microbiota edáfica, estimulando a atividade microbiana e a produção de compostos fenólicos que contribuem para a sanidade vegetal. Assim, o uso da cama de aves promove um equilíbrio biológico que potencializa a ciclagem de nutrientes e fortalece a sustentabilidade do sistema produtivo (Frigotto, 2024; Bottrel *et al.*, 2023).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e Caracterização da Área Experimental

Este estudo foi conduzido com base em um experimento de longa duração estabelecido na Fazenda Experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Dois Vizinhos, no período de 2012 a 2025. As coordenadas geográficas da área experimental são 25°41’32.8” S e 53°05’42.4” W, com altitude de 526 metros em relação ao nível do mar (Frigotto, 2024).

A área experimental está localizada no Sudoeste do Paraná, região caracterizada por solos com baixa fertilidade natural, geralmente ácidos e com altos teores de alumínio, o que limita a disponibilidade de nutrientes como o fósforo (Frigotto, 2024). O clima da região é subtropical úmido, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano com precipitação pluvial média anual entre 2000 e 2500 mm, condições que favorecem o cultivo de espécies vegetais de ciclo anual (Alvares *et al.*, 2013). O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico, com textura argilosa (Bhering *et al.*, 2007). Os atributos químicos do solo antes do início do experimento estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Atributos químicos do solo antes do início do experimento

Profun didade	pH CaCl ₂	MO	Ca	Al ³⁺	Mg ²⁺	K ⁺	P	Fe	Zn	V
(cm)		(g dm ⁻³)		----- (cmol dm ⁻³) -----				----- (g dm ⁻³) -----		(%)
0-10	5,40	41,55	5,07	0,00	3,26	0,15	3,58	64,07	1,53	61,32

Fonte: Autoria própria (2026)

3.2 Delineamento Experimental e Tratamentos

O experimento foi conduzido sob delineamento em blocos ao acaso com 10 tratamentos e 3 repetições. O protocolo experimental teve início em 2012, com objetivo de avaliar a cama de aves como fertilizante para produção de grãos. De 2012 a 2015, foram aplicadas anualmente doses de 0; 4,5; 9 e 13,5 t ha⁻¹ de matéria

seca de cama de aves proveniente de aviários de frango de corte. Nos anos de 2016 e 2019, não houve aplicação de fertilizante orgânico, permitindo avaliar o efeito residual das doses aplicadas no ano anterior.

A partir de 2017, o protocolo foi ajustado para aplicações bienais de cama de aves nas doses de 0, 3, 6 e 9 t ha⁻¹, em rotação com cultivo de aveia no período de inverno e alternância entre milho (2012, 2013, 2014, 2015, 2017, 2018, 2020, 2022/2023 e 2024/2025) e soja (2016, 2019, 2021, 2023/2024 e 2025/2026). Paralelamente, foi desenvolvido protocolo adicional com foco em adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho, combinando com 6 toneladas de cama de aves com doses de nitrogênio (Tabela 2). Os tratamentos foram distribuídos em parcelas com dimensões de 7 × 7 m (49 m²) (Figura 1).

Tabela 2 - Tratamentos com Cama de aves e Adubação Mineral

Tratamento	Parcelas
T1 – Sem fertilizantes	1, 13 e 30
T2 – Cama de aves 3 t ha ⁻¹	8, 16 e 28
T3 – Cama de aves 6 t ha ⁻¹	10, 12 e 25
T4 – Cama de aves 9 t ha ⁻¹	2, 20 e 24
T5 – Cama de aves 6 t ha ⁻¹	5, 18 e 26
T6 – Cama de aves 6 t ha ⁻¹ + 75 kg ha ⁻¹ N em cobertura	6, 15 e 22
T7 – Cama de aves 6 t ha ⁻¹ + 150 kg ha ⁻¹ N em cobertura	7, 17 e 29
T8 – Cama de aves 6 t ha ⁻¹ + 225 kg ha ⁻¹ N em cobertura	9, 14 e 23
T9 – Fertilizante mineral N-P-K 02-20-20 (500 kg ha ⁻¹)	3, 19 e 21
T10 – Adubação mineral (45 kg ha ⁻¹ N base + 150 kg ha ⁻¹ N cobertura, 100 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅ , 100 kg ha ⁻¹ K ₂ O)	4, 11 e 27

Fonte: Autoria própria (2026)

Figura 1 - Localização e croqui do experimento



Fonte: Autoria própria (2026)

Para controle das aplicações, bem como o acompanhamento gradual do aporte de nutrientes no sistema, foram feitas análises de composição química da cama de aves aplicada entre as safras 2012/2013 a 2022/2023 (Tabela 3).

Tabela 3 - Composição química da cama de aves utilizada nas diferentes safras experimentais

Ano Safra	N	P	K	Ca	Mg	pH
2012/2013	26,8	14,1	14,13	11,13	8,05	-
2013/2014	23,4	2,08	14,24	11,13	8,05	-
2014/2015	35,1	8,68	22,48	11,13	8,05	-
2015/2016	55,1	9,87	38,9	11,13	8,05	-
2016/2017	10,0	8,0	9,0	11,0	8,0	-
2018/2019	10,6	4,96	9,61	11,13	8,05	-
2020/2021	13,18	18,67	21,77	10,13	10,5	9,3
2022/2023	35,2	16,0	44,7	12,3	3,8	-
Média	26,2	10,3	21,9	11,1	7,8	9,3

Fonte: Autoria própria (2026).

3.3 Histórico de Cultivos e Aplicações

As culturas cultivadas no experimento foram milho (*Zea mays*) ou soja (*Glycine max*) na safra de verão e aveia (*Avena sativa*) no inverno, em sistema de rotação de culturas e plantio direto (Tabela 4). As fontes de fertilizantes foram aplicadas a lanço logo após ou antes da semeadura da cultura de verão quando

milho, os demais tratos culturais foram aplicados conforme necessidade a cada safra.

Tabela 4 - Histórico de cultivos realizados no experimento ao longo dos anos.

Safra	Cultura de Verão	Plantio (verão)	Colheita (verão)	Cultura de Inverno
2012/2013	Milho	01 a 15/set/2012	01 a 15/mar/2013	Aveia
2013/2014	Milho	01 a 15/set/2013	01 a 15/mar/2014	Aveia
2014/2015	Milho	01 a 15/set/2014	01 a 15/mar/2015	Aveia
2015/2016	Soja	01 a 15/out/2015	01 a 15/fev/2016	Aveia
2016/2017	Soja	01 a 15/out/2016	01 a 15/fev/2017	Aveia
2018/2019	Milho	01 a 15/set/2018	01 a 15/mar/2019	Aveia
2019/2020	Soja	01 a 15/out/2019	01 a 15/fev/2020	Aveia
2020/2021	Milho	01 a 15/set/2020	01 a 15/mar/2021	Aveia
2021/2022	Soja	01 a 15/out/2021	01 a 15/fev/2022	Aveia
2022/2023	Milho	01 a 15/set/2022	01 a 15/mar/2023	Aveia
2023/2024	Soja	01 a 15/out/2023	01 a 15/fev/2024	Aveia
2024/2025	Milho	01 a 15/set/2024	01 a 15/mar/2025	Aveia
2025/2026	Soja	01 a 15/out/2025	01 a 15/fev/2026	Aveia

Fonte: Autoria própria (2026).

3.4 Metodologia de Coleta e Análise

Para avaliação do rendimento de grãos, foram coletadas amostras das culturas de soja e milho, com os dados expressos em kg ha⁻¹. A produtividade foi calculada corrigindo a umidade dos grãos para 13%. Coletas de solo foram realizadas periodicamente (diferentes anos) em diferentes profundidades: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm. As amostras foram analisadas para pH, matéria orgânica, P, K, Ca, Mg, Al e CTC.

Os dados foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA), empregando-se o teste F para avaliar a significância estatística das fontes de variação a um nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$). Subsequentemente, para os fatores que apresentaram significância, as médias de efeito quantitativo foram submetidas à análise de regressão polinomial utilizando o software SigmaPlot. Adicionalmente, realizou-se a comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro ($p \leq 0,05$), com o objetivo de contrastar o efeito das diferentes doses com a adubação exclusivamente mineral proposta.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Rendimento de grãos de milho e soja

A cultura do milho apresentou resposta expressiva e consistente ao incremento das doses de cama de aves ao longo de todas as safras avaliadas (Tabelas 5 e 6). Na safra 2018/19, observou-se gradiente crescente e estatisticamente significativo entre todos os tratamentos: 4.636 kg ha⁻¹ (0 t ha⁻¹), 6.399 (3 t ha⁻¹), 8.316 (6 t ha⁻¹), 11.286 (9 t ha⁻¹) e 11.394 kg ha⁻¹ (AM). Esse padrão é consistente com trabalho de Novakowski *et al.* (2013), que, ao avaliarem a adubação com cama de aviário na produção de milho orgânico em sistema de integração lavoura-pecuária em Latossolo Bruno Distroférrico no Paraná, verificaram efeito linear positivo para o número de grãos por fileira e resposta quadrática para a produtividade, com máxima produção estimada a partir de 9 t ha⁻¹ em áreas sem pastejo.

Na safra 2024/25, o tratamento sem adubação obteve o menor rendimento (5.451 kg ha⁻¹), enquanto a dose de 9 t ha⁻¹ atingiu 13.666 kg ha⁻¹, representando ganho de 150,7% em relação à ausência de adubação. As doses de 6 t ha⁻¹ (12.359 kg ha⁻¹) e AM (12.038 kg ha⁻¹) foram estatisticamente equivalentes entre si e à dose de 9 t ha⁻¹, o que evidencia que a cama de aves na dose de 6 t ha⁻¹ é plenamente capaz de substituir a adubação mineral convencional na cultura do milho quando se constrói a fertilidade do solo ao longo dos anos. Efeito que é observado após anos de uso do resíduo orgânico, provavelmente devido ao efeito acumulativo no solo do nitrogênio e modificação das características da matéria orgânica e da biologia do solo.

Grohskopf *et al.* (2019) demonstraram que o fertilizante organomineral à base de cama de aves em Nitossolo com elevado teor inicial de fósforo proporcionou índice de eficiência agrônômica 20% superior ao do fertilizante mineral, corroborando os resultados obtidos no presente estudo. Corrêa *et al.* (2018) evidenciaram que o uso de fertilizante organomineral em suas formas sólidas e fluidas contribuiu para elevar o teor de nitrogênio total no solo e manter o teor de potássio trocável, permitindo incrementos significativos de produtividade do milho independentemente da fonte de fertilizante. De forma complementar, Sbardelotto e

Cassol (2009) observaram que doses entre 5 e 7 t ha⁻¹ de cama de aviário propiciaram plantas de milho mais altas e com maior massa, sendo possível reduzir a utilização de adubos químicos a partir desse intervalo de doses.

A equivalência entre doses intermediárias de cama de aves e a adubação mineral corrobora os resultados obtidos por Zortea (2014), que, trabalhando com aplicação de cama de aviário na cultura do milho em Santa Catarina, observou que produtividades médias em torno de 10.000 kg ha⁻¹ foram alcançadas com adubação orgânica, superando a referência regional de adubação mineral estimada entre 6.000 e 6.500 kg ha⁻¹. De forma análoga Watts *et al.* (2018), demonstraram que aplicações continuadas de cama de frango de corte, em comparação ao nitrato de amônio, proporcionaram incrementos de 25 a 65% no rendimento de grãos de milho ao longo do tempo, reflexo acumulado dos benefícios orgânicos sobre a dinâmica do nitrogênio e a atividade microbiana do solo.

A resposta do milho às diferentes doses aplicadas resulta da combinação entre o suprimento imediato de macronutrientes especialmente nitrogênio, fósforo e potássio e as melhorias de médio e longo prazo nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Nesse sentido, Watts *et al.* (2010) demonstraram, em estudo de longa duração, que a aplicação contínua de cama de aves aumentou a mineralização de carbono e nitrogênio no solo de forma superior à adubação mineral, favorecendo a retenção de nutrientes e o incremento de matéria orgânica, especialmente nas camadas superficiais em sistemas de plantio direto. Esses efeitos explicam em parte por que doses crescentes de cama de aviário continuam promovendo ganhos de produtividade em safras consecutivas, mesmo em solos que já apresentam fertilidade construída.

A limitação da disponibilidade imediata de nitrogênio proveniente da cama de aves estimada em torno de 50% do N total aportado no primeiro ano de cultivo, em virtude da necessidade de mineralização microbiana (Rogeri *et al.*, 2015) justifica a menor eficiência inicial da cama de aves em relação à adubação mineral, como verificado na safra 2012/13, na qual a dose de 13,5 t ha⁻¹ (6.890 kg ha⁻¹) foi estatisticamente inferior ao tratamento AM (11.394 kg ha⁻¹). No entanto, à medida que o sistema se consolida e a matéria orgânica do solo se acumula, a liberação gradual de nutrientes orgânicos tende a igualar ou superar a eficiência da adubação mineral, conforme observado nas safras posteriores.

O rendimento de grãos de soja respondeu positivamente à aplicação de cama de aves em relação à ausência de adubação (0 t ha^{-1}) na maioria das safras avaliadas (Tabela 6). Na safra 2025/26, a dose de 6 t ha^{-1} proporcionou o maior rendimento médio (3.070 kg ha^{-1}), diferindo estatisticamente da testemunha sem adubação (2.316 kg ha^{-1}) pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, representando incremento de 32,5% no rendimento. As doses de 3 e 9 t ha^{-1} e o tratamento com adubação mineral (AM) não diferiram entre si nem da dose de 6 t ha^{-1} , evidenciando que doses intermediárias de cama de aves são suficientes para igualar o desempenho da adubação mineral convencional na cultura da soja.

Tabela 5 – Rendimento das safras de soja e milho (kg ha^{-1}) entre 2012 e 2016, sob efeito de diferentes doses de cama de aves (t ha^{-1}). UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026.

Doses (t ha^{-1})	Safras				
	2012/2013	2013/2014	2014/2015	2015/2016	2016/2017
	Milho				Soja
0	5631 d	6320 c	6382 d	4486 b	3460 b
4,5	8189 b	7578 b	7299 d	5105 a	4212 ab
9	8609 b	7790 b	11027 b	5446 a	4758 ab
13,5	6890 c	11505 a	13992 a	5295 a	5097 a
AM	11394 a	8781 b	9605 c	5327 a	3950 a

AM = adubação mineral (tratamento referência); Médias seguidas de letras distintas na mesma coluna diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Pizzatto (2017)

Resultados similares foram descritos por Costa *et al.* (2019), que avaliaram a substituição da adubação mineral pela cama de aviário na cultura da soja em Argissolo do noroeste do Paraná, e verificaram que doses equivalentes de nutrientes orgânicos proporcionaram produtividades comparáveis às obtidas com fertilizantes minerais solúveis, com rendimento relativo médio próximo a 99%.

Watts e Torbert (2011), em experimento de longa duração conduzido nos Estados Unidos entre 1991 e 2001: a cama de frango de corte aumentou significativamente o rendimento de soja em 8 dos 9 anos avaliados, independentemente do sistema de preparo do solo. Esse desempenho consistente ao longo do tempo evidencia que os benefícios da adubação orgânica com cama de aves sobre a soja transcendem o efeito nutricional imediato, estando associados também à melhoria das propriedades físicas e biológicas do solo, como o aumento

da capacidade de retenção de água e a estabilidade de agregados (Watts *et al.*, 2010).

Na safra 2023/24, as doses de 3, 6 e 9 t ha⁻¹ e o AM não diferiram entre si e foram superiores à testemunha sem adubação, com rendimentos variando de 3.754 a 4.075 kg ha⁻¹ frente a 2.599 kg ha⁻¹ do tratamento controle (Tabela 6). Esse padrão de resposta reforça que a cama de aves, a partir de 3 t ha⁻¹, é capaz de atender à demanda nutricional da soja de forma equivalente ao fertilizante mineral, possivelmente em razão do efeito residual acumulado de safras anteriores e da melhoria gradual das condições de fertilidade do solo (Feng *et al.*, 2021).

Nesse contexto, Watts *et al.* (2010), mostraram que o uso contínuo de esterco aviário promove acréscimos progressivos nos teores de matéria orgânica, cálcio trocável e capacidade de troca de cátions do solo, favorecendo a nutrição das culturas subsequentes mesmo em anos sem nova aplicação, além de reportarem o aumento significativo no rendimento de soja em 8 dos 9 anos de avaliação quando a cama de aves foi utilizada como fonte de nutrientes, demonstrando a consistência do efeito positivo desse insumo orgânico ao longo do tempo.

Tabela 6 – Rendimento das safras de soja e milho (kg ha⁻¹) entre 2018 e 2026, sob efeito de diferentes doses de cama de aves (t ha⁻¹). UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026.

Doses (t ha ⁻¹)	Safras							
	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22	2022/23	2023/24	2024/25	2025/26
	Milho	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja
0	4636 d	3448 b	4359 b	480 ns	8327 c	2599 b	5451 c	2316 b
3	6399 c	4881 a	6729 a	500	12089 b	4075 a	11273 b	2537 ab
6	8316 b	4574 a	6775 a	502	13994 ab	4022 a	12359 ab	3070 a
9	11286 a	4812 a	7594 a	510	14288 a	3784 a	13666 a	2755 ab
AM	11394 a	4515 a	7834 a	501	15514 a	3754 a	12038 ab	2498 ab

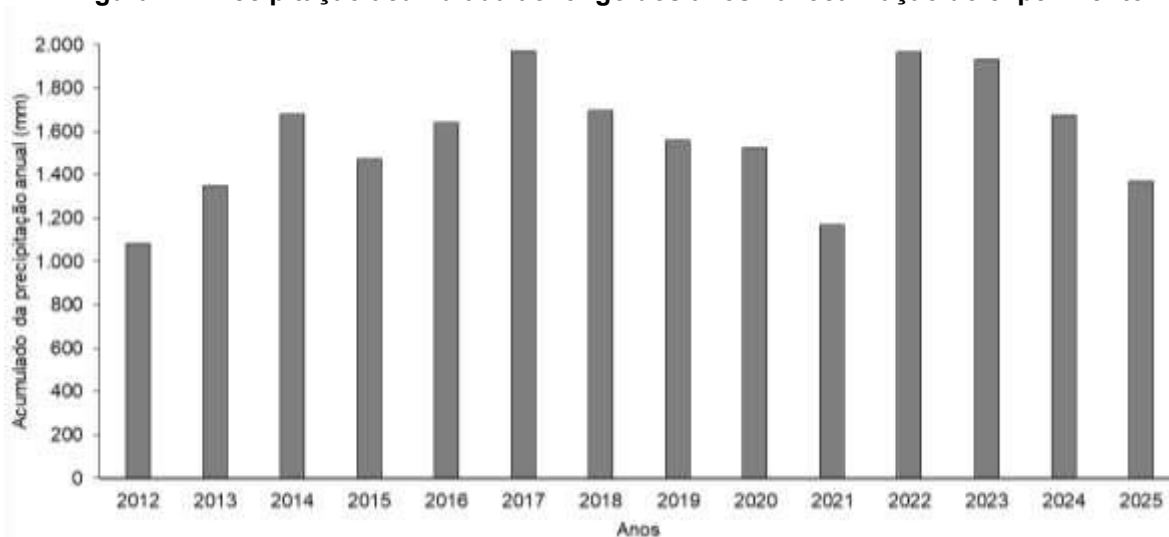
AM = adubação mineral (tratamento referência); Médias seguidas de letras distintas na mesma coluna diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns = não significativo.

Fonte: Autoria própria (2026)

A safra 2021/22 constitui exceção ao padrão de resposta observado nas demais safras, com rendimentos extremamente reduzidos em todos os tratamentos (480 a 510 kg ha⁻¹), sem diferença estatística entre eles. Esse resultado é atribuído ao severo déficit hídrico que acometeu as principais regiões produtoras de soja nesse período (Figura 2). De acordo com a Confederação da Agricultura e Pecuária

do Brasil (CNA, 2022), a estiagem prejudicou o desenvolvimento dos grãos, com impacto econômico e perdas severas nos estados do Sul.

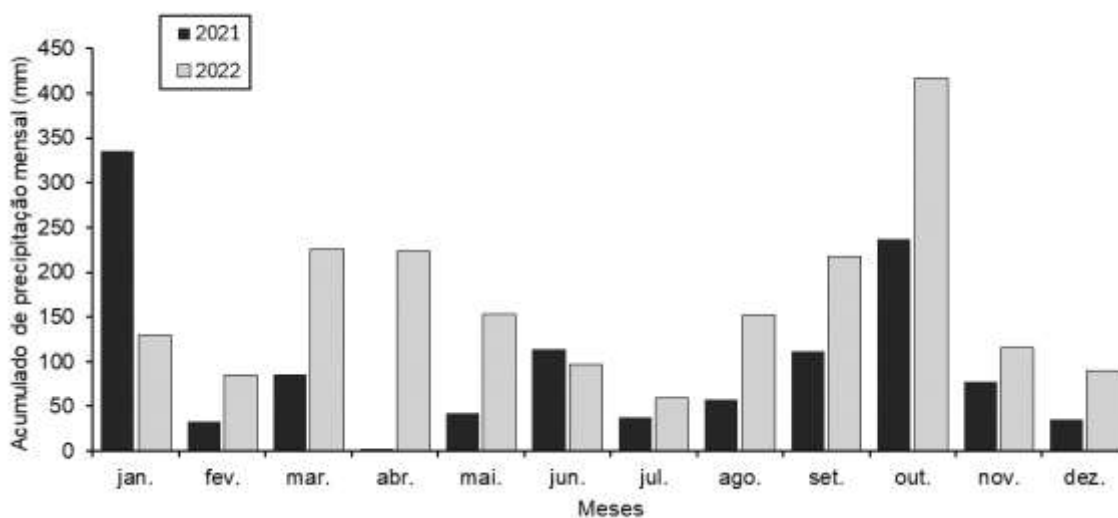
Figura 2 – Precipitação acumulada ao longo dos anos na localização do experimento



Fonte: Autoria própria (2026) com base em dados da NASA (2025)

A análise conjunta da precipitação acumulada e dos rendimentos ao longo do experimento evidencia a forte influência da disponibilidade hídrica sobre a expressão produtiva das culturas. Os anos de maior precipitação - 2017 (1.971,62 mm), 2022 (1.966,91 mm) e 2023 (1.934,83 mm) - coincidiram com as safras de maior rendimento, com destaque para 2022/23, quando o milho atingiu até 15.514 kg ha⁻¹, configurando o pico produtivo de toda a série.

Figura 3 – Precipitação mensal dos anos 2021 e 2022 na localização do experimento

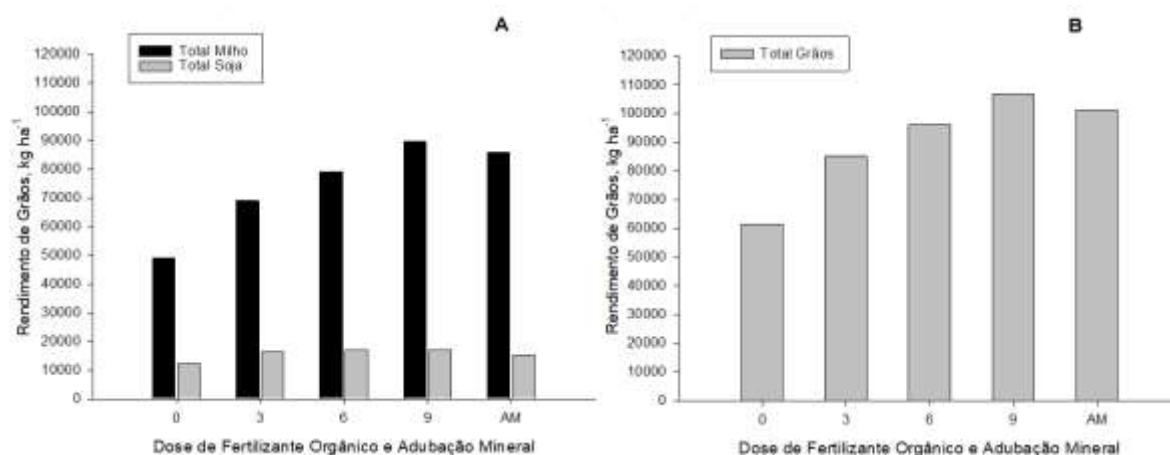


Fonte: Autoria própria (2026) com base em dados da NASA (2025)

A análise da distribuição mensal da precipitação revela com precisão o ocorrido na safra 2021/2022, setembro e outubro registraram apenas 111,80 e 236,95 mm, respectivamente, insuficientes para suprir a demanda hídrica em fase de estabelecimento sob as altas temperaturas de primavera (Figura 3).

O cenário se agravou no período crítico de floração, formação e enchimento de vagens, entre novembro de 2021 e janeiro de 2022, quando as precipitações mensais foram de apenas 77,12 mm, 34,84 mm e 130,08 mm, valores que, conforme Andrade (2024) e Fietz e Fisch (2008), expõem a cultura ao risco de perdas de rendimento entre 30 e 40% nas fases reprodutivas mais sensíveis ao estresse hídrico. O resultado foi a baixa produtividade observada em todos os tratamentos, com rendimentos de soja entre 480 e 510 kg ha⁻¹ sem diferença estatística entre eles, confirmando que o déficit hídrico severo suprime qualquer efeito diferencial das fontes de adubação.

Figura 4 – Expressão da produtividade total para cada cultura (A) e expressão da produtividade total de grãos (B) mediante o acúmulo das doses de cama de aves. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026.



Fonte: Autoria própria (2026)

A análise do rendimento total acumulado ao longo de todas as safras do experimento revelou diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos (Figura 4). O tratamento sem adubação apresentou o menor acúmulo de produção (61.374 kg ha⁻¹), seguido pela dose de 3 t ha⁻¹ (85.079 kg ha⁻¹). As doses de 6 e 9 t ha⁻¹ e o AM não diferiram entre si estatisticamente, com valores de 95.998, 106.561 e 101.052 kg ha⁻¹, respectivamente. A dose de 9 t ha⁻¹ superou numericamente o tratamento AM em 5,5%, enquanto a dose de 6 t ha⁻¹ foi 5,0% inferior ao AM, ambas sem diferença estatística.

Esses resultados indicam que a aplicação de cama de aves a partir de 6 t ha⁻¹ é capaz de substituir integralmente a adubação mineral sem comprometimento do rendimento total no sistema de rotação soja-milho ao longo de mais de uma década de cultivo.

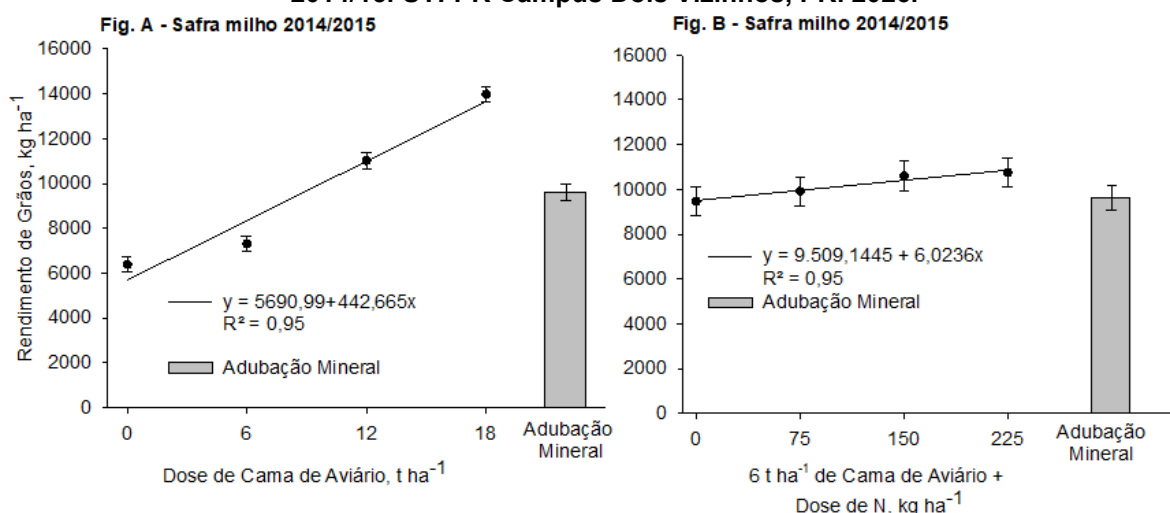
Do ponto de vista econômico, os fertilizantes minerais representam entre 23 e 38% do custo variável de produção de soja e milho nas regiões Sul e Centro-Oeste do Brasil (CONAB, 2025). Nesse contexto, a substituição total ou parcial por cama de aves constitui estratégia com impacto direto e significativo sobre a rentabilidade das propriedades rurais, especialmente aquelas localizadas próximo a regiões avícolas com ampla disponibilidade desse insumo, como é o caso do Paraná e do oeste de Santa Catarina.

4.2 Análise comparativa entre tratamentos na produtividade de milho ao longo das safras

A análise temporal do desempenho agrônomo do milho ao longo de cinco safras (2014/15, 2018/19, 2020/21, 2022/23 e 2024/25) permite examinar não apenas o comportamento pontual de cada tratamento, mas sobretudo a trajetória de construção da fertilidade do solo sob aplicação continuada de cama de aves e a interação com a complementação nitrogenada mineral.

A análise comparativa dos tratamentos na produtividade de milho ao longo das safras revelou padrões consistentes de resposta às doses de cama de aves e à combinação de cama de aves com nitrogênio mineral em cobertura (Figuras A e B de cada safra). Em todas as safras, a ausência de adubação (0 t ha⁻¹ de cama de aves, sem N em cobertura) resultou nos menores rendimentos, evidenciando a dependência nutricional da cultura do milho e a limitação do sistema sem aporte externo de nutrientes.

Figura 5 – Comparativo do rendimento de grãos para doses de cama de aves (t ha^{-1}) (A) e dose fixa de 6 t ha^{-1} de cama de aves combinada com diferentes doses de N (kg ha^{-1}) (B) safra 2014/15. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026.



Fonte: Autoria própria (2026)

Na safra 2014/15, o rendimento de milho respondeu de forma linear ao aumento das doses de cama de aves (Figura 5A) com ganho médio de aproximadamente 443 kg ha^{-1} para cada tonelada adicional de cama aplicada. O rendimento estimado na dose de 18 t ha^{-1} foi de aproximadamente $14.000 \text{ kg ha}^{-1}$, superando numericamente o tratamento com adubação mineral ($\sim 9.700 \text{ kg ha}^{-1}$). A crescente no modelo linear sugere que, nessa safra, as doses avaliadas ainda não haviam atingido o ponto de máxima eficiência agrônômica, indicando potencial de resposta a doses maiores e que a fertilidade do solo ainda se encontrava em fase de construção.

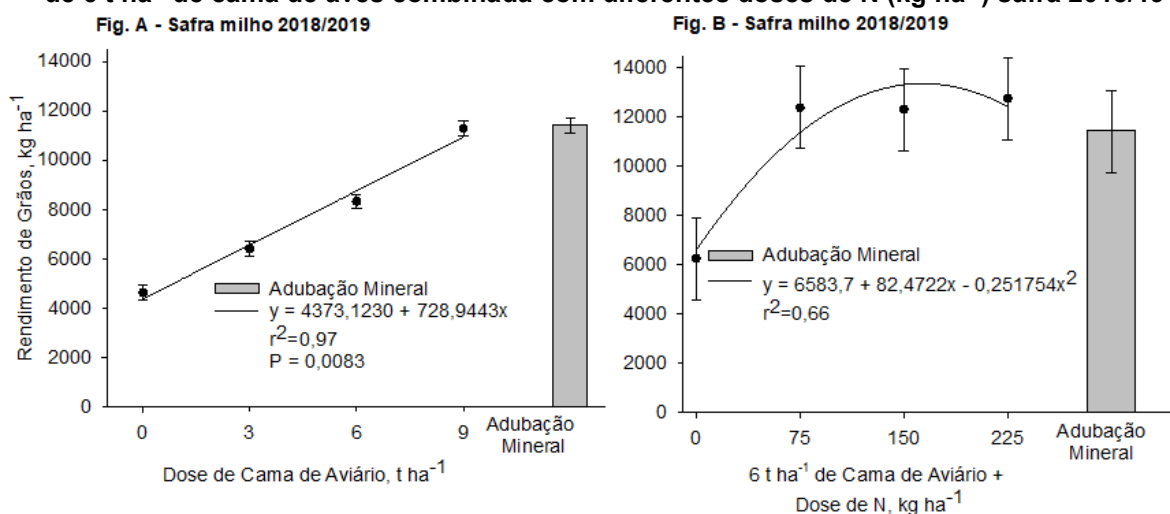
Na combinação de 6 t ha^{-1} de cama com doses crescentes de N mineral em cobertura (0 a 225 kg ha^{-1}), o ajuste também foi linear, porém com ganho marginal de apenas 6 kg ha^{-1} de grãos por kg de N adicional (Figura 5B). O rendimento já obtido sem N complementar ($\sim 9.509 \text{ kg ha}^{-1}$) igualou-se numericamente ao tratamento com adubação mineral. Esse resultado indica que a dose de 6 t ha^{-1} de cama de aves já supria satisfatoriamente a demanda de N do milho nessa safra, com a complementação mineral gerando incrementos de baixa magnitude agrônômica e econômica.

Na safra 2018/19, o rendimento de milho respondeu linearmente às doses de cama, com incremento médio de 729 kg ha^{-1} por tonelada adicional de cama (Figura 6A). O rendimento progrediu de 4.373 kg ha^{-1} na ausência de adubação para

~10.930 kg ha⁻¹ na dose de 9 t ha⁻¹, valor próximo ao da adubação mineral (~11.393 kg ha⁻¹). A resposta linear, sem sinal de estabilização dentro do intervalo avaliado, sugere que as condições climáticas ou de solo dessa safra exigiram maior aporte nutricional para expressão máxima do potencial produtivo.

Na combinação de 6 t ha⁻¹ de cama com doses crescentes de N mineral em cobertura (Figura 6B), o ajuste foi quadrático, com ponto de máxima estimado em torno de 164 kg ha⁻¹ de N complementar, projetando rendimento máximo de aproximadamente 13.340 kg ha⁻¹. Esse comportamento quadrático é amplamente documentado para a cultura do milho (Rocha *et al.*, 2014) confirmando que a combinação de cama de aves com doses intermediárias de N mineral em cobertura otimiza a produtividade, ao passo que a complementação excessiva pode resultar em desperdício de insumos sem ganho produtivo proporcional.

Figura 6 - Comparativo do rendimento de grãos para doses de cama de aves (t ha⁻¹) e dose fixa de 6 t ha⁻¹ de cama de aves combinada com diferentes doses de N (kg ha⁻¹) safra 2018/19



Fonte: Autoria própria (2026)

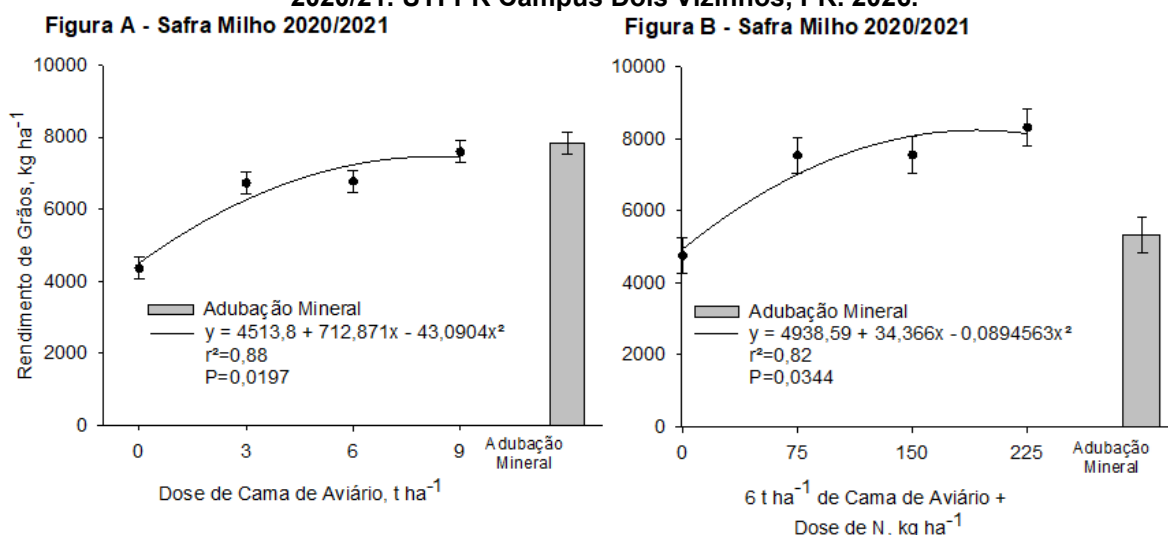
Na safra 2020/21, o padrão de resposta mudou de linear para quadrático tanto para as doses de cama (Figura 7A) quanto para a combinação cama + N mineral (Figura 7 B). A presença do coeficiente quadrático negativo em ambos os casos indica início do fenômeno de rendimento marginal decrescente, esperado em solos que vêm acumulando fertilidade residual de safras anteriores.

Para as doses de cama (Figura 7A), o ponto de máxima produtividade foi estimado em ~8,3 t ha⁻¹, com rendimento máximo projetado de ~7.770 kg ha⁻¹. A dose de 9 t ha⁻¹ (7.594 kg ha⁻¹) foi estatisticamente equivalente à adubação mineral (~7.834 kg ha⁻¹). A transição do modelo linear para o quadrático a partir desta safra

indica que o acúmulo de nutrientes no solo proveniente das aplicações anuais anteriores já havia atingido patamar suficiente para reduzir a eficiência marginal de doses adicionais, fenômeno esperado em experimentos de longa duração com adubação orgânica (Corrêa *et al.*, 2018).

Para a combinação cama + N mineral (Figura 7B), o ponto de máxima foi estimado em $\sim 192 \text{ kg ha}^{-1}$ de N complementar, com rendimento projetado de $\sim 8.240 \text{ kg ha}^{-1}$, valor equivalente estatisticamente ao da adubação mineral ($\sim 8.090 \text{ kg ha}^{-1}$). Esse resultado confirma que a combinação 6 t ha^{-1} de cama + doses adequadas de N em cobertura reproduzem plenamente o desempenho da adubação mineral.

Figura 7 – Comparativo do rendimento de grãos para doses de cama de aves (t ha^{-1}) (A) e dose fixa de 6 t ha^{-1} de cama de aves combinada com diferentes doses de N (kg ha^{-1}) (B) safra 2020/21. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026.



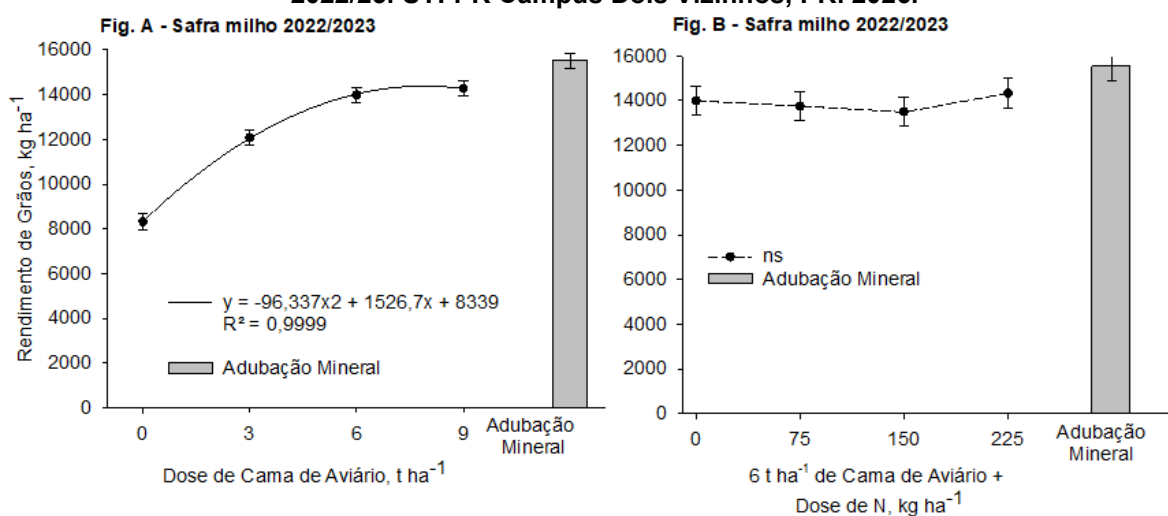
Fonte: Autoria própria (2026)

A safra 2022/23 destacou-se pelo elevado patamar de rendimento em todos os tratamentos com cama de aves e pelo ajuste quadrático de altíssima precisão para as doses de cama (Figura 8A). O ponto de máxima produtividade foi estimado em $\sim 7,9 \text{ t ha}^{-1}$, com rendimento projetado de $\sim 14.369 \text{ kg ha}^{-1}$. As doses de 6 e 9 t ha^{-1} alcançaram rendimentos de ~ 14.099 e $\sim 14.500 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente, próximos ao da adubação mineral ($\sim 15.514 \text{ kg ha}^{-1}$), sem diferença estatística.

O resultado mais expressivo desta safra foi a ausência de resposta significativa (ns) ao N mineral complementar aplicado sobre a base de 6 t ha^{-1} de cama (Figura 8B). Os rendimentos mantiveram-se estáveis entre ~ 13.500 e $\sim 14.600 \text{ kg ha}^{-1}$ independentemente da dose de N adicional, inclusive igualando-se à adubação mineral. Esse resultado demonstra que, após mais de 10 anos de

aplicações, o estoque de N orgânico mineralizado no solo tornou-se suficiente para atender à demanda da cultura sem complementação nitrogenada mineral. Watts *et al.* (2010) descreveram fenômeno similar, relatando aumento significativo nas taxas de mineralização de N em solos com histórico de longo prazo de cama de aves, resultando em maior disponibilidade de N inorgânico ao longo do ciclo das culturas.

Figura 8 – Comparativo do rendimento de grãos para doses de cama de aves ($t\ ha^{-1}$) (A) e dose fixa de $6\ t\ ha^{-1}$ de cama de aves combinada com diferentes doses de N ($kg\ ha^{-1}$) (B) safra 2022/23. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026.

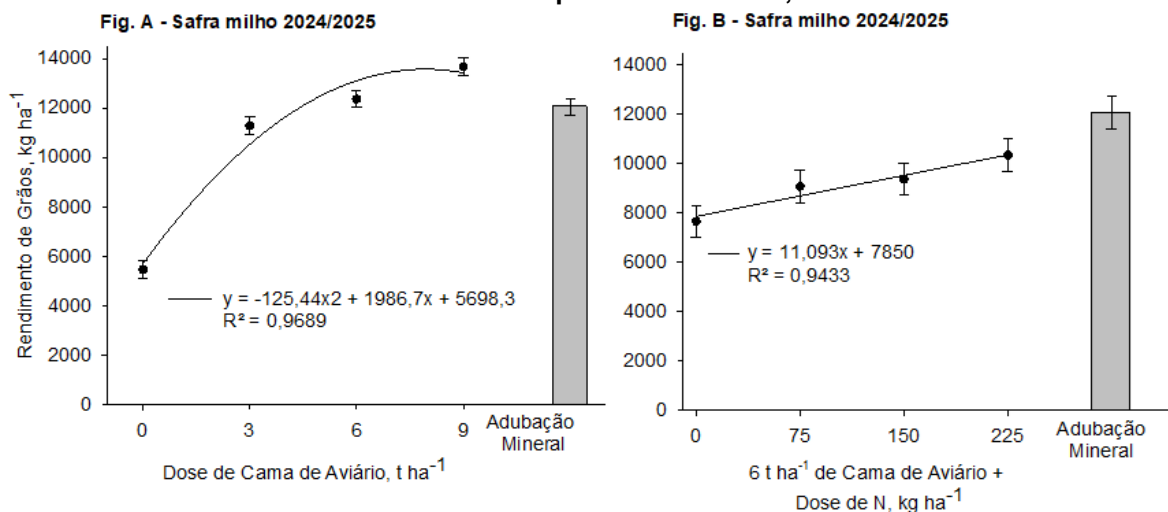


Fonte: Autoria própria (2026)

Na safra 2024/25 (Figura 9A), a resposta às doses de cama ajustou-se novamente ao modelo quadrático, com ponto de máxima estimado em $\sim 7,9\ t\ ha^{-1}$ e rendimento projetado de $\sim 13.547\ kg\ ha^{-1}$. As doses de 6 e $9\ t\ ha^{-1}$ atingiram ~ 12.263 e $\sim 13.286\ kg\ ha^{-1}$, equivalentes estatisticamente à adubação mineral ($\sim 15.514\ kg\ ha^{-1}$).

Na combinação com N mineral (Figura 9B), o ajuste retornou ao padrão linear, com incremento de $\sim 11\ kg\ ha^{-1}$ de grãos por kg de N adicional. Esse comportamento contrasta com a ausência de resposta da safra anterior (2022/23) e evidencia a variabilidade interanual na mineralização de N da cama, fortemente influenciada pelas condições climáticas de cada safra. Rocha *et al.* (2014) destacam que as variações na precipitação e temperatura durante o ciclo do milho alteram diretamente a taxa de mineralização do N orgânico, o que explica a oscilação entre safras no padrão de resposta ao N complementar observada no presente experimento.

Figura 9 – Comparativo do rendimento de grãos para doses de cama de aves (t ha^{-1}) (A) e dose fixa de 6 t ha^{-1} de cama de aves combinada com diferentes doses de N (kg ha^{-1}) (B) safra 2024/25. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026.



Fonte: Autoria própria (2026)

A análise conjunta das cinco safras evidencia uma evolução consistente no padrão de resposta do milho à cama de aves: de modelos lineares nas safras iniciais indicativos de solo em fase de construção de fertilidade, para modelos quadráticos nas safras subsequentes, com ponto de máxima eficiência agrônômica situado sistematicamente entre $7,9$ e $8,3 \text{ t ha}^{-1}$. Esse deslocamento de padrão é coerente com o conceito de manejo adaptativo de nutrientes, em que a dose ótima decresce à medida que o estoque residual de nutrientes orgânicos se acumula no solo (Watts *et al.*, 2024).

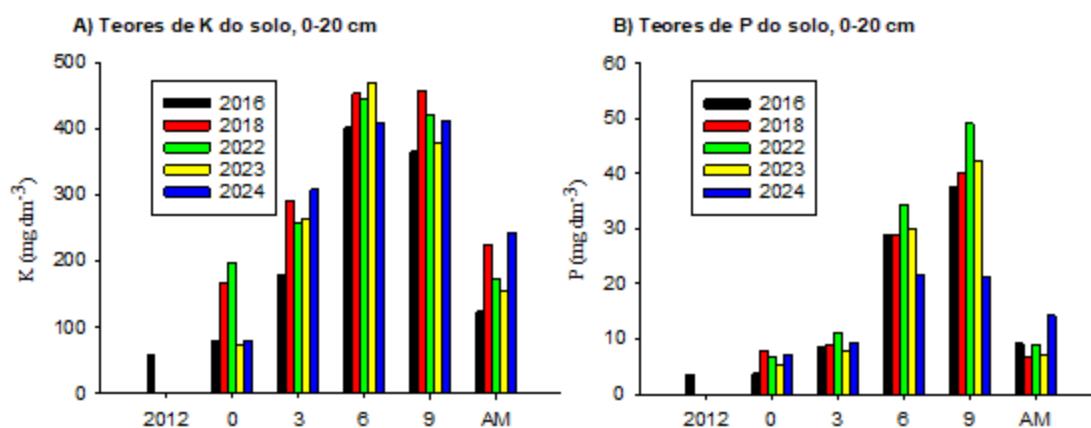
Do ponto de vista prático, a dose de 6 t ha^{-1} demonstrou ser suficiente para igualar estatisticamente a adubação mineral em todas as safras avaliadas, com a complementação nitrogenada mineral variando de desnecessária (2022/23, maior acúmulo residual) a benéfica em incrementos modestos (demais safras), o que reforça a eficiência agrônômica e econômica da cama de aves como insumo principal para o milho no sistema avaliado.

4.3 Impactos na fertilidade do solo

Os teores de fósforo (P) e potássio (K) disponíveis na camada de 0-20 cm do solo apresentaram tendência de acúmulo progressivo ao longo das safras avaliadas (Figura 10). Em 2024, o teor de K no solo nas doses de 6 e 9 t ha^{-1} alcançou aproximadamente $420\text{--}470 \text{ mg dm}^{-3}$, valores substancialmente superiores

ao tratamento sem adubação ($\sim 80 \text{ mg dm}^{-3}$) e comparáveis ao tratamento AM ($\sim 400 \text{ mg dm}^{-3}$). De forma semelhante, os teores de P na dose de 9 t ha^{-1} atingiram $\sim 50 \text{ mg dm}^{-3}$ em 2022, valor próximo ao verificado com a adubação mineral ($\sim 45 \text{ mg dm}^{-3}$). Esse acúmulo gradual de P e K evidencia o efeito residual cumulativo da cama de aves, que, ao ser aplicada sistematicamente sobre a superfície do solo em sistema plantio direto, promove enriquecimento nutricional especialmente nas camadas superficiais.

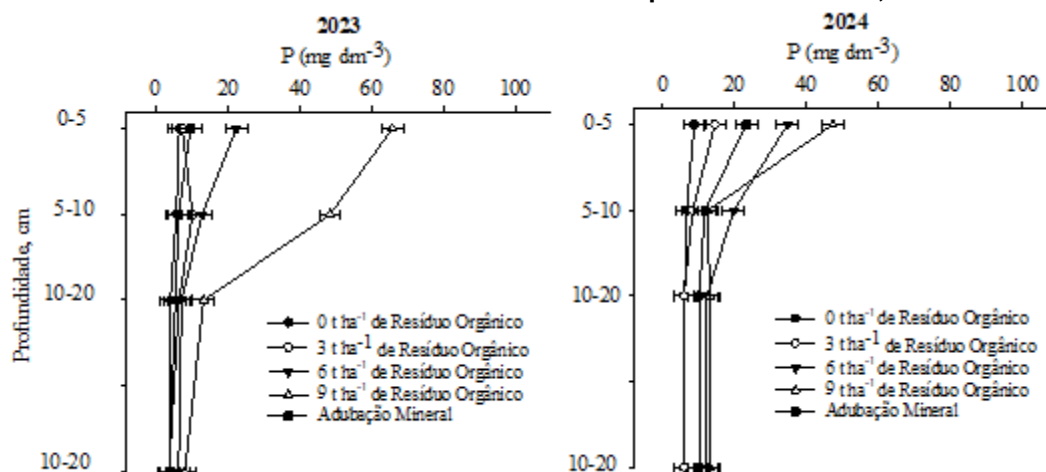
Figura 10 – Teores de K e P do solo na profundidade de 0-20 cm entre 2012 e 2024. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026.



Fonte: Autoria própria (2026)

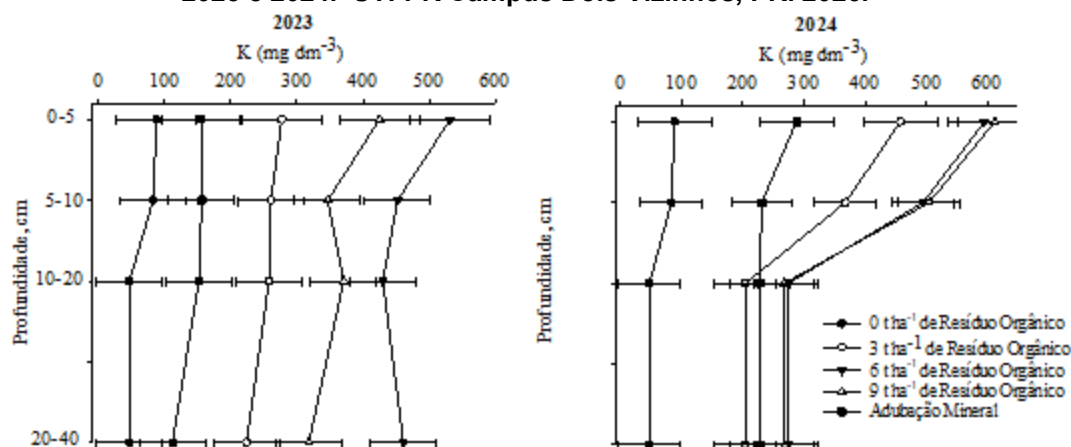
A análise da distribuição de P e K no perfil do solo, avaliada nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm em 2023 e 2024 (Figuras 11 e 12), revelou concentração predominante na camada superficial (0-5 cm), com gradiente decrescente em profundidade. Esse padrão é característico de sistemas de plantio direto com adubação em superfície, conforme reportado por Rheinheimer e Anghinoni (2001) em experimento de longa duração no Rio Grande do Sul, no qual o fósforo acumulou-se predominantemente na forma inorgânica nas camadas mais superficiais, independentemente do sistema de manejo e da forma de aplicação dos adubos. Em relação ao K, observou-se maior mobilidade no perfil em comparação ao P, com valores expressivos até a camada de 10-20 cm nas maiores doses, especialmente em 2024, em que as doses $6 \text{ e } 9 \text{ t ha}^{-1}$ superaram a AM na camada superficial.

Figura 11 – Distribuição dos teores de P do solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm nos anos de 2023 e 2024. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026.



Fonte: Autoria própria (2026)

Figura 12 – Teores de K do solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm nos anos de 2023 e 2024. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026.



Fonte: Autoria própria (2026)

O acúmulo de P e K em superfície em doses elevadas de cama de aves merece atenção do ponto de vista ambiental (Figuras 11 e 12). De acordo com He *et al.* (2019), a aplicação continuada de cama de aves em longo prazo altera significativamente a dinâmica nutricional do solo, impondo riscos distintos para o fósforo (P) e o potássio (K). Para o P, o acúmulo excessivo nas camadas superficiais, especialmente em doses elevadas como 9 t ha^{-1} , satura a capacidade de adsorção do solo e aumenta drasticamente o potencial de perdas por escoamento superficial, o que pode levar à eutrofização de corpos hídricos.

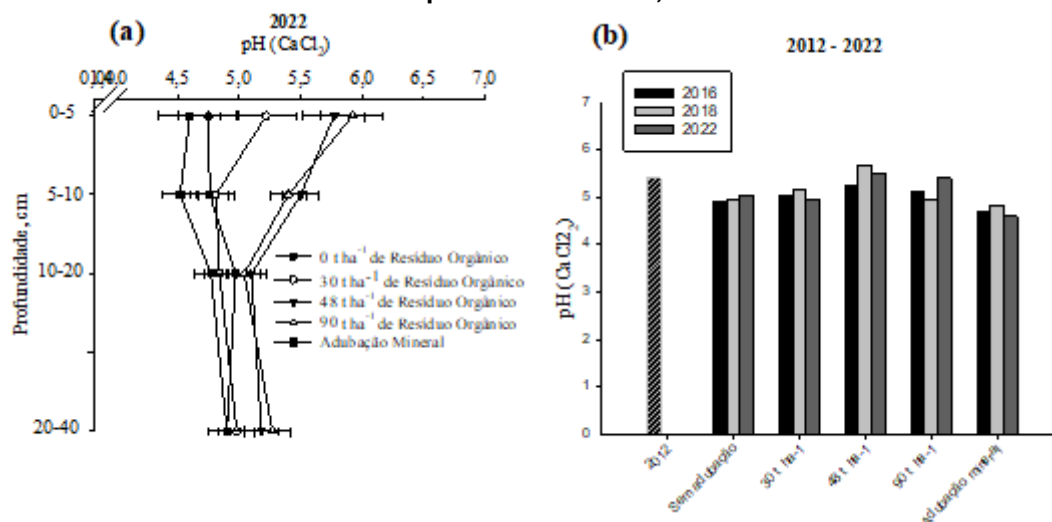
Paralelamente, o K apresenta um risco acentuado de lixiviação vertical devido à sua maior solubilidade e menor energia de retenção nos coloides; quando o

aporte orgânico supera a capacidade de troca catiônica (CTC), o excesso de K migra para horizontes profundos. Portanto, o monitoramento periódico de ambos os nutrientes é indispensável para prevenir a contaminação de águas superficiais e subterrâneas, garantindo a sustentabilidade ambiental do sistema produtivo.

Nesse contexto, a integração da cama de aves no sistema soja-milho demonstra ser uma estratégia de elevada viabilidade econômica, especialmente em regiões com alta disponibilidade do resíduo, como o Sudoeste do Paraná. Segundo Metzner *et al.* (2015), a substituição da adubação mineral pela orgânica reduz o custo operacional e aumenta a margem líquida do produtor, dada a eficiência nutricional do resíduo.

Contudo, essa vantagem econômica está intrinsecamente ligada à eficiência do manejo conforme Piovesan *et al.* (2009), a aplicação de doses que excedem a capacidade de retenção do solo pode resultar em perdas significativas de potássio e nitrogênio por lixiviação. Assim, a construção da fertilidade e a economia de insumos dependem de um balanço nutricional rigoroso, garantindo que o nutriente aplicado seja convertido em produtividade e não em prejuízo financeiro e ambiental.

Figura 13 – pH do solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm ao longo das safras. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026.



Fonte: Adaptado de Machado (2022)

O pH (CaCl₂) do solo manteve-se relativamente estável ao longo dos 10 anos de experimento (2012-2022) em todos os tratamentos, com valores situados entre 4,8 e 5,5 (Figura 13). Contudo, ao se considerar a variação por camada, observa-se que a camada de 0-10 cm apresentou valores de pH ligeiramente superiores em relação às camadas mais profundas, o que pode ser atribuído ao

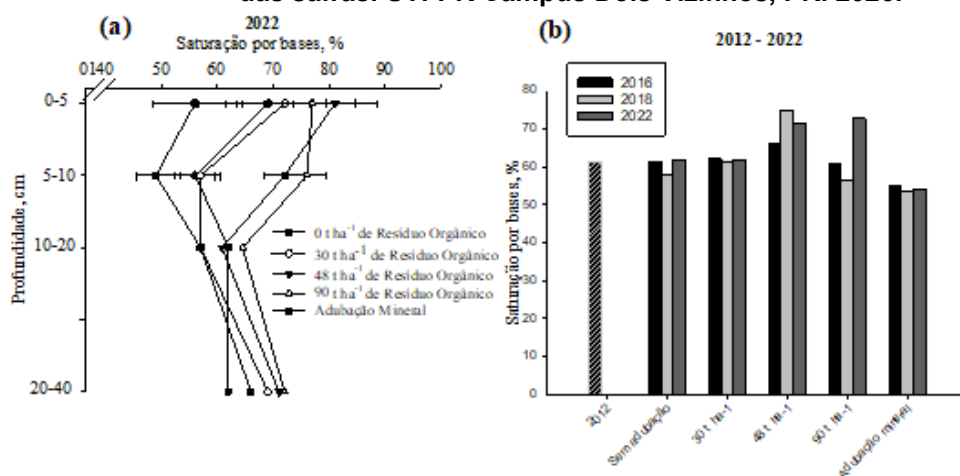
acúmulo superficial de resíduos orgânicos e aos compostos alcalinizantes presentes na cama de aviário, em especial os óxidos e hidróxidos de cálcio utilizados na higienização dos aviários.

É importante destacar que, em 2022, o experimento já acumulava mais de 10 anos sem aplicação de calcário, o que torna a manutenção do pH na camada superficial ainda mais relevante, sugerindo que as aplicações sucessivas de cama de aviário exerceram papel tamponante e contribuíram para atenuar a reacidificação natural do solo que seria esperada nesse intervalo de tempo.

A estabilidade do pH observada no presente estudo pode ser atribuída, em parte, ao efeito tamponante da matéria orgânica do solo e, em parte, às propriedades alcalinizantes da cama de aviário. Este resíduo contém óxidos e hidróxidos de cálcio provenientes dos produtos higienizantes utilizados nos aviários, os quais, ao reagirem com a água do solo, liberam íons OH^- , contribuindo para a neutralização da acidez e para a manutenção do pH ao longo do tempo.

Backer *et al.* (2024) verificaram que grupos bacterianos enriquecidos em solos tratados com cama de aves estão associados a alterações nas propriedades químicas do solo, incluindo o pH, o que indica que a biota do solo mediada pela cama exerce influência sobre os equilíbrios ácido-base do sistema edáfico. Corroborando, Mowrer *et al.* (2020) demonstraram, em estudo de 15 anos, que a cama de aves em sistema plantio direto promoveu aumento de 0,6 unidade de pH nas camadas superficiais do solo em relação à adubação mineral.

Figura 14 – Saturação por bases (%) nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm ao longo das safras. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026.



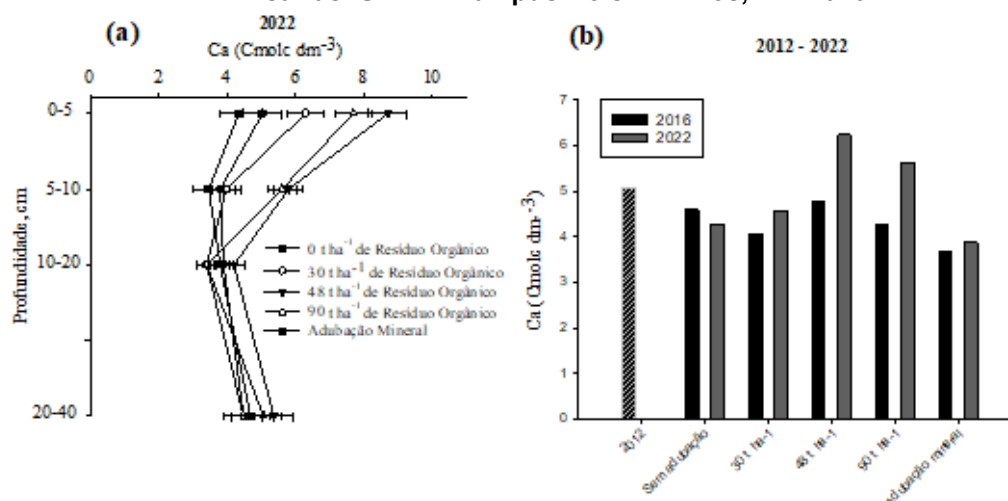
Fonte: Adaptado de Machado (2022)

A saturação por bases (V%) acompanhou o padrão de pH, mantendo-se elevada (60-75%) nas doses maiores de cama de aves e na AM ao longo de todo o período avaliado (Figura 14). Nas doses de 48 e 90 t ha⁻¹ acumuladas (equivalentes às doses anuais de 6 e 9 t ha⁻¹), a V% tendeu a valores próximos ou superiores a 70% em 2022, indicando manutenção de condições adequadas de fertilidade para as culturas.

Esse patamar de saturação por bases é considerado adequado para soja e milho, culturas que respondem favoravelmente a V% entre 60 e 70% (EMBRAPA, 2024). A manutenção da V% evidencia que a cama de aves não apenas fornece nutrientes, mas também contribui para a construção e manutenção da fertilidade do solo no longo prazo, aspecto fundamental para a sustentabilidade do sistema produtivo.

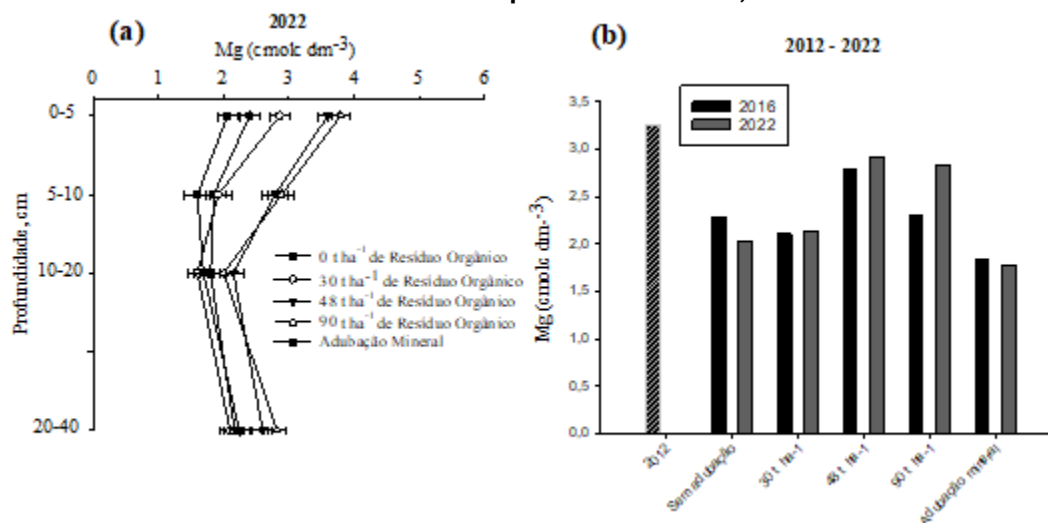
Os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ no solo apresentaram comportamento estável ao longo do período experimental, com ligeira superioridade nas doses mais elevadas de cama de aves em relação à dose sem adubação (Figuras 13 e 14). Na avaliação de 2022, os teores de Ca²⁺ na camada superficial (0–5 cm) foram numericamente superiores nas doses de 48 e 90 t ha⁻¹ acumuladas em comparação à AM, sugerindo que a cama de aves contribui com fornecimento contínuo desses cátions ao solo, derivados tanto dos excrementos das aves quanto dos minerais utilizados nas rações, como calcário e fosfato de cálcio.

Figura 15 – Teor de Ca no solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm ao longo das safras. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026.



Fonte: Adaptado de Machado (2022)

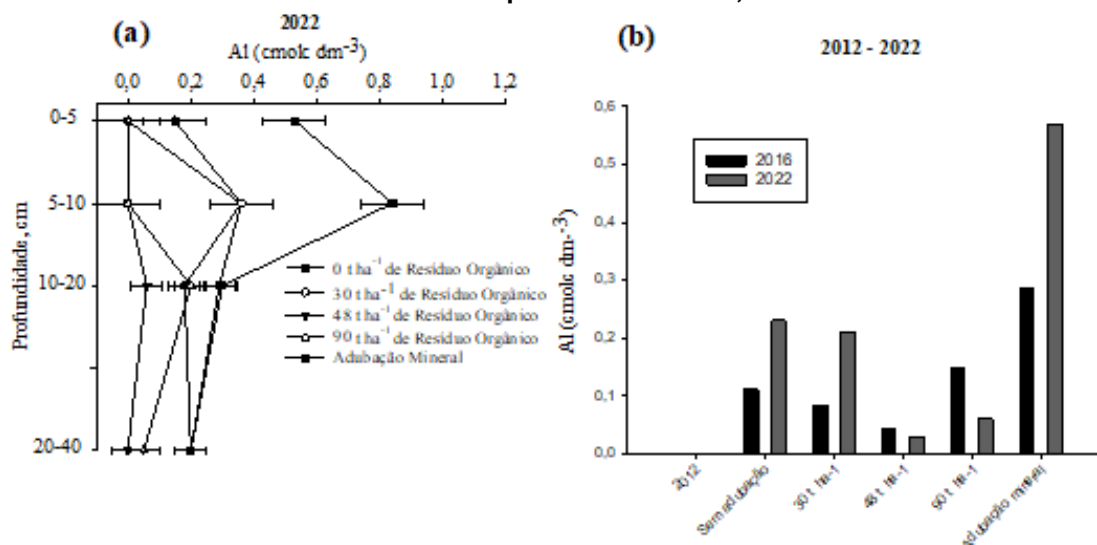
Figura 16 – Teor de Mg no solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm ao longo das safras. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026.



Fonte: Adaptado de Machado (2022)

A contribuição da cama de aves para o fornecimento de Ca e Mg é amplamente documentada na literatura (Figuras 15 e 16). Watts *et al.* (2010) reportaram incremento nos teores de Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ no solo após aplicações de longo prazo de cama de aves em sistema plantio direto, principalmente nas camadas mais superficiais. Da mesma forma, Feng *et al.* (2021) verificaram que a cama de aves aplicada por cinco anos melhorou a capacidade de retenção de água disponível no solo em 20%, efeito parcialmente atribuído ao aporte de Ca e Mg e ao incremento da estabilidade de agregados. Esses benefícios indiretos sobre a estrutura do solo favorecem o desenvolvimento radicular das culturas e a absorção de nutrientes, contribuindo para os elevados rendimentos observados nos tratamentos com cama de aves neste experimento.

Figura 17 - Teor de Al no solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm ao longo das safras. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026.



Fonte: Adaptado de Machado (2022)

Um dos resultados mais relevantes relacionados aos atributos de fertilidade do solo refere-se ao alumínio (Al^{3+}) trocável. Os teores de Al^{3+} permaneceram notavelmente baixos ($<0,3 \text{ cmolc dm}^{-3}$) em todos os tratamentos com cama de aves ao longo do período avaliado (Figura 17). Em contraste, o tratamento com AM apresentou, em 2022, um pico expressivo de Al^{3+} ($\sim 0,55 \text{ cmolc dm}^{-3}$), valor superior ao registrado em todos os demais tratamentos. Esse resultado sugere que a cama de aves possui efeito protetor contra a acidificação e a mobilização de Al^{3+} no solo, o que representa uma vantagem significativa da adubação orgânica sobre a mineral.

O efeito benéfico dos esterco e camas animais sobre a toxicidade de Al no solo é descrito por Mowrer *et al.* (2020), que demonstraram que esterco animais reduzem o Al^{3+} solúvel por meio da complexação com a matéria orgânica, mecanismo efetivo especialmente em solos com pH inferior a 5,2. A matéria orgânica adicionada pela cama de aves forma complexos estáveis com o Al^{3+} , precipitando-o e removendo-o da solução do solo. Backer *et al.* (2024) reforçam essa perspectiva ao constatar que a aplicação de cama de aves altera a comunidade bacteriana do solo de forma a favorecer condições químicas com menor disponibilidade de Al trocável. O alumínio trocável em concentrações elevadas inibe o crescimento radicular, reduz a absorção de P, Ca e Mg e, por consequência, limita o rendimento das culturas. Portanto, a manutenção de baixos teores de Al^{3+} nos tratamentos com cama de aves representa benefício adicional de grande relevância

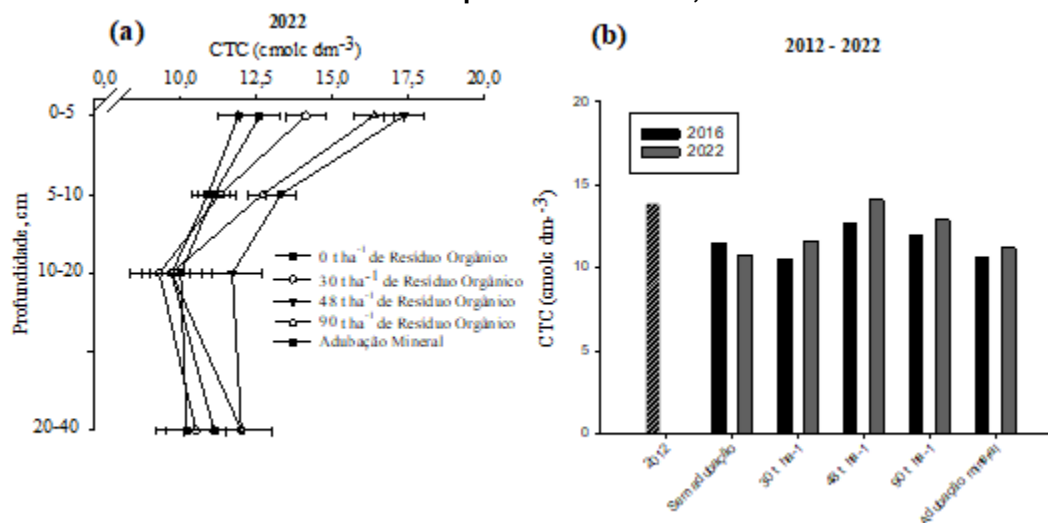
agronômica, especialmente em solos tropicais e subtropicais naturalmente propensos à acidificação.

Os resultados de pH e Al^{3+} trocável obtidos ao longo do experimento indicam que a cama de aves exerceu efeito positivo sobre a acidez do solo. Esse comportamento é explicado pelo fornecimento contínuo de Ca^{2+} e Mg^{2+} presentes tanto nas excretas das aves quanto nos minerais utilizados nas rações, como calcário calcítico e fosfato bicálcico, que neutralizam a acidez ativa e trocável do solo. Mowrer *et al.* (2020) demonstraram, em estudo de 15 anos, que a cama de aves reduz o Al^{3+} solúvel por dois mecanismos: a complexação com a matéria orgânica em pH abaixo de 5,2 e a descarboxilação microbiana em uma faixa mais ampla de pH.

Edwards *et al.* (2005) reforçam esse resultado ao verificarem que, enquanto a adubação com nitrato de amônio elevou o Al^{3+} trocável de menos de 1 mg kg^{-1} no segundo ano para mais de 100 mg kg^{-1} no sétimo ano de aplicação, a cama de aves manteve o pH elevado e os teores de Al^{3+} reduzidos ao longo de todo o período avaliado. No presente experimento, a saturação por bases mantida entre 60 e 75% (Figura 14) e os baixos teores de Al^{3+} (Figura 17) ao longo de mais de uma década indicam que propriedades rurais que utilizam cama de aves de forma contínua e em doses adequadas podem reduzir ou mesmo dispensar a prática da calagem, o que representa economia operacional significativa no sistema de produção.

A capacidade de troca catiônica (CTC) do solo apresentou tendência de aumento nas doses mais elevadas de cama de aves em 2022 em comparação a 2016, com destaque para a dose acumulada de 90 t ha^{-1} que atingiu $\sim 14 \text{ cmolc dm}^{-3}$, em contraste com os demais tratamentos que ficaram entre 10 e 12 cmolc dm^{-3} (Figura 18). O incremento da CTC em solos com argila de baixa atividade, como os Latossolos e Nitossolos predominantes no Sul do Brasil, é fortemente dependente do aumento do teor de matéria orgânica e dos cátions básicos adicionados pelas fontes orgânicas.

Figura 18 – CTC do solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm ao longo das safras. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026.

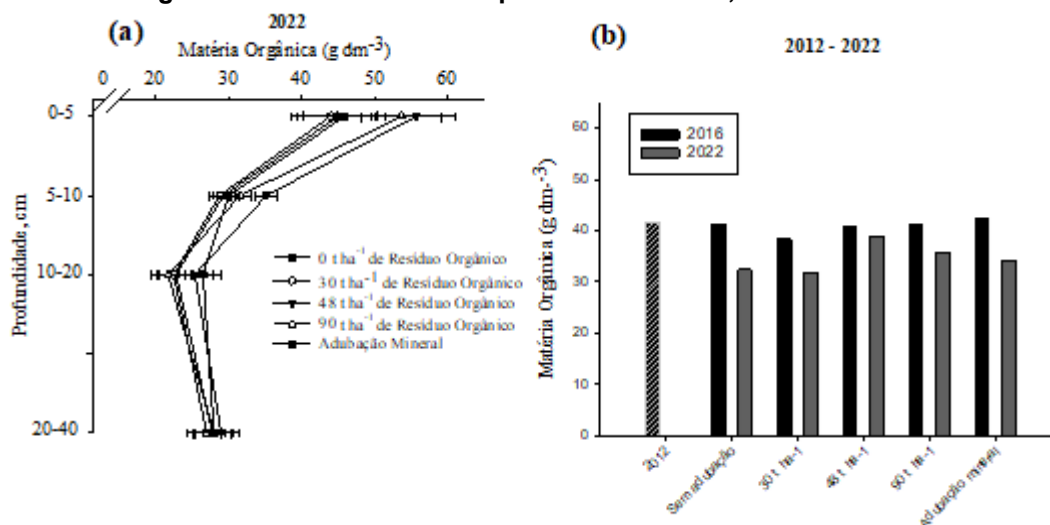


Fonte: Adaptado de Machado (2022)

Costa *et al.* (2004) demonstraram, em experimento de 21 anos em Latossolo Bruno no Paraná, que o sistema plantio direto promoveu acúmulo de carbono orgânico na camada superficial e incremento médio de 15 mmolc kg⁻¹ na CTC efetiva em comparação ao preparo convencional. No presente estudo, a adição contínua de matéria orgânica pela cama de aves, aliada ao sistema plantio direto adotado na área experimental, potencializou esse efeito, resultando em valores de CTC superiores na maior dose de cama, o que representa melhoria na capacidade de retenção de nutrientes e na resiliência da fertilidade do solo ao longo do tempo.

Os teores de matéria orgânica (MO) do solo apresentaram pequena variação entre os tratamentos e entre os períodos avaliados (2016 e 2022), com valores situados entre 33 e 43 g dm⁻³ na camada superficial (Figura 19). Não foram observadas diferenças expressivas entre os tratamentos com cama de aves e a AM, e os teores de 2022 foram em geral ligeiramente inferiores aos de 2016 em alguns tratamentos, possivelmente em virtude da maior exportação de biomassa pelas culturas nas safras mais produtivas, que pode superar temporariamente a taxa de aporte de C pela cama de aves.

Figura 19 – Teor de matéria orgânica no solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm ao longo das safras. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR. 2026.



Fonte: Adaptado de Machado (2022)

A ausência de incremento expressivo de MO com doses crescentes de cama de aves pode ser explicada por dois fatores complementares. Primeiro, solos já enriquecidos em matéria orgânica pelo manejo conservacionista de longo prazo, como ocorre em áreas sob plantio direto há mais de uma década, apresentam saturação relativa dos sítios de acúmulo de C, o que torna marginal o ganho adicional com adubação orgânica (Costa *et al.*, 2004). Segundo, a cama de aves é um material orgânico de composição lábil e mediana relação C:N, o que favorece sua mineralização relativamente rápida, com liberação de nutrientes às culturas mas com menor contribuição para o estoque estável de C do solo em comparação a compostos humificados (Carvalho, 2025).

Watts *et al.* (2010) corroboram esse resultado ao não encontrarem diferença significativa no teor de carbono orgânico total do solo entre os tratamentos com cama de aves e fertilizante mineral após cinco anos de aplicação, indicando que o efeito da cama sobre a MO é de médio a longo prazo e dependente do volume acumulado e do manejo do solo associado.

Apesar disso, a manutenção dos teores de MO em patamares elevados (33-43 g dm^{-3}) em todos os tratamentos com cama de aves, inclusive na testemunha sem adubação o que pode ser atribuído ao sistema plantio direto adotado, demonstra que o uso contínuo desse insumo orgânico não compromete os estoques de carbono do solo e contribui para a sustentabilidade do sistema produtivo ao longo do tempo.

Os resultados acumulados ao longo de mais de uma década permitem identificar três condições distintas de fertilidade do solo em função das doses de cama de aves aplicadas. A testemunha sem adubação (0 t ha^{-1}) representa o solo empobrecido, com os menores rendimentos em todas as safras, menores teores de P, K, Ca^{2+} e Mg^{2+} e menor saturação por bases, ilustrando o custo da ausência de reposição nutricional contínua e a inviabilidade econômica desse cenário ao longo do tempo.

As doses intermediárias, especialmente 6 t ha^{-1} , configuram o solo dentro dos níveis de suficiência agrônômica, com rendimentos estatisticamente equivalentes à adubação mineral em praticamente todas as safras. Zortea (2014), trabalhando com cama de aviário em Santa Catarina, observou produtividades médias de milho em torno de $10.000 \text{ kg ha}^{-1}$ com adubação orgânica, superando a referência regional de adubação mineral, o que corrobora a viabilidade dessa dose em condições edafoclimáticas do Sul do Brasil.

Os atributos químicos do solo (pH, V%, CTC e Al^{3+}) mantiveram-se em patamares adequados às culturas, sem desequilíbrio nutricional relevante, efeito que Costa *et al.* (2004), em experimento de 21 anos em Latossolo Bruno no Paraná, atribuíram ao acúmulo de carbono orgânico e ao incremento da CTC efetiva promovidos pelo manejo conservacionista de longo prazo.

A dose de 9 t ha^{-1} caracteriza um solo em condição de fertilidade elevada, com teores de P e K acima dos níveis de suficiência. Contudo, Rheinheimer e Anghinoni (2001), em experimento de longa duração no Rio Grande do Sul, demonstraram que o fósforo tende a se acumular predominantemente nas camadas superficiais em sistemas de plantio direto com adubação em superfície, elevando o risco de perdas por escoamento. De forma complementar, Piovesan *et al.* (2009) alertam que doses que excedem a capacidade de retenção do solo resultam em perdas significativas de K e N por lixiviação, comprometendo a eficiência ambiental do sistema.

Diante disso, os dados deste experimento permitem delinear uma trajetória prática: iniciar com doses mais elevadas para construção da fertilidade nos primeiros anos, conforme indicado pelo comportamento linear de resposta observado nas safras iniciais e descrito também por Novakowski *et al.* (2013) em Latossolo no Paraná; consolidar o manejo com 6 t ha^{-1} à medida que os atributos químicos atingem a suficiência, fase em que a complementação nitrogenada mineral pode ser

reduzida ou dispensada, conforme observado na safra 2022/23; e monitorar periodicamente os teores de P e K para adequar as doses ao estoque residual acumulado (Piovesan *et al.*, 2009). Essa abordagem adaptativa, sustentada por mais de uma década de dados experimentais no Sudoeste do Paraná, alia produtividade competitiva, redução de custos com insumos e preservação da qualidade ambiental do solo.

5 CONCLUSÃO

A aplicação bienal de 6 t ha⁻¹ de cama de aves equiparou-se à adubação mineral no rendimento de soja e milho.

A fertilidade do solo foi construída gradualmente, tornando o N mineralizado suficiente para suprir o milho sem adubação complementar a partir de 2022/23.

Doses mais altas elevam o risco de perdas de P e K, enquanto a ausência de adubação compromete a produtividade.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. *et al.* **Köppen's climate classification map for Brazil.** Meteorologische Zeitschrift, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, dez. 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507. Disponível em: <https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/>. Acesso em: 13 mar. 2026.
- ANDA. **Estatísticas do setor de fertilizantes: anuário 2025.** São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2026. Disponível em: <https://anda.org.br/estatisticas/>. Acesso em: 18 abr. 2026.
- ANDRADE, S. R. M. de. Impacto do déficit hídrico em diferentes fases do desenvolvimento da soja. **Revista Cultivar Grandes Culturas**, Pelotas, ed. 295, jul. 2024. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/impacto-do-deficit-hidrico-em-diferentes-fases-do-desenvolvimento-da-soja>. Acesso em: 12 maio 2026.
- BACKER, R. M. *et al.* Short-term effects of poultry litter and cattle manure on soil's chemical properties and bacterial community. **Agronomy**, v. 14, n. 7, p. 1382, 2024. DOI: 10.3390/agronomy14071382. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/14/7/1382>. Acesso em: 13 maio 2026.
- BHERING, S. B. *et al.* **Mapa de solos do Estado do Paraná: legenda atualizada.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2007. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/339505>. Acesso em: 14 mar. 2026.
- BOTTREL, S. C. *et al.* Uso da cama de frango fermentada e não fermentada na agricultura. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 4, p. e12412439268, 2023. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/39268>. Acesso em: 12 mar. 2026.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Plano Nacional de Fertilizantes 2022-2050.** Brasília, DF: MAPA, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/plano-nacional-de-fertilizantes>. Acesso em: 10 mar. 2026.
- CAMPOS, A. V. **Cama de aviário como fertilizante na produção de soja e milho.** 2022. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2022. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/31003>. Acesso em: 10 mar. 2026.
- CARVALHO, F. Cama de aviário é fertilizante orgânico? Uma reflexão que segue atual. **Associação Brasileira de Compostagem**, São Paulo, 2025. Disponível em: <https://www.abcompostagem.com.br/post/cama-de-aviario-e-fertilizante-organico-uma-reflexao-que-segue-atualcamadefrangoecompostagem>. Acesso em: 13 maio 2026.
- CNA (Confederação Da Agricultura E Pecuária Do Brasil). **Seca impacta produtividade de soja e milho na safra 2021/22.** Brasília, 2022. Disponível em:

<https://cnabrazil.org.br/noticias/seca-impacta-produtividade-de-soja-e-milho-na-safra-2021-22>. Acesso em: 13 maio 2026.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: safra 2024/25**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, 2025. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>. Acesso em: 15 abr. 2026.

CORRÊA, J. C. *et al.* Soil fertility and agriculture yield with the application of organomineral or mineral fertilizers in solid and fluid forms. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 53, n. 5, p. 633-642, 2018. DOI: 10.1590/S0100-204X2018000500633. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/mvpFK7pgS4HZbJBTZBvyNGb/>. Acesso em: 13 maio 2026.

CORRÊA, J. C.; MIELE, M. **A cama de aves e os aspectos agronômicos, ambientais e econômicos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. (Documentos, 149). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/914431/a-cama-de-aves-e-os-aspectos-agronomicos-ambientais-e-economicos>. Acesso em: 12 mar. 2026.

COSTA, A. *et al.* Cama de aviário alternativa à adubação mineral da soja em Argissolo do noroeste do Paraná. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA, 2019, Londrina. **Anais [...]**. Londrina: Embrapa Soja, 2019. Disponível em: http://www.rpcs2019.com.br/trabalhos_aprovados/arquivos/05192019_190550_5ce1d9cea13e1.pdf. Acesso em: 13 maio 2026.

COSTA, F. de S. *et al.* Aumento de matéria orgânica num Latossolo Bruno em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 587-589, mar./abr. 2004. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/22486>. Acesso em: 15 maio 2026.

DEBIASI, L. **Efeito da cama de aves na atividade enzimática do solo**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2025. Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/36361>. Acesso em: 12 mar. 2026.

EDWARDS, J. H. *et al.* Long-term effects of poultry litter, alum-treated litter, and ammonium nitrate on aluminum availability in soils. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 34, n. 6, p. 2104-2111, 2005. DOI: 10.2134/jeq2004.0392. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16275710/>. Acesso em: 15 maio 2026.

EMBRAPA. **Exigências minerais e adubação da soja**. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2026. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja>. Acesso em: 15 abr. 2026.

EMBRAPA. **Manejo da fertilidade do solo e adubação do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo>. Acesso em: 15 abr. 2026.

FENG, G. *et al.* Soil physical and hydrological properties as affected by a five-year history of poultry litter applied to a cotton-corn-soybean rotation system. **Soil Science Society of America Journal**, v. 85, n. 3, p. 703-718, 2021. DOI: 10.1002/saj2.20224. Disponível em:

<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/saj2.20224>. Acesso em: 13 maio 2026.

FIETZ, C. R.; FISCH, G. F. **O clima da região de Dourados, MS**. 2. ed. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 32 p. (Documentos, 92). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/856346/>. Acesso em: 12 mar. 2026.

FRIGOTTO, V. L. **Balanço de fósforo no solo sob uso de cama de aves durante 11 anos**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2024. Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/33405>. Acesso em: 12 mar. 2026.

GROHNSKOPF, M. A. *et al.* Phosphate fertilization with organomineral fertilizer on corn crops on a Rhodic Khandiudox with a high phosphorus content. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 54, e00434, 2019. DOI: 10.1590/s1678-3921.pab2019.v54.00434. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/y9qqrjJhDWcrftM6HkwBwFH/>. Acesso em: 13 maio 2026.

HE, Z. *et al.* Long-Term Cropping System, Tillage, and Poultry Litter Application Affect the Chemical Properties of an Alabama Ultisol. **Pedosphere**, v. 29, n. 2, p. 180-194, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1002016019607976>. Acesso em: 13 maio 2026.

IPEA. **Fertilizantes: dependência externa e impacto produtivo**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2025. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br>. Acesso em: 18 abr. 2026.

LEMOS, M. S. *et al.* Uso da cama de frango como adubo na agricultura. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 12, n. 2, p. 115-122, 2014. Disponível em: <https://periodicos.unir.br/index.php/rolimdemoura/article/view/1182>. Acesso em: 12 mar. 2026.

MACHADO, G. F. **Dinâmica dos atributos químicos no perfil do solo sob aplicação de cama de aves de frango de corte**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2022. Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/29241>. Acesso em: 12 mar. 2026.

METZNER, C. M.; BERTOLINI, G. R. F.; LEISMANN, E. L.; SCHMIDT, A. O. **Analysis of technical and economic feasibility studies of using the poultry litter as organic fertilizer**. 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/319153404>. Acesso em: 19 maio 2026.

MOWRER, J. *et al.* Liming potential of poultry litter in a long-term tillage comparison study. **Soil and Tillage Research**, v. 196, art. 104446, 2020. DOI: 10.1016/j.still.2019.104446. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167198718314259>. Acesso em: 13 maio 2026.

NASA. **POWER Project: Prediction of Worldwide Energy Resources. Precipitação corrigida mensal e anual (PRECTOTCORR_SUM) — MERRA-2.** Latitude: -25,7015; Longitude: -53,1129. Período: jan. 2012 – dez. 2025. Washington: NASA Langley Research Center, 2025. Disponível em: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. Acesso em: 19 maio 2026.

NOVAKOWISKI, J. H. *et al.* Adubação orgânica em sistema de integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 4, p. 1663-1672, 2013. Disponível em: <https://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/download/10866/13054>. Acesso em: 13 maio 2026.

PIOVESAN, R. P.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V.; REISSMANN, C. B. Perdas de nutrientes via subsuperfície em colunas de solo sob fertilização mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 757-766, ago. 2009. DOI: 10.1590/S0100-06832009000400002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/tXnnG5qm4rvc9KripsLGFPk/>. Acesso em: 19 maio 2026.

PIZZATTO, I. F.. **Cama de aviário como fertilizante na produtividade de milho e no acúmulo de nutrientes no solo em experimento de longa duração.** 2017. 54 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2017. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/2424>. Acesso em: 18 mai. 2026.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 151-160, jan. 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/v9W36vDCp5nffLnBWWF4HRp/?lang=pt>. Acesso em: 14 maio 2026.

ROCHA, K. F. *et al.* Épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho num Latossolo Vermelho muito argiloso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 3, p. 273-284, 2014. Disponível em: https://rbms.sede.embrapa.br/ojs/article/download/487/pdf_103/5669. Acesso em: 13 maio 2026.

ROGERI, D. A. *et al.* Mineralização e nitrificação do nitrogênio proveniente da cama de aves aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 6, p. 534-540, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n6p534-540>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/6WnVLGKjpgHfHQw3rRPR9rx/>. Acesso em: 15 maio 2026.

SBARDELOTTO, G. A.; CASSOL, L. C. Desempenho da cultura do milho submetida a níveis crescentes de cama de aviário. **Synergismus Scientifica UTFPR**, Pato Branco, v. 4, n. 1-3, 2009. Disponível em: <http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/SysScy/article/view/570>. Acesso em: 13 maio 2026.

SINPRIFERT. **Dependência de fertilizantes no Brasil e risco sistêmico**. São Paulo: Sindicato Nacional das Indústrias de Matérias-Primas para Fertilizantes, 2026. Disponível em: <https://www.sinprifert.com.br>. Acesso em: 18 abr. 2026.

THOMAZINI, S. C. N. *et al.* Reutilização de cama de aviário compostada na produção agrícola: uma abordagem sustentável. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 10, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/33141>. Acesso em: 12 mar. 2026.

UNFCCC. **Draft conclusions proposed by the Chairs: Sharm el-Sheikh joint work on implementation of climate action on agriculture and food security (SJWA)**. Bonn: UNFCCC, 2025. Disponível em: <https://unfccc.int>. Acesso em: 10 mar. 2026.

VALADÃO, F. C. A. *et al.* Variação nos atributos do solo em sistemas de manejo com aplicação de cama de frango. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1709-1717, 2011. DOI: 10.1590/S0100-06832011000600022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000600022>. Acesso em: 12 mar. 2026.

WATTS, D. B.; TORBERT, H. A. Poultry litter effects on soybean yield and soil fertility. **Agronomy Journal**, v. 103, n. 3, p. 745-752, 2011. DOI: 10.2134/agronj2010.0401. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0401>. Acesso em: 15 maio 2026.

WATTS, D. B. *et al.* Long-term tillage and poultry litter impacts soil carbon and nitrogen mineralization and fertility. **Soil Science Society of America Journal**, v. 74, n. 4, p. 1239-1247, 2010. DOI: 10.2136/sssaj2008.0415. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssaj2008.0415>. Acesso em: 15 maio 2026.

WATTS, D. B. *et al.* Continuous poultry litter applications impact on corn yield and soil properties. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 4, p. 1234-1242, 2018. DOI: 10.2134/agronj2017.11.0645. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronj2017.11.0645>. Acesso em: 15 maio 2026.

WATTS, D. B. *et al.* Nitrogen efficiency in corn fertilized with poultry litter. **Agronomy Journal**, 2024. DOI: 10.1002/agj2.21524. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/agj2.21524>. Acesso em: 15 maio 2026.

WEISS, G. Dependência de importação de fertilizantes expõe fragilidade do Brasil. **Globo Rural**, São Paulo, 26 nov. 2025. Disponível em: <https://globorural.globo.com>. Acesso em: 18 abr. 2026.

WITHERS, P. J. A. *et al.* Strategies to overcome the global phosphorus crisis and sustain food security. **Nature Communications**, London, v. 9, n. 1, p. 1-13, 2018. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-018-02989-1>. Acesso em: 22 maio 2024.

ZORTEA, L. F. **Produção de milho com utilização de adubação orgânica no Planalto Catarinense**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, Curitibanos, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/134323>. Acesso em: 10 maio 2026.