

Balanço de nutrientes e parâmetros de solo com uso de organomineral em sistema de plantio direto consolidado

Nutrient balance and soil properties under organomineral fertilization in a consolidated no-tillage system

Balance de nutrientes y parámetros del suelo con el uso de fertilizantes organominerales en un sistema de siembra directa consolidado

André Sordi

Universidade do Oeste de Santa Catarina, campus de Maravilha, Santa Catarina, Brasil

 0000-0002-6255-889X

Jonatas Thiago Piva

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil

 0000-0002-3060-6885

Claudia Klein

Universidade do Oeste de Santa Catarina, São Miguel do Oeste, Santa Catarina, Brasil

 0000-0001-8470-7617

Alceu Cericato

Universidade do Oeste de Santa Catarina, Campus de Maravilha, Santa Catarina, Brasil

 0000-0002-5607-2391

Eduardo Henrique Dall Agnol Marx

Fazenda Werlang, Cunha Porã, Santa Catarina, Brasil

 0009-0007-8741-7608

Fernando Schneider

Sistema Faesc/Senar, Santa Catarina, Brasil

 0009-0008-7013-0106

Resumo: O balanço de nutrientes é um importante indicador da eficiência dos sistemas de cultivo. A utilização de fertilizantes organominerais que integram fontes orgânicas e minerais, além de contribuir para a manutenção da fertilidade e da qualidade do solo, melhora a disponibilidade e o aproveitamento dos nutrientes. O estudo foi conduzido no município de Maravilha, SC, com início em 2022, contemplando o cultivo de trigo, milho (safra 2022/23), soja (safra 2023/24) e milho (safra 2024/25). Os tratamentos foram compostos por doses equivalentes a 10%, 25%, 50%, 75% e 100% da recomendação de adubação organomineral, além de um tratamento com 100% da dose mineral. Foram avaliados o rendimento das culturas, a taxa de exportação, o balanço e o aproveitamento de nutrientes, além de atributos químicos do solo, como pH em H₂O, SMP, fósforo, potássio e teor de carbono. As variáveis foram submetidas à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. O uso de adubação organomineral mostrou potencial para manter a produtividade das culturas de trigo, soja e milho em sistema de plantio direto consolidado, com respostas positivas no balanço nutricional e na fertilidade do solo ao longo dos ciclos produtivos. As doses elevadas de organomineral favorecem o equilíbrio de nutrientes. Observou-se, contudo, tendência de redução no rendimento e de seus teores no solo com a diminuição das doses, evidenciando a importância do manejo equilibrado de nutrientes no solo.

Palavras-chave: exportação de nutrientes; eficiência do uso de nutrientes; teores de nutrientes no solo.

Abstract: Nutrient balance is an important indicator of the efficiency of cropping systems. The use of organomineral fertilizers, which integrate organic and mineral sources, in addition to contributing to the maintenance of soil fertility and quality, improves the availability and utilization of nutrients. The study was conducted in the municipality of Maravilha (SC), starting in 2022, encompassing the cultivation of wheat, corn (2022/23 crop), soybeans (2023/24 crop) and corn (2024/25 crop). The treatments consisted of doses equivalent to 10%, 25%, 50%, 75% and 100% of the organomineral fertilization recommendation, in addition to a treatment with 100% of the mineral dose. Agronomic parameters of the plants, export rate, nutrient balance and utilization, as well as soil chemical attributes such as pH in H₂O, SMP, phosphorus, potassium, and carbon content were evaluated. The variables were subjected to analysis of variance, and the means were compared using Tukey's test at a 5% probability level. The use of organomineral fertilization showed potential to maintain the productivity of wheat, soybean, and corn crops in a consolidated no-till system, with positive responses in nutritional balance and soil fertility throughout the production cycles. The higher doses of organomineral fertilizer provided higher levels of phosphorus and potassium, reflecting a better nutrient balance. However, a tendency towards reduced yield and soil levels was observed with decreasing doses, highlighting the importance of balanced nutrient management in the soil.

Keywords: nutrient export; nutrient use efficiency; nutrient levels in the soil.

Resumen: El balance de nutrientes es un indicador importante de la eficiencia de los sistemas de cultivo. El uso de fertilizantes organominerales, que integran fuentes orgánicas y minerales, mejora la disponibilidad y utilización de nutrientes, además de contribuir al mantenimiento de la fertilidad y calidad del suelo. El estudio se realizó en el municipio de Maravilha (SC), a partir de 2022, abarcando el cultivo de trigo, maíz (cosecha 2022/23), soja (cosecha 2023/24) y maíz (cosecha 2024/25). Los tratamientos consistieron en dosis equivalentes al 10%, 25%, 50%, 75% y 100% de la fertilización organomineral recomendada, además de un tratamiento con el 100% de la dosis mineral. Se evaluaron el rendimiento del cultivo, la tasa de exportación, el balance y utilización de nutrientes, así como atributos químicos del suelo tales como pH en H₂O, SMP, fósforo, potasio y contenido de carbono. Las variables se sometieron a un análisis de varianza y las medias se compararon mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5%. El uso de fertilizantes organominerales demostró potencial para mantener la productividad de los cultivos de trigo, soja y maíz en un sistema consolidado de siembra directa, con respuestas positivas en el balance nutricional y la fertilidad del suelo a lo largo de los ciclos de producción. Dosis más altas de fertilizantes organominerales proporcionaron mayores niveles de fósforo y potasio, lo que refleja un mejor equilibrio de nutrientes. Sin embargo, se observó una tendencia a la disminución del rendimiento y de los niveles de nutrientes del suelo al disminuir las dosis, lo que subraya la importancia de un manejo equilibrado de los nutrientes en el suelo.

Palabras clave: exportación de nutrientes; eficiencia en el uso de nutrientes; niveles de nutrientes del suelo.

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimentos, aliada à necessidade de sistemas agrícolas mais eficientes e sustentáveis, tem impulsionado a busca por estratégias que otimizem o uso de nutrientes no solo. O manejo inadequado da adubação pode resultar em perdas significativas de nutrientes por lixiviação, volatilização, exportação ou fixação no solo, comprometendo a eficiência agrônômica, reduzindo a produtividade das culturas e ampliando os impactos ambientais.

A taxa de exportação de nutrientes constitui um importante indicador da fertilidade do solo e da sustentabilidade dos sistemas agrícolas, por expressar a relação entre os nutrientes removidos pela colheita e aqueles adicionados por meio da adubação. Em sistemas produtivos, a utilização de doses inferiores à exportação pode promover balanço nutricional negativo, aumentando o risco de depleção da fertilidade do solo e de redução da produtividade ao longo do tempo. Dessa forma, o monitoramento da exportação de nutrientes representa uma ferramenta relevante para avaliar a eficiência do manejo da adubação e subsidiar recomendações mais sustentáveis para a agricultura.

Os fertilizantes organominerais têm se destacado como uma alternativa promissora aos fertilizantes minerais convencionais por associarem fontes orgânicas e minerais em um único produto. A fração orgânica contribui para a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, enquanto a fração mineral assegura o fornecimento imediato de nutrientes às plantas. Essa combinação pode favorecer a liberação gradual de nutrientes, reduzir perdas e aumentar a eficiência de uso, especialmente em culturas com elevada exigência nutricional.

Apesar do crescente interesse pelos fertilizantes organominerais, os resultados disponíveis na literatura ainda apresentam divergências quanto aos seus efeitos agrônômicos e à dinâmica dos nutrientes no solo. Freitas *et al.* (2021) observaram desempenho semelhante ao da adubação mineral convencional na cultura do milho, enquanto Santos *et al.* (2021) verificaram maior acúmulo de fósforo e potencial para substituição da adubação mineral utilizando as mesmas doses de NPK. Benites *et al.* (2022) também relataram maior eficiência agrônômica em doses elevadas, atribuída à liberação gradual de nutrientes, ao estímulo da atividade biológica e ao aproveitamento de resíduos orgânicos, especialmente cama de aves. De forma complementar, Negreiros *et al.* (2024) demonstraram que fertilizantes organominerais à base de sulfato de potássio, associados a ácidos húmicos e fúlvicos, favorecem a absorção de nutrientes como cobre, ferro e zinco, promovendo aumento da massa de grãos, do rendimento do milho-doce e da produtividade da cultura em decorrência da maior eficiência no aproveitamento dos nutrientes do solo. Em conjunto, esses estudos evidenciam o potencial dos fertilizantes organominerais, mas também demonstram que sua resposta é influenciada pelas características do solo, pelas condições de manejo e pelo tempo de utilização.

Yang *et al.* (2020) demonstraram que a aplicação de fertilizantes organominerais pode reduzir os efeitos negativos decorrentes do uso excessivo de fertilizantes minerais, favorecendo a recuperação da qualidade do solo, aumentando a atividade biológica e promovendo maior crescimento e qualidade nutricional das plantas. Os autores destacam, entretanto, que ainda são necessários estudos de longo prazo para definir estratégias de manejo capazes de maximizar os benefícios agrônômicos desses fertilizantes em sistemas agrícolas intensivos.

Segundo Teixeira (2013) é imprescindível que os fertilizantes promovam aumento da produtividade e da rentabilidade sem exigir elevação proporcional das doses aplicadas. Nesse sentido, alternativas que proporcionem maior eficiência no uso dos nutrientes e reduzam a dependência externa de insumos tornam-se fundamentais. A utilização de resíduos orgânicos na formulação de fertilizantes organominerais destaca-se como uma estratégia viável, uma vez que esses materiais podem complementar ou substituir parcialmente a adubação mineral convencional.

Embora os estudos disponíveis demonstrem respostas positivas dos fertilizantes organominerais sobre a produtividade das culturas e, em alguns casos, sobre atributos relacionados à fertilidade do solo, a maior parte dessas pesquisas concentra-se na avaliação da resposta das culturas em experimentos de curta duração. Assim, permanecem limitadas as informações sobre os efeitos do uso continuado desses fertilizantes em sistemas de plantio direto consolidados, especialmente quanto à avaliação integrada dos teores de nutrientes no solo, das taxas de exportação e da eficiência de uso de nutrientes ao longo de sucessivos cultivos. Essa lacuna restringe a compreensão dos impactos do uso continuado de fertilizantes organominerais sobre o equilíbrio nutricional do sistema solo-planta e dificulta o estabelecimento de recomendações de manejo mais eficientes e sustentáveis.

Diante desse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de doses crescentes de fertilizante organomineral sobre a produtividade, a exportação, o balanço e eficiência de uso de nutrientes de N, P e K, bem como sobre os atributos químicos do solo, em um sistema de plantio direto consolidado submetido a quatro safras sucessivas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental da Universidade do Oeste de Santa Catarina (Unoesc), campus Maravilha, SC (26°45'54,44"S; 53°11'45,18"O), a 572m de altitude. O clima da região é classificado como Cfa, segundo a classificação de Köppen, caracterizado como subtropical úmido, e o solo da área experimental é classificado como Nitossolo Bruno Distrófico (Santos *et al.*, 2025).

A caracterização química e granulométrica do solo foi realizada em janeiro de 2022, antes da implantação do experimento, na camada de 0–10cm, indicando 40% de argila, pH em água de 6,0, índice SMP de 6,6, teores de 59,2mg dm⁻³ de fósforo (P) e 236mg dm⁻³ de potássio (K), 4,5% de matéria orgânica do solo (MOS), 7,8cmolc dm⁻³ de cálcio (Ca), 4,4cmolc dm⁻³ de magnésio (Mg), ausência de alumínio (Al³⁺) trocável, capacidade de troca de cátions (CTC) de 15,05cmolc dm⁻³, acidez potencial (H+Al) de 2,24cmolc dm⁻³ e saturação por bases de 85,1%.

O experimento foi implantado no ano agrícola de 2022, com o objetivo de avaliar doses crescentes de adubação organomineral em comparação com tratamento de adubação mineral convencional. Foram avaliadas quatro safras consecutivas de grãos: trigo (2022), milho (2022/2023), soja (2023/2024) e milho (2024/2025). As doses de adubação foram definidas com base nas recomendações do Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (SBCS, 2016), considerando expectativas de rendimento de 4, 10, 4 e 12Mg ha⁻¹ para as respectivas safras. Entre as safras de grãos, foram conduzidas culturas de cobertura visando à manutenção da palhada e à melhoria das condições físicas e químicas do solo.

As doses de adubação organomineral foram estabelecidas com base nas recomendações do Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (SBCS, 2016). A dose denominada D100 correspondeu a 100% da recomendação para cada cultura, enquanto as demais doses corresponderam a 10, 25, 50 e 75% dessa recomendação (D10, D25, D50 e D75, respectivamente). O tratamento mineral consistiu na aplicação de 100% da adubação mineral recomendada (Mineral 100). As formulações dos fertilizantes foram ajustadas de acordo com a cultura e suas exigências nutricionais, sendo as complementações de nitrogênio (N) realizadas por meio da aplicação de ureia.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com seis tratamentos e quatro repetições. A área total do experimento foi de 1.120m², sendo cada parcela composta por 46,6m², com área útil central destinada à coleta de dados e à minimização dos efeitos de bordadura.

Para as culturas de milho e trigo, foi utilizado o fertilizante organomineral FertiMilho®, enquanto para a cultura da soja foi utilizado o fertilizante FertiSoja®. A composição nutricional dos fertilizantes utilizados é apresentada no Quadro 1.

Tabela 1 – Composição nutricional dos fertilizantes organominerais utilizados no experimento

Produto/ Teores	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	C	Umi.
	----- % -----										
FertiSoja	4	14	14	5	2	0,3	0,0025	0,012	0,0002	12	3-5
FertiMilho	6	14	8	5	2	0,3	0,0025	0,0125	0,0002	12	3-5

Fonte: Ferticel Ind. de Fertilizante LTDA (s.d.).

Na safra 2023/2024, a cultura da soja recebeu fertilizante organomineral. Embora o tratamento mineral também tenha sido aplicado nessa safra, sua quantificação não foi possível devido a problemas operacionais durante a condução do experimento. Dessa forma, os dados referentes ao tratamento mineral não foram considerados nos cálculos de exportação, balanço e eficiência do uso de nutrientes. Adicionalmente, a exportação, o balanço e a taxa de desfrute de nitrogênio (N na cultura da soja não foram incluídos nos cálculos em razão da fixação biológica de nitrogênio, que inviabiliza a estimativa da contribuição exclusiva do fertilizante para esse nutriente.

Em todas as safras, foram avaliados o rendimento de grãos, bem como os teores de N, P e K no tecido vegetal, conforme metodologia descrita por Tedesco *et al.* (1995). A partir desses dados, foram determinados a exportação, o balanço e a eficiência de uso de nutrientes, conforme os procedimentos propostos por Cunha, Francisco e Prochnow (2018).

Ao final do ano agrícola 2024/2025, foram realizadas análises de carbono orgânico do solo (C), matéria orgânica do solo (MOS), pH em água, índice SMP e teores de P e K nas camadas de 0–10 e 10–20cm, de acordo com a metodologia descrita por Tedesco *et al.* (1995).

Os dados de rendimento de grãos, exportação e balanço de nutrientes foram expressos em kg ha⁻¹, enquanto a eficiência de uso de nutrientes foi expressa em porcentagem. Todas as variáveis foram submetidas à análise de variância (ANOVA), utilizando-se o teste F, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, adotando-se nível de significância de 95%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Observa-se, na Tabela 2, que houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os tratamentos para a cultura do trigo, sendo os maiores rendimentos obtidos nas doses D25, D50 e D75, as quais não diferiram estatisticamente entre si, enquanto a dose D100 apresentou o menor rendimento. Para as safras de milho (2022/2023) e soja (2023/2024), não houve diferença significativa entre os tratamentos avaliados. A reduzida resposta das culturas nas primeiras safras pode estar relacionada à elevada fertilidade inicial do solo, cujos altos níveis de nutrientes provavelmente foram suficientes para suprir a demanda das plantas, reduzindo o efeito das diferentes doses de fertilizante sobre a produtividade.

Tabela 2 – Rendimento de grãos das culturas das 04 safras em função de suas safras com uso de adubação com organomineral e mineral. Maravilha/SC 2026

Tratamentos	Cultura/safra			
	Trigo (2022)	Milho (22/23)	Soja (23/24)	Milho (24/25)
	----- Rendimento (Kg ha ⁻¹) -----			
D10	1973,4 ab	13031 ^{ns}	4602,1 ^{ns}	9521,8c
D25	2219,9 a	12724	4766,6	10246,8bc
D50	2228,4 a	11333	5375,0	10834,4bc
D75	2064,8 a	11823	5841,7	12381,2a
D100	1690,9 c	11692	5792,9	10650,0 bc
Mineral 100	1695,4 bc	12406	-	11337,5 ab
CV (%)	9,94	8,21	17,94	5,75

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Nota: Média seguida pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%. ns: não significativo.

Na última safra de milho (2024/2025), os maiores rendimentos foram observados nos tratamentos D75 e Mineral 100. Embora o tratamento D100 tenha recebido maior aporte de nutrientes, seu rendimento foi estatisticamente inferior ao D75 e não diferiu do tratamento Mineral 100. Esse comportamento indica que o incremento da dose de fertilizante organomineral não resultou em aumento proporcional da produtividade, sugerindo que, nas condições deste estudo, fatores além do suprimento nutricional também influenciaram o rendimento da cultura. Ressalta-se, entretanto, que a ausência de superioridade produtiva do tratamento D100 não implica, necessariamente, menor eficiência do fertilizante, uma vez que o rendimento de grãos resulta da interação entre diversos fatores edáficos, climáticos e fisiológicos, não sendo determinado exclusivamente pela dose de nutrientes aplicada.

Grohskopf *et al.* (2019), ao estudarem o uso de fertilizante organomineral em Nitossolo Vermelho com elevado teor de fósforo, verificaram que a aplicação de organomineral à base de cama de aves promoveu maior rendimento de grãos de milho (*Zea mays*), apresentando índice de eficiência agrônômica 20% superior ao fertilizante mineral. Por outro lado, Freitas *et al.* (2021) observaram que o fertilizante organomineral não influenciou o desenvolvimento morfológico do milho, embora tenha apresentado eficiência semelhante à adubação mineral quando aplicado na semeadura, evidenciando que a resposta agrônômica aos organominerais pode variar conforme as condições de cultivo.

Segundo Pereira, Diniz e Rezende (2020), a variabilidade nos incrementos de produtividade obtidos com fertilizantes organominerais, quando comparados aos fertilizantes minerais convencionais, dificulta a consolidação de recomendações específicas de doses, uma vez que sua eficiência depende das características do fertilizante, das condições do solo, do ambiente e do sistema de manejo. Os resultados do presente estudo corroboram essa interpretação, demonstrando que a resposta produtiva aos fertilizantes organominerais nem sempre apresenta comportamento linear em função do aumento das doses aplicadas.

Quanto à taxa de aproveitamento dos nutrientes na safra 2022/2023, envolvendo as culturas de trigo e milho (Tabela 3), verificou-se que os maiores percentuais ocorreram na dose D10 para todos os nutrientes avaliados, diferindo significativamente das doses D25, D50, D75, D100 e Mineral 100. Embora esse comportamento possa sugerir maior eficiência de utilização dos nutrientes, ele reflete principalmente o reduzido aporte promovido pela fertilização, fazendo com que as culturas dependessem em maior intensidade das reservas naturais do solo para suprir suas exigências nutricionais. Assim, elevadas taxas de aproveitamento, associadas a baixos aportes de nutrientes, constituem indicativo de maior exploração da fertilidade do solo e podem resultar em balanços nutricionais negativos quando mantidas por sucessivos ciclos de cultivo.

Tabela 3 – Eficiência de uso de nutrientes anual de nitrogênio, fósforo e potássio nas, da cultura de trigo e milho (safras 2022-2023), em função da adubação com organomineral e mineral. Maravilha/SC 2026

Tratamentos	Nitrogênio		Fósforo		Potássio	
			%			
D10	11.082,20	A	3.872,00	A	2.847,00	A
D25	316,50	B	85,00	B	123,00	B
D50	144,90	B	39,00	B	56,00	B
D75	97,60	B	26,00	B	38,00	B
D100	70,00	B	19,00	B	27,00	B
Mineral 100	73,60	B	20,00	B	28,00	B
C.V. (%)	14,19		14,44		13,59	

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Nota: Média seguida pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Na cultura do milho, na safra 2024/2025 (Tabela 4), observou-se comportamento semelhante para o potássio. As menores doses de organomineral (D10 e D25) proporcionaram reduzido aporte do nutriente, resultando em elevadas taxas de aproveitamento e balanços nutricionais negativos, indicando que parte significativa do potássio exportado pelos grãos foi proveniente das reservas do solo. Nas doses intermediárias (D50 e D75), verificou-se aumento da exportação em decorrência da maior produtividade, porém com redução do déficit nutricional. Já a dose D100 apresentou o balanço menos negativo e taxa de aproveitamento mais equilibrada, aproximando-se do comportamento observado para o fertilizante mineral, evidenciando maior equilíbrio entre a quantidade de potássio aplicada e a removida pela colheita.

Tabela 4 – Teor de potássio, exportação, balanço e eficiência de K₂O da cultura do milho (safra 2024/2025) submetido ao uso de diferentes doses de fertilizante organomineral e mineral. Maravilha/SC

Tratamentos	Teor de K (%)		K ₂ O Exp. (kg ha ⁻¹)		Bal. K ₂ O (kg ha ⁻¹)		Desf. K ₂ O (%)
D10	0,45	AB	49,20	B	-43,20	D	820,90 A
D25	0,37	B	46,00	B	-31,00	CD	306,90 B
D50	0,42	AB	54,60	AB	-24,60	BC	182,20 C
D75	0,37	B	57,00	AB	-12,00	B	126,80 C
D100	0,45	AB	53,60	AB	6,30	A	89,30 C
Mineral 100	0,52	A	65,90	A	-25,90	BC	164,80 C
C. V. (%)	13,76		12,62		-31,50		15,53

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Nota: Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tendências semelhantes foram observadas para os nutrientes fósforo e nitrogênio (Tabelas 5 e 6), na safra 24/25, nas quais as doses iguais ou superiores a 75% da recomendação de organomineral promoveram maior equilíbrio entre o aporte e a exportação de nutrientes. Destaca-se que, para o fósforo, o tratamento D100 apresentou balanço positivo (+13,82kg ha⁻¹), enquanto o tratamento Mineral 100 apresentou balanço negativo (-14,10kg ha⁻¹), indicando maior capacidade do fertilizante organomineral em manter o nutriente no sistema. Esse comportamento pode estar relacionado à fração orgânica presente no fertilizante, que favorece a competição de ácidos orgânicos pelos sítios de adsorção de fósforo, reduzindo sua fixação por óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio e aumentando sua permanência em formas potencialmente disponíveis às plantas (Sá *et al.*, 2017). Dessa forma, além da liberação gradual de nutrientes, a redução da adsorção de fósforo pode ter contribuído para o balanço positivo observado no tratamento D100.

Tabela 5 – Teor de fósforo, exportação, balanço e eficiência de P₂O₅ da cultura do milho (safra 24/25) submetido ao uso de diferentes doses de fertilizante organomineral e mineral. Maravilha/SC.

Tratamentos	Teor de P ₂ O ₅ (%)		P ₂ O ₅ Exp. (kg ha ⁻¹)		Bal. P ₂ O (kg ha ⁻¹)		Desf. P ₂ O ₅ (%)
D10	0,70	B	64,60	C	-54,10	D	615,60 A
D25	0,82	A	82,20	BC	-56,00	D	313,30 B
D50	0,80	AB	88,50	AB	-35,90	C	168,50 C
D75	0,80	AB	100,20	A	-21,50	BC	127,30 C
D100	0,87	A	91,10	AB	13,82	A	86,80 C
Mineral 100	0,77	AB	84,10	AB	-14,10	B	120,10 C
C. V. (%)	6,32		9,04		-27,48		19,31

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Nota: Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 6 – Teor de nitrogênio, exportação, balanço eficiência de nitrogênio da cultura do milho (safra 24/25) submetido ao uso de diferentes doses de fertilizante organomineral e mineral. Maravilha/SC

Tratamentos	Teor de N (%)		N Exp. (kg ha ⁻¹)		Bal. N (kg ha ⁻¹)		Desf. N (%)
D10	1,85	B	174,60	E	-147,60	E	646,60 A
D25	2,15	A	219,60	BC	-126,90	E	236,90 B
D50	2,20	A	234,80	B	-49,40	D	126,60 C
D75	2,10	A	267,80	A	10,70	C	96,10 D
D100	2,30	A	242,10	AB	129,10	A	65,20 D
Mineral 100	1,80	B	198,40	CD	71,60	B	73,50 D
C. V. (%)	4,49		5,76		-68,40		11,09

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Nota: Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

O balanço acumulado das quatro safras (Tabela 7) evidenciou tendência de esgotamento dos nutrientes do solo quando utilizadas doses inferiores a 50% da recomendação de organomineral. Embora a elevada fertilidade inicial do solo tenha contribuído para manter a produtividade nas primeiras safras, a reposição insuficiente dos nutrientes exportados favoreceu balanços nutricionais progressivamente mais negativos ao longo do experimento. Considerando o conjunto dos resultados obtidos, observa-se que doses entre 75 e 100% da recomendação proposta pelo Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (SBCS, 2016) apresentaram maior capacidade de manter o equilíbrio entre o aporte e a exportação de nutrientes, constituindo, nas condições deste estudo, a faixa de doses com maior potencial para preservar a fertilidade do solo em sistema conduzido sob plantio direto consolidado.

A quantidade de nutrientes exportada pelos grãos constitui um dos principais parâmetros para o planejamento da adubação das safras subsequentes, pois representa a fração efetivamente removida do sistema produtivo. Nesse sentido, Duarte *et al.* (2019), ao avaliarem os teores de macro e micronutrientes em grãos de milho produzidos em diferentes regiões brasileiras, verificaram que o aumento da produtividade altera a concentração de nutrientes nos grãos, indicando que os coeficientes tradicionalmente utilizados podem superestimar ou subestimar a remoção real de nutrientes pelas culturas. Esses resultados reforçam a importância da atualização periódica dos coeficientes de exportação empregados nas recomendações de adubação, considerando a evolução genética das cultivares e os avanços no manejo agrícola.

Tabela 7– Exportação, balanço e taxa de eficiência final (4 safras) de fósforo, potássio e nitrogênio com uso de doses de organomineral e mineral. Maravilha/SC 2026

Dose	Exp. P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Bal. P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Desf P ₂ O ₅ %	K ₂ O Exp. kg ha ⁻¹	Bal. K ₂ O kg ha ⁻¹	Desf. K ₂ O %	Exp. N kg ha ⁻¹	Bal. N kg ha ⁻¹	Desf. N %
D10	196,3c	-177,5f	1044,1 a	128,1ab	-116,5f	1104,8 a	396,2b	-367,2f	1366,2a
D25	215,7bc	-81,22e	160,8 b	125,1b	-54,6e	177,4 b	442,7ab	-279,5e	271,2b
D50	226,87ab	40,2d	84,9 c	133,6ab	7,3d	94,8c	439,1ab	-112,5d	134,5c
D75	237,3a	163,4c	59,22c	136,1ab	75,3c	64,3cd	474,3a	15,67c	96,7c
D100	226,1ab	308,1a	42,3c	131,6ab	150,7 a	46,5d	439,4ab	213,8a	67,2c
Mineral 100	220,1ab	263,4 b	44,07c	145,1a	107,8b	55,4d	405,8b	146,12b	73,5c
Cv (%)	4,05	10,37	9,4	5,71	26,83	5,46	4,78	-32,36	12,85

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Nota: Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Dessa forma, a avaliação conjunta da exportação, do balanço, da eficiência do uso de nutrientes e da ciclagem de nutrientes constitui uma abordagem mais abrangente para avaliar a eficiência da adubação e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, pois integra simultaneamente a reposição de nutrientes via fertilização e sua remoção pela colheita. Segundo Cunha, Francisco e Prochnow (2018) e Coelho (2023), esses indicadores permitem monitorar a manutenção da fertilidade do solo ao longo do tempo e fornecem subsídios mais consistentes para o estabelecimento de estratégias de adubação que conciliem elevada produtividade com a conservação da capacidade produtiva dos solos.

Ao final do ciclo de cultivos de grãos, após quatro safras, realizou-se a análise de solo, na qual os parâmetros pH em H₂O, SMP, teor de carbono e matéria orgânica não foram observadas diferenças entre os tratamentos, embora tenham sido observadas diferenças entre as camadas de solo (Tabela 8).

Tabela 8 – Potencial de hidrogênio (pHH₂O), SMP, carbono orgânico, matéria orgânica do solo submetido ao uso de diferentes doses de fertilizante organomineral e mineral em função da camada amostrada. Maravilha/SC 2026

Tratamento/ Camada (cm)	pH_H ₂ O	SMP	Carbono (g kg ⁻¹)	M.O. (%)
D10	5,48 A	6,02 ^{ns}	17,10 ^{ns}	3,07 ^{ns}
D25	4,81 B	5,65	17,25	2,93
D50	5,12 AB	5,86	19,05	3,28
D75	5,21 AB	5,88	19,67	3,38
D100	4,83 B	5,67	19,88	3,41
Mineral 100	5,31 AB	5,98	19,71	3,41
0-10	4,95 B	5,68 B	21,28 A	3,67 A
10-20	5,03 A	6,01 A	16,42 B	2,83 B
C. V. (%)	7,40	5,37	11,44	11,52

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Nota: Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro. ns: não significativo.

Na Tabela 9, observa-se que os teores de potássio diferiram significativamente ($p \leq 0,05$) em função das doses de fertilizante organomineral e das camadas amostradas. Da mesma forma, os teores de fósforo apresentaram diferenças significativas entre as doses aplicadas e as profundidades avaliadas. Na camada de 0–10cm, o tratamento Mineral 100 apresentou teor intermediário de fósforo (31,62mg dm⁻³), sendo inferior ao D100 e estatisticamente semelhante ao D75. Na camada de 10–20cm, o tratamento D100 apresentou o maior teor de fósforo (18,00mg dm⁻³), sugerindo que a aplicação contínua de doses mais elevadas favoreceu a manutenção de teores residuais do nutriente também na camada subsuperficial.

Esse comportamento pode estar relacionado à fração orgânica presente no fertilizante organomineral, que favorece a competição por sítios de adsorção e reduz parcialmente a fixação do fósforo, contribuindo para sua permanência em

formas potencialmente disponíveis às plantas. Em solos tropicais, a elevada capacidade de adsorção de fósforo está associada, principalmente, à presença de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, que promovem a retenção do fosfato na fase sólida do solo, reduzindo sua concentração na solução e influenciando diretamente a eficiência da adubação fosfatada (Vinha *et al.*, 2021). Nesse contexto, Matias (2010) demonstrou que a adição de compostos orgânicos pode aumentar a disponibilidade de fósforo em razão da adsorção competitiva entre ácidos orgânicos e fosfato, bloqueando parte dos sítios de adsorção do solo. Da mesma forma, Tiritan *et al.* (2010) observaram que a aplicação conjunta de fertilizantes minerais e compostos orgânicos reduz a fixação do fósforo, favorecendo sua solubilidade e seu fornecimento gradual às plantas.

Os resultados apresentados na Tabela 9 também evidenciam incremento dos teores de potássio no solo com o aumento das doses de fertilizante. Os tratamentos Mineral 100 e D100 apresentaram os maiores teores de potássio na camada de 0–10cm, com valores de 292 e 267,5mg dm⁻³, respectivamente, enquanto na camada de 10–20cm o maior teor foi observado no tratamento Mineral 100 (172,5mg dm⁻³). Esses resultados indicam que o maior aporte de potássio foi suficiente para compensar, em parte, a exportação do nutriente pelas sucessivas culturas, contribuindo para a manutenção de maiores teores disponíveis no solo.

Tabela 9 – Teor de potássio e fósforo no solo submetido ao uso de diferentes doses de fertilizante organomineral e mineral em função da camada amostrada. Maravilha/SC 2026

Tratamento/Camada	Teor de K (mg dm ⁻³)				Teor de P (mg dm ⁻³)			
	0-10 cm		10-20 cm		0-10 cm		10-20 cm	
D10	177,5	cA	90,00	cB	21,52	cA	11,00	bB
D25	185,0	cA	127,5	bB	26,40	bcA	12,00	bB
D50	192,5	bcA	137,5	bB	25,77	bcA	13,12	abB
D75	220,0	bA	132,5	bB	28,57	bA	15,72	abB
D100	267,5	aA	130,0	bB	39,50	aA	18,70	aB
Mineral 100	292,0	aA	172,5	aB	31,62	bA	16,40	abB
Média	222,50		131,66		28,90		14,49	
C. V. (%)	8,51				12,96			

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Nota: Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na linha e minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Resultados semelhantes foram observados por Oliveira *et al.* (2026a), que verificaram melhorias nos atributos químicos do solo com a aplicação de fertilizantes organominerais, incluindo aumento da capacidade de troca de cátions, da soma de bases e dos teores de cálcio, magnésio e potássio, além da liberação gradual do nutriente e maior retenção no complexo de troca. No presente estudo, entretanto, os efeitos mais evidentes foram observados na manutenção dos teores de fósforo e potássio, indicando que a magnitude da resposta dos atributos químicos pode variar em função das características do solo, do histórico de manejo e do tempo de condução do experimento.

Além disso, fertilizantes organominerais podem apresentar desempenho agrônomo equivalente ou superior ao cloreto de potássio, aumentando a eficiência de utilização do nutriente e favorecendo a absorção de cálcio e magnésio, ao mesmo tempo em que contribuem para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas por meio do aproveitamento de resíduos orgânicos (Oliveira *et al.*, 2026b).

4 CONCLUSÃO

A aplicação contínua de fertilizante organomineral promoveu desempenho agrônomo semelhante ao fertilizante mineral, sendo que doses entre 75 e 100% da recomendação proporcionaram maior equilíbrio entre produtividade, exportação e balanço de nutrientes, reduzindo o risco de depleção da fertilidade do solo em sistema plantio direto consolidado.

As menores doses de fertilizante organomineral (10 e 25% da recomendação) resultaram em balanços nutricionais negativos. Assim, a avaliação conjunta da taxa de aproveitamento e do balanço de nutrientes mostrou-se fundamental para definir estratégias de adubação que conciliem eficiência agrônoma e sustentabilidade do sistema produtivo.

O uso contínuo do fertilizante organomineral não promoveu alterações nos teores de carbono orgânico do solo durante o período experimental, porém favoreceu a manutenção dos teores de fósforo e potássio, especialmente nas maiores doses, evidenciando seu potencial para contribuir com a conservação da fertilidade do solo e o manejo nutricional de culturas anuais em plantio direto.

REFERÊNCIAS

- COELHO, A. M. **Extração, exportação e ciclagem de nutrientes por híbridos de sorgo granífero**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2023. 18 p. (Comunicado Técnico, 258).
- CUNHA, J. F.; FRANCISCO, E. A. B.; PROCHNOW, L. I. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira no período de 2013 a 2016. **Informações agrônômicas**, s. l., v. 1, n. 162, p. 1-14, 2018.
- BENITES, V. M.; DAL MOLIN, S. J.; MENEZES, J. F. S.; GUIMARES, G. S.; MACHADO, P. L. O. Organomineral fertilizer is an agronomic efficient alternative for poultry litter phosphorus recycling in an acidic ferralsol. **Front. Agron**, v. 4, art. 785753, p. 1-13, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fagro.2022.785753>
- DUARTE, A. P.; ABREU, M. F.; FRANCISCO, E. A. B.; GITTI, D. C.; BARTH, G.; KAPPES, C. Reference values of grain nutrient content and removal for corn. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 43, e0180102, 2019.
- FERTICEL INDÚSTRIA DE FERTILIZANTES. **Linhas de fertilizantes Ferticel: FertiSoja, FertiMilho e OrganoMaster**. [S. l.: s. n.], [s. d.]. 8 p. Material técnico institucional.
- FREITAS, J. M.; VAZ, M. C.; DUTRA, G. A.; SOUZA, J. L.; REZENDE, C. F. A. Resposta da produtividade do milho à adubação mineral e organomineral. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, e26810514301, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i5.14301>
- GROHSKOPF, M. A.; CORRA, J. C.; FERNANDES, D. M.; BENITES, V. D. M.; TEIXEIRA, P. C.; CRUZ C. V. Phosphate fertilization with organomineral fertilizer on corn crops on a Rhodic Khandiudox with a high phosphorus content. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, e00434, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-3921.pab2019.v54.00434>
- MATIAS, G. C. S **Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados em solos com diferentes capacidades de adsorção de fósforo e teores de matéria orgânica**. 2010. 175 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- PEREIRA, B. D. O. H.; DINIZ, D. A.; REZENDE, C. F. A. Adubação organomineral e mineral no desempenho agrônômico do milho e alterações químicas do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 58694-58706, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-325>
- NEGREIROS, F. S.; MORAES, E. R.; SILVA, J. G. M.; SILVA, R. V.; SOUZA FILHO, M. B.; LANA, R. M. Q.; FRANCO, M. H. R.; PEIXOTO, J. V. M. Manejo de adubação mineral e organomineral em milho doce, com e sem ácido húmico e fúlvico. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, v. 17, n. 7, e8184, 2024. DOI: <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.7-078>
- OLIVEIRA, C. F.; BENITES, V. M.; LIBARDI, P. L.; ALLEONI, L. R. F. Soil Properties and Potassium Dynamics Under the Influence of Organomineral Fertilization in a Tropical Sandy-loam Soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v. 26, p. 4655–4670, 2026a. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42729-026-03137-4>

OLIVEIRA, C. F.; TEZOTTO, T; BENITES, V. M; ALLEONI, L. R. F. Response of corn to potassic organomineral fertilizer in an Oxisol. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, v. 15, n. 2, p. 155–165, 2026b. DOI: <https://doi.org/10.57647/ijrowa-2026-17449>

SÁ, J. M.; JANTALIA, C. P.; TEIXEIRA, P. C.; POLIDORO, J. C.; BENITES, V. M.; ARAJO, A. P. Agronomic and P recovery efficiency of organomineral phosphate fertilizer from poultry litter in sandy and clayey soils. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, p. 786-793, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000900011>

SANTOS, J. K. F.; CABRAL FILHO, F. R.; BASTOS, A. V. S.; CUNHA, F. N.; TEIXEIRA, M. B.; SILVA, E. C.; SANTOS, E. A.; VIDAL, V. M.; MORAIS, W. A.; AVILA, R. G.; SOARES, F. A. L. Acumulo de matéria seca e nutrientes pelo milho cultivado sob doses de formulados NPK mineral e organomineral. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, e35010515126, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i5.15126>

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; LIMA, H. N.; MARQUES, F. A.; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 6. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2025. 393 p.

SBCS - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Ncleo Regional Sul. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. [s. l.]: Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2016. 376 p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. (Boletim Técnico [de solos], n.5).

TEIXEIRA, W, G. **Disponibilidade de fósforo e potássio provenientes de fertilização mineral e organomineral**. 2013. 99 f. Dissertação (Mestrado na Área de Concentração em Solos) – Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/12176>. Acesso em: 28 ago. 2026.

TIRITAN, C. S.; SANTOS, D. H.; FOLONI, J. S. S.; ALVES JÚNIOR, R. Adubação fosfatada mineral e organomineral no desenvolvimento do milho. **Colloquium Agrariae, Presidente Prudente**, v. 6, n. 1, p. 8–14, 2010. DOI: <https://doi.org/10.5747/ca.2010.v06.n1.a045>.

VINHA, A. P. C.; CARRARA, B. H.; SOUZA, E. F. S.; SANTOS, J. A. F.; ARANTES, S. A. C. M. Adsorção de fósforo em solos de regiões tropicais. **Nativa**, v. 9, n. 1, p. 30–35, 2021. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i1.10973>

YANG, Y.; SYED, S.; MAO, S.; LI, Q.; GE, F.; LIAN, B.; LU, C. Bioorganic–mineral fertilizer can remediate chemical fertilizer-oversupplied soil: purslane planting as an example. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, n. 2, p. 892–900, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00175-4>

INFORMAÇÕES ADICIONAIS

Breve currículo dos autores:

André Sordi

Mestre em ciência do solo (UFPR. Professor da Universidade do Oeste de Santa Catarina (UNOESC, campus de Maravilha, SC. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6255-889X>. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6454914102855118>. E-mail: andresordi@yahoo.com.br

Jonatas Thiago Piva

Doutor em produção vegetal (UFPR. Mestrado em ciência do solo (UFPR. Professor associado IV da Universidade Tecnológica federal do Paraná, campus Francisco Beltrão. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3060-6885>. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2319175391833779>. E-mail: jonatas@utfpr.edu.br

Claudia Klein

Doutora em Agronomia (UPF). Mestrado em Agronomia (UPF). Professora da Universidade do Oeste de Santa Catarina – Unoesc. Campus de São Miguel do Oeste, SC. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8470-7617>. Lattes: CV: <http://lattes.cnpq.br/8907251481138007>. E-mail: claudia.klein@unoesc.edu.br

Alceu Cericato

Doutorado em Administração (UFRJ. Mestrado em Administração (UFSM. Professor da Universidade do Oeste de Santa Catarina (UNOESC). Campus de Maravilha, SC. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5607-2391>. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8963522822015810>. E-mail: acericato@gmail.com.

Eduardo Henrique Dall Agnol Marx

Bacharel em Agronomia (Unoesc. Técnico em Laboratório (Unoesc. Engenheiro Agrônomo atuante na Fazenda Werlang, em Cunha Porã, SC. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8741-7608>. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7971572333330126>. E-mail: edu.dallagnol.marx@gmail.com

Fernando Schneider

Bacharel em Agronomia (Unoesc. Especialização em Gestão, Manejo e Nutrição na Bovinocultura Leiteira (Unoesc. Supervisor Técnico no programa de Assistência Técnica e Gerencial (ATeG, pelo Sistema Faesc/Senar - SC. Currículo Lattes: <https://lattes.cnpq.br/0149559947951626> ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7013-0106>. E-mail: fernando_sch@outlook.com

Contribuição de Autoria (CRediT)

André Sordi: conceituação, curadoria dos dados, análise formal, obtenção de financiamento, investigação, metodologia, administração do projeto, recursos, software, supervisão, validação, visualização de dados e escrita – primeira redação.

Jonatas Thiago Piva: curadoria dos dados, administração do projeto e escrita – revisão e edição.

Claudia Klein: conceituação, análise formal, metodologia e escrita – revisão e edição.

Alceu Cericato: investigação, administração do projeto e escrita – revisão e edição.

Eduardo Henrique Dall Agnol Marx: curadoria dos dados, investigação, administração do projeto, visualização de dados e escrita – revisão e edição.

Fernando Schneider: revisão e edição.

Financiamento: não se aplica.

Conflitos de interesse: não há conflito de interesses.

Licença de uso: de acordo com as regras da revista CC BY 4.0

Preprints: não se aplica.

Aprovação do comitê de ética na investigação: não se aplica.

Consentimento para o uso de imagens: não se aplica.

Disponibilidade dos dados de investigação e outros materiais. Os dados estão disponíveis no repositório Zenodo com registro de DOI 10.5281/zenodo.21891351

Acordo com a revisão aberta: não se aplica.

Agradecimentos: os autores agradecem à **Fundação Agrisus – Agricultura Sustentável** e à **Ferticel Indústria de Fertilizantes Ltda.** pelo apoio e pelos recursos financeiros disponibilizados para a realização desta pesquisa.