



UNIVERSIDADE PARANAENSE – UNIPAR

AGRONOMIA



COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS COMO ESTRATÉGIA SUSTENTÁVEL PARA A PRODUÇÃO AGRÍCOLA

Daniel Vicentini dos Santos¹ e Thiago Alberto Ortiz²

Universidade Paranaense – UNIPAR, Campus I - Sede. Praça Mascarenhas de Moraes, 4282, Zona III - Umuarama, PR. E-mail: daniel.224395@edu.unipar.br¹; thiago.ortiz@prof.unipar.br²

RESUMO: O desperdício agrícola representa um dos principais desafios ambientais, econômicos e sociais em nível global. Nesse contexto, a utilização de resíduos agroindustriais na produção agrícola surge como alternativa promissora. Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da compostagem de resíduos agroindustriais — bagaço de cana-de-açúcar, massa de mandioca e bagaço de malte — na produção de alface, buscando identificar proporções adequadas para uso agrícola e promover práticas de cultivo mais sustentáveis. O experimento foi conduzido na Universidade Paranaense (UNIPAR) e consistiu em 10 tratamentos: três resíduos agroindustriais aplicados em proporções de 3,2%, 6,6% e 10,0% (m/m) em relação ao solo, além da testemunha constituída por 100% de solo. As misturas foram umedecidas a 50% da massa total e submetidas à compostagem por 90 dias. Posteriormente, cultivaram-se mudas de alface crespa (cv. Milena, Sakata) durante 50 dias. Foram avaliadas variáveis agrônômicas, como número de folhas, diâmetro do caule, comprimento máximo da folha e da raiz, massa seca da parte aérea e da raiz, e altura de planta; fisiológicas e bioquímicas, incluindo índices de balanço de nitrogênio (NBI), clorofilas (CHL), flavonoides (FLAV) e antocianinas (ANTH); e parâmetros do fotossistema II (PSII), como rendimento quântico efetivo (Y) e taxa de transporte de elétrons (ETR). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância ($p < 0,05$). A avaliação de diferentes resíduos agroindustriais demonstrou que apenas as variáveis agrônômicas da alface foram influenciadas pelos tratamentos. O bagaço de malte a 3,2% apresentou o melhor desempenho, enquanto concentrações elevadas de malte e o resíduo de mandioca foram prejudiciais ao cultivo. O bagaço de cana-de-açúcar não superou a testemunha, indicando baixa eficiência para a cultura. Os resíduos não afetaram as variáveis bioquímicas e fisiológicas. Os resultados evidenciam o potencial do uso criterioso de resíduos agroindustriais na promoção de sistemas produtivos mais sustentáveis e alinhados à economia circular.

PALAVRAS-CHAVE: Lactuca sativa, alface crespa, bagaço de cana-de-açúcar, bagaço de malte, massa de mandioca, sustentabilidade.

COMPOSTING OF AGRO-INDUSTRIAL RESIDUES AS A SUSTAINABLE STRATEGY FOR AGRICULTURAL PRODUCTION

ABSTRACT: Agricultural waste represents one of the major environmental, economic, and social challenges worldwide. In this context, the use of agro-industrial residues in crop production emerges as a promising alternative. This study aimed to evaluate the effects of composting agro-industrial residues — sugarcane bagasse, cassava pulp, and brewer's spent grain — on lettuce production, with the goal of identifying appropriate application rates for agricultural use and promoting more sustainable cultivation practices. The experiment was conducted at Universidade Paranaense (UNIPAR) and consisted of 10 treatments: three agro-industrial residues applied at proportions of 3.2%, 6.6%, and 10.0% (w/w) relative to soil, in addition to the control composed



UNIVERSIDADE PARANAENSE – UNIPAR

AGRONOMIA



of 100% soil. The mixtures were moistened to 50% of their total mass and subjected to a 90-day composting process. Subsequently, seedlings of crisp lettuce (cv. Milena, Sakata) were cultivated for 50 days. Agronomic variables were evaluated, including number of leaves, stem diameter, maximum leaf and root length, shoot and root dry mass, and plant height; physiological and biochemical parameters, such as nitrogen balance index (NBI), chlorophylls (CHL), flavonoids (FLAV), and anthocyanins (ANTH); and photosystem II (PSII) parameters, including effective quantum yield (Y) and electron transport rate (ETR). Data were subjected to analysis of variance (ANOVA), and treatment means were compared using the Scott–Knott test at a 5% significance level ($p < 0.05$). The evaluation of different agro-industrial residues demonstrated that only the agronomic variables of lettuce were influenced by the treatments. Brewer's spent grain at 3.2% showed the best performance, whereas higher concentrations of this residue and cassava pulp were detrimental to crop development. Sugarcane bagasse did not outperform the control, indicating low efficiency for lettuce cultivation. No effects were observed on biochemical or physiological parameters. Overall, the results highlight the potential of the careful use of agro-industrial residues to promote more sustainable production systems aligned with circular economy principles.

KEYWORDS: *Lactuca sativa*, crisp lettuce, sugarcane bagasse, brewer's spent grain, cassava pulp, sustainability.

INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos agroindustriais representa um dos maiores desafios contemporâneos para a sustentabilidade global. O acúmulo e o manejo inadequado da biomassa residual não apenas resultam no desperdício de recursos com elevado potencial energético e nutritivo, mas também acarretam impactos ambientais significativos. Segundo Lackner e Besharati (2025), torna-se imprescindível o desenvolvimento de soluções que transformem esses passivos ambientais em ativos econômicos, mitigando impactos negativos e promovendo os princípios da economia circular.

Nesse contexto, tecnologias como a digestão anaeróbia (Li et al., 2011) e, sobretudo, a compostagem emergem como estratégias viáveis para o gerenciamento de resíduos sólidos orgânicos, possibilitando a reintegração de nutrientes ao ciclo produtivo agrícola. A compostagem consiste em um processo biológico de decomposição controlada, conduzido por microrganismos sob condições adequadas de umidade, temperatura e aeração, resultando em um material estável, seguro e com potencial agrônomo (Manea et al., 2024).

A aplicação de compostos orgânicos ao solo tem demonstrado efeitos positivos na melhoria da fertilidade, na estrutura física e na atividade biológica do solo, refletindo diretamente no crescimento e no desenvolvimento das plantas, inclusive sob condições adversas de irrigação (Suvendran et al., 2025). Estudos recentes corroboram esse potencial em diferentes culturas, como



UNIVERSIDADE PARANAENSE – UNIPAR

AGRONOMIA



manjeriço (*Ocimum basilicum*) (Oued Lhaj et al., 2025) e alface (*Lactuca sativa*) (Rodrigues et al., 2024). Além disso, a compostagem em larga escala, como no caso da vinhaça, configura-se como alternativa técnica consolidada para a reciclagem de nutrientes em sistemas agroindustriais de grande porte (Gomes et al., 2018; Zanotto et al., 2024).

Paralelamente ao uso agrícola, a valorização de resíduos agroindustriais como substratos fermentativos tem ganhado destaque. A mandioca, por exemplo, requer processamento adequado para a redução de compostos tóxicos (Montagnac et al., 2009), porém seus subprodutos apresentam elevado potencial nutricional e funcional quando adequadamente processados (Teixeira et al., 2025).

O desperdício agrícola configura-se como um problema de escala global, com estimativas indicando que entre 10% e 50% da produção é descartada anualmente na forma de resíduos agroindustriais. Quando manejados de forma inadequada — por meio da queima ou do enterramento —, resíduos provenientes de culturas como a cana-de-açúcar contribuem para a contaminação do solo, da água e do ar. Em contrapartida, esses resíduos apresentam elevado potencial de reaproveitamento, sobretudo por meio da compostagem, da produção de bioenergia e da cobertura do solo, contribuindo para sistemas produtivos mais eficientes (Lackner e Besharati, 2025).

A adoção de práticas agroindustriais voltadas ao aproveitamento integral de resíduos configura-se, portanto, como estratégia promissora para promover a sustentabilidade e a inovação no setor agrícola. Além de reduzir o desperdício, essa abordagem contribui para a segurança alimentar e nutricional e para a redução dos custos de produção (Santos et al., 2025). Ademais, o descarte inadequado desses materiais pode gerar impactos ambientais e econômicos severos, como alterações no pH do solo, presença de compostos tóxicos e poluição hídrica por lixiviação, contrariando os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU) (Zanotto et al., 2024).

Diante desse cenário, a busca por alternativas viáveis e sustentáveis para a produção de hortaliças tem despertado crescente interesse, especialmente pela necessidade de reduzir custos e minimizar impactos ambientais. O uso de resíduos regionais compostados surge como alternativa promissora para o enriquecimento do solo com macro e micronutrientes, favorecendo o crescimento das plantas e reduzindo a dependência de insumos químicos. Nesse sentido, Rodrigues et al. (2024) observaram que a aplicação de resíduos de cervejaria do tipo Pilsen, nas proporções de 15% e 20%, promoveu adequada absorção de nutrientes pela alface e reduziu os custos de



produção em 5%, sem comprometer a produtividade.

Diante da diversidade de resíduos agroindustriais disponíveis e de seu elevado potencial de reaproveitamento, torna-se essencial avaliar diferentes combinações e proporções desses materiais em sistemas de cultivo. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da compostagem de resíduos agroindustriais — bagaço de cana-de-açúcar, massa de mandioca e bagaço de malte — sobre a produção de alface, visando identificar proporções adequadas para uso agrícola e contribuir para o desenvolvimento de práticas de cultivo mais sustentáveis.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Universidade Paranaense (UNIPAR), campus Sede, em Umuarama – PR, em ambiente monitorado sob condições de temperatura ambiente. A temperatura e a umidade relativa do ar foram registradas continuamente ao longo de todo o período experimental por meio de um registrador eletrônico de dados (datalogger AKSO® AK164), programado para realizar leituras a cada 10 minutos. A temperatura variou de 18,7 °C a 35,3 °C, com média de 25,2 °C, enquanto a umidade relativa oscilou entre 39,1% e 81,4%, com média de 61,3%. O fotoperíodo adotado foi de 12 horas de luz, fornecido por quatro lâmpadas LED (40 W, 3200 lm, 6500 K, luz branca fria), instaladas com espaçamento de 1 metro entre si.

Os resíduos agroindustriais utilizados foram coletados conforme descrito a seguir:

- Bagaço de cana-de-açúcar: obtido na Usina Santa Terezinha, localizada em Tapejara – PR, imediatamente após o processo de extração do caldo da cana;
- Massa de mandioca: obtida na Farinheira Gonçalves, também em Tapejara – PR, proveniente da etapa de prensagem da raiz durante a produção de farinha;
- Bagaço de malte: coletado em duas cervejarias artesanais, Divino Malte (Umuarama – PR) e Dolomitas (Tapejara – PR), imediatamente após o processo de brassagem dos grãos de malte durante a fabricação da cerveja.

Utilizou-se solo de textura média, coletado na camada superficial (0–10 cm) de uma área agrícola localizada no município de Tapejara, PR. Todos os resíduos foram previamente secos em câmara de circulação de ar a 70 °C por 72 horas e, posteriormente, processados em triturador forrageiro TRF 70 equipado com peneira de 3 mm (quirera fina), operando a uma taxa de 80–100 kg h⁻¹ para padronização granulométrica. Em seguida, os resíduos foram incorporados ao solo previamente peneirado para a formação de nove tratamentos, definidos pelas proporções mássicas de 3,2%, 6,6% e 10,0%, além da testemunha composta por solo puro (100%). A composição



detalhada dos tratamentos foi a seguinte:

- **T1:** 100% solo (testemunha);
- **T2:** 3,2% bagaço de cana-de-açúcar + 96,8% solo;
- **T3:** 6,6% bagaço de cana-de-açúcar + 93,4% solo;
- **T4:** 10,0% bagaço de cana-de-açúcar + 90,0% solo;
- **T5:** 3,2% massa de mandioca + 96,8% solo;
- **T6:** 6,6% massa de mandioca + 93,4% solo;
- **T7:** 10,0% massa de mandioca + 90,0% solo;
- **T8:** 3,2% bagaço de malte + 96,8% solo;
- **T9:** 6,6% bagaço de malte + 93,4% solo;
- **T10:** 10,0% bagaço de malte + 90,0% solo.

Todos os tratamentos receberam adição de água deionizada correspondente a 50 % da massa da mistura, medida em balança de precisão. As misturas foram colocadas em sacos plásticos pretos e submetidas à compostagem por 90 dias em temperatura ambiente, favorecendo condições de baixa oxigenação compatíveis com decomposição anaeróbia em estado sólido. Para prevenir acúmulo de gases durante o processo, os sacos foram abertos periodicamente para alívio de pressão, conforme recomendado para digestão anaeróbia em estado sólido (Li et al., 2011).

Após o período de compostagem, o material foi autoclavado a 121 °C por 30 minutos. Após o resfriamento, o substrato correspondente a cada tratamento foi acondicionado em vasos plásticos com capacidade de 1 litro, constituindo as unidades experimentais. Em seguida, foram transplantadas mudas de alface crespa (cv. Milena, Sakata), previamente cultivadas em bandejas de 200 células com substrato Carolina Soil, com aproximadamente 30 dias de idade. Os vasos foram dispostos de modo a manter um espaçamento de 25 cm entre plantas, simulando as condições de cultivo em campo. A irrigação foi realizada em dias alternados, de modo a manter cada substrato próximo à sua capacidade de campo.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições por tratamento. As avaliações foram realizadas 50 dias após o transplântio. Ressalta-se que não houve aplicação de qualquer tipo de adubação mineral ou orgânica adicional, pois o objetivo do estudo foi avaliar exclusivamente o efeito dos resíduos agroindustriais sobre o crescimento das plantas. Em função disso, o período de avaliação foi superior ao praticado na produção comercial de alface, uma vez que as plantas não completaram o ciclo comercial habitual



devido à ausência de fertilização suplementar.

As variáveis analisadas incluíram características agronômicas, fisiológicas e bioquímicas, descritas a seguir:

Características agronômicas:

- **Número de folhas:** Determinado pela contagem direta das folhas totalmente expandidas em cada planta;
- **Diâmetro do caule:** Medido no ponto médio do caule (colo) com paquímetro digital de precisão 0,01 mm, expresso em milímetros;
- **Comprimento máximo da folha e da raiz:** mensurado com régua, tomando-se a folha e a raiz de maior extensão em cada planta, com os valores expressos em centímetros;
- **Altura de planta:** mensurada do colo da planta até a extremidade da folha mais distal, utilizando régua graduada, com os resultados expressos em centímetros;
- **Massa seca da parte aérea e da raiz:** As partes aéreas e raízes foram separadas, acondicionadas em sacos de papel kraft e secas em estufa a 70 °C por 4 dias, até atingirem peso constante. As massas foram pesadas em balança de precisão e expressas em gramas.

Características fisiológicas e bioquímicas:

- **Índices de balanço de nitrogênio (NBI), clorofilas (CHL), flavonoides (FLAV) e antocianinas (ANTH)** foram determinados em folhas expandidas localizadas no terço médio da segunda folha mais externa de cada planta, utilizando o equipamento DUALEX SCIENTIFIC+™ (Force-A, Paris, França);
- O **rendimento quântico efetivo do fotossistema II (PSII) (Y)** e a **taxa de transporte de elétrons (ETR)** foram medidos com fluorômetro portátil OS-30p+ (Opti-Sciences, Hudson, TX, EUA).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância ($p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tratamentos compostos por 6,6% de massa de mandioca (T6), 10,0% de massa de mandioca (T7), 6,6% de bagaço de malte (T9) e 10,0% de bagaço de malte (T10), todos



complementados com solo, apresentaram mortalidade total das plantas. Esse comportamento possivelmente está relacionado à toxicidade dos materiais nessas proporções; entretanto, como não há evidências conclusivas na literatura, estudos adicionais serão necessários para confirmar essa hipótese.

A análise de variância revelou diferenças significativas entre os tratamentos para as variáveis número de folhas (NF), comprimento máximo da folha (CMF), altura de planta (AP), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) ($p < 0,05$) (Tabela 1).

Tabela 1 – p -valores e coeficientes de variação (CV%) das variáveis agrônômicas, fisiológicas e bioquímicas analisadas no cultivo de alface sob diferentes proporções de resíduos agroindustriais previamente compostados.

Variável	NF	DC	CMF	CMR	AP
<i>p</i> -value	0,0000*	0,8562 ^{NS}	0,0025*	0,1539 ^{NS}	0,0000*
CV%	8,58	17,31	16,09	24,37	12,05
Variável	MSPA	MSR	NBI	CHL	FLAV
<i>p</i> -value	0,0001*	0,0066*	0,7518 ^{NS}	0,9646 ^{NS}	0,4123 ^{NS}
CV%	23,69	38,77	36,73	19,32	27,12
Variável	ANTH	Y	ETR		
<i>p</i> -value	0,0981 ^{NS}	0,3926 ^{NS}	0,6194 ^{NS}		
CV%	8,51	37,01	62,68		

^{NS} Não significativo, *Significativo $p < 0,05$.

Número de folhas (NF); diâmetro do caule (DC); comprimento máximo da folha (CMF) e da raiz (CMR); altura de planta (AP); massa seca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR); índices de balanço de nitrogênio (NBI), clorofilas (CHL), flavonoides (FLAV) e antocianinas (ANTH); rendimento quântico efetivo do PSII (Y); e taxa de transporte de elétrons (ETR).

Para a variável número de folhas, observou-se variação expressiva em função do tipo e da proporção de resíduo utilizado. O tratamento contendo 3,2% de bagaço de malte apresentou o maior número de folhas (11,75 folhas), sendo estatisticamente superior aos demais. Esse resultado indica que a adição de bagaço de malte, mesmo em baixa concentração, favorece o desenvolvimento foliar (Figura 1). A testemunha apresentou média de 9,00 folhas, sendo superada apenas pelo tratamento com malte.

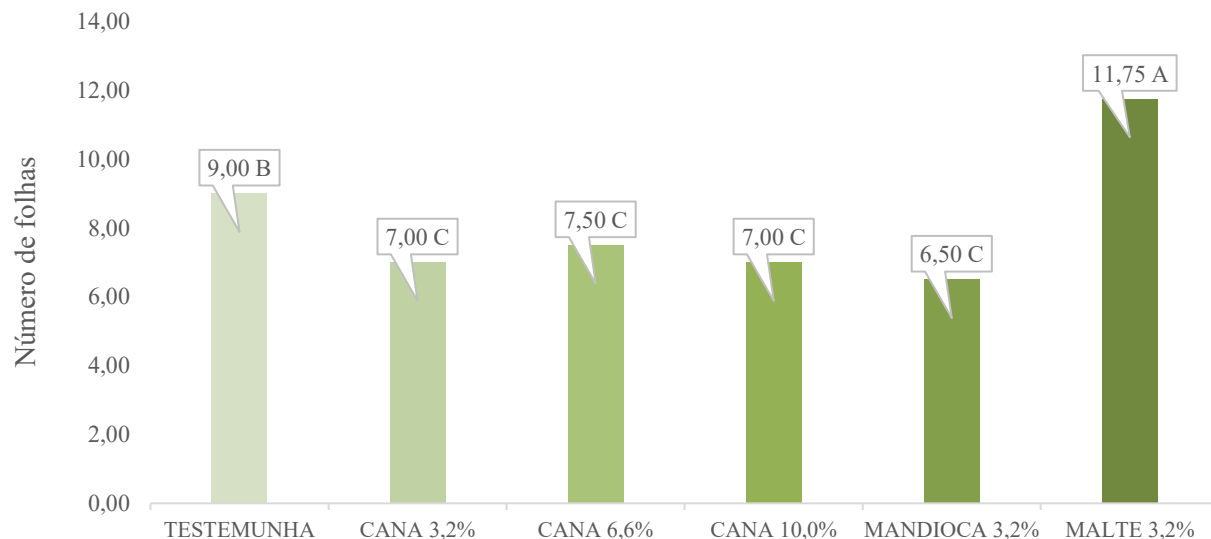


Figura 1 – Número médio de folhas de alface cultivada em diferentes proporções de resíduos agroindustriais.

O melhor desempenho do bagaço de malte pode estar associado à maior disponibilidade de nutrientes prontamente mineralizáveis, especialmente nitrogênio, o que contribui para maior emissão de folhas, um processo dependente de nutrientes e energia. Por outro lado, os resíduos de cana-de-açúcar apresentaram desempenho inferior, possivelmente devido à elevada relação C/N (Gomes et al., 2018).

Resultados semelhantes foram observados por Rodrigues et al. (2024), que relataram que a incorporação de resíduo de cervejaria ao substrato, em proporções entre 15% e 20%, melhorou propriedades químicas e favoreceu a absorção de nutrientes em alface. Assim, o bagaço de malte demonstra potencial para uso como fonte de matéria orgânica, desde que aplicado em proporções adequadas. Investigações desse tipo são essenciais para o desenvolvimento de sistemas de produção mais sustentáveis, especialmente no contexto do uso de resíduos orgânicos como insumos agrícolas.

O tratamento com 3,2% de resíduo de mandioca apresentou o menor número de folhas (6,50 folhas), não diferindo estatisticamente dos tratamentos com bagaço de cana-de-açúcar (Figura 1). Esse desempenho reduzido pode estar associado à presença de compostos cianogênicos — toxinas vegetais capazes de liberar cianeto na forma de ácido cianídrico (HCN), altamente tóxico e considerado um importante antinutriente. Além disso, o resíduo de mandioca possui elevado teor de carboidratos facilmente fermentescíveis, os quais podem modificar o ambiente



radicular, favorecer processos fermentativos e, conseqüentemente, limitar o crescimento inicial das plantas (Montagnac et al., 2009; Teixeira et al., 2025).

Em relação ao comprimento máximo da folha de alface, o padrão de resposta foi semelhante ao observado para o número de folhas. Os tratamentos com malte a 3,2% e a testemunha apresentaram os maiores comprimentos (12,50 cm e 12,28 cm, respectivamente). Por outro lado, os menores valores foram registrados nos tratamentos com bagaço de cana-de-açúcar e com mandioca a 3,2% (8,23 a 9,53 cm), evidenciando seu efeito negativo sobre o desenvolvimento vegetal, especialmente considerando que o tamanho da folha é uma característica de importância comercial.

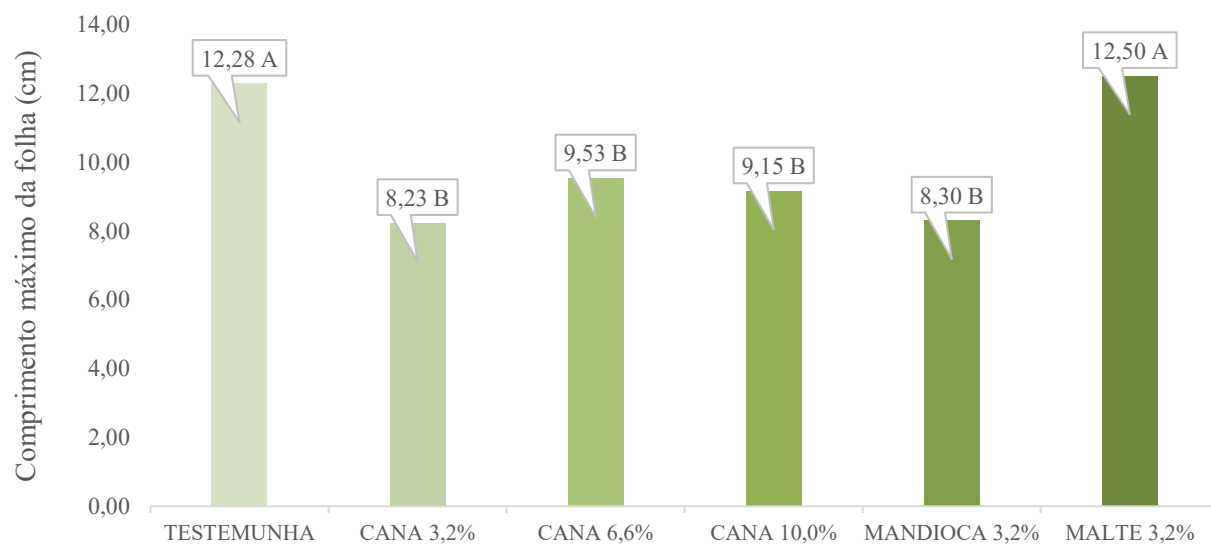


Figura 2 – Comprimento máximo da folha de alface cultivada em diferentes proporções de resíduos agroindustriais.

A altura das plantas também foi superior no tratamento com malte a 3,2%, que apresentou a maior média (25,58 cm), seguido pela testemunha (18,23 cm). Por sua vez, os tratamentos com bagaço de cana-de-açúcar e com mandioca a 3,2% registraram os menores valores (11,48 a 12,45 cm), reforçando seu efeito limitado sobre o desenvolvimento das plantas (Figura 3).

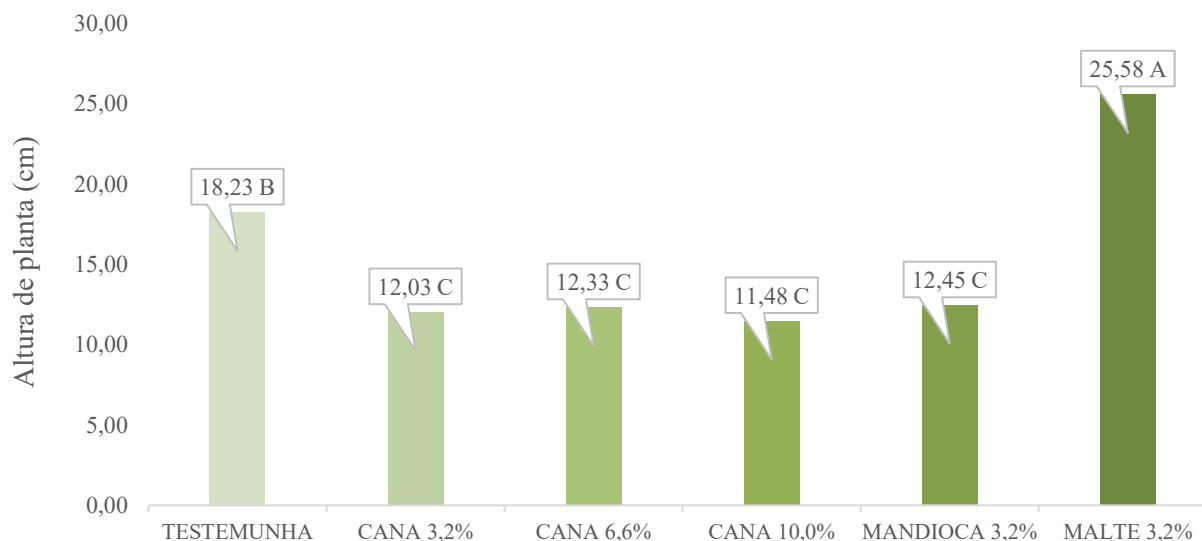


Figura 3 – Altura de planta de alface cultivada em diferentes proporções de resíduos agroindustriais.

Desafios globais, como a degradação do solo e a escassez de água, demandam práticas agrícolas mais sustentáveis, sobretudo em regiões onde a água salina vem sendo utilizada com maior frequência para irrigação. Nesse contexto, Suvendran et al. (2025) avaliaram quatro tratamentos com compostos e observaram que compostos biologicamente ativos foram capazes de aumentar a biomassa microbiana em 40%. Além disso, esses compostos promoveram melhorias significativas nos parâmetros de crescimento vegetal — incluindo teor de clorofila, comprimento radicular e biomassa fresca — resultando em incrementos de 20% na altura das plantas e de 30% na biomassa fresca em relação à testemunha. Os autores concluíram que compostos com elevada atividade biológica, especialmente aqueles ricos em fungos, desempenham papel essencial no aprimoramento da fertilidade do solo e na promoção de sistemas agrícolas mais resilientes e produtivos. Esses autores, assim como no presente estudo, observaram que a variável altura de planta é significativamente influenciada pelo uso de compostos orgânicos incorporados ao solo, os quais atuam como componentes estruturais e nutricionais do substrato.

A massa seca da parte aérea foi maior no tratamento com bagaço de malte a 3,2%, atingindo 0,1764 g, seguido pelo tratamento com bagaço de cana-de-açúcar a 6,6% (0,1291 g). Os demais tratamentos apresentaram valores inferiores, não diferindo estatisticamente entre si (Figura 4).

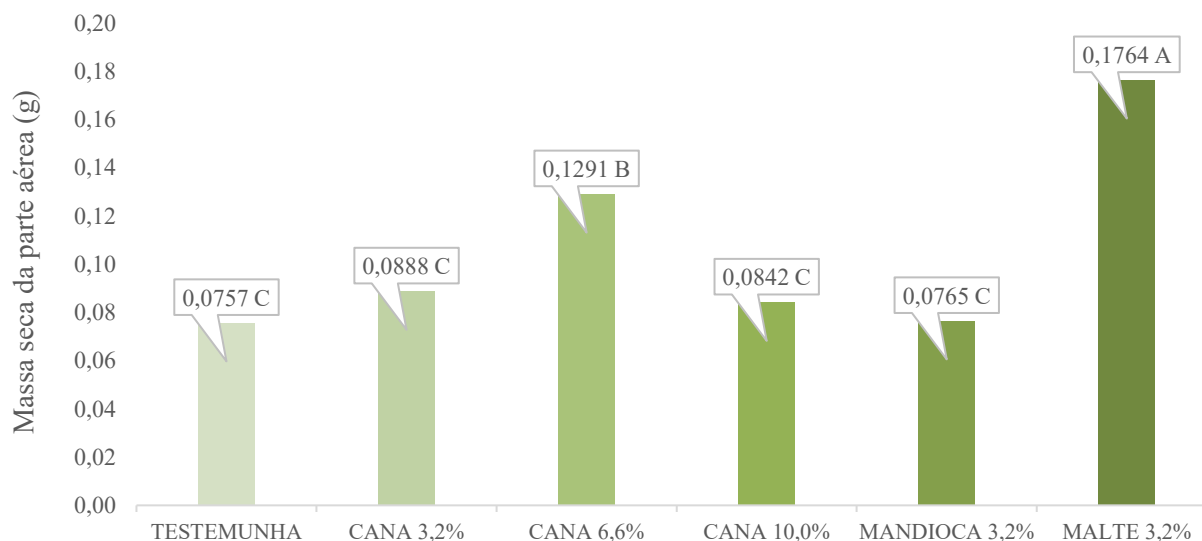


Figura 4 – Massa seca da parte aérea de alfaca cultivada em diferentes proporções de resíduos agroindustriais.

Oueld Lhaj et al. (2025) também investigaram a eficácia de um composto orgânico — produzido a partir da co-compostagem de resíduos verdes, principalmente folhas, e esterco de ovelha — como alternativa sustentável aos fertilizantes químicos para melhorar a saúde do solo e aumentar a produtividade das culturas em condições de estufa. Os autores observaram melhorias significativas nos atributos físico-químicos, bioquímicos e agrônômicos do solo e das plantas, reforçando o potencial do composto para elevar o desempenho das culturas em ambiente protegido.

Esses resultados evidenciam a relevância do uso de materiais orgânicos de baixo custo e ampla disponibilidade regional para a produção de compostos agrícolas. No presente estudo, foram avaliados compostos provenientes de outras fontes, especialmente resíduos agroindustriais, ressaltando-se a importância de diversificar as matérias-primas utilizadas no processo de compostagem. Tal abordagem amplia as possibilidades de reciclagem de resíduos, favorece a redução da dependência de fertilizantes químicos e fortalece a adoção de princípios da economia circular, promovendo sistemas agrícolas mais sustentáveis e eficientes.

Para a massa seca da raiz, o tratamento com bagaço de cana-de-açúcar a 6,6% mostrou-se mais favorável, apresentando o maior valor (0,0334 g). Os demais tratamentos exibiram valores entre 0,0090 e 0,0223 g, sem diferença estatística entre si (Figura 5).

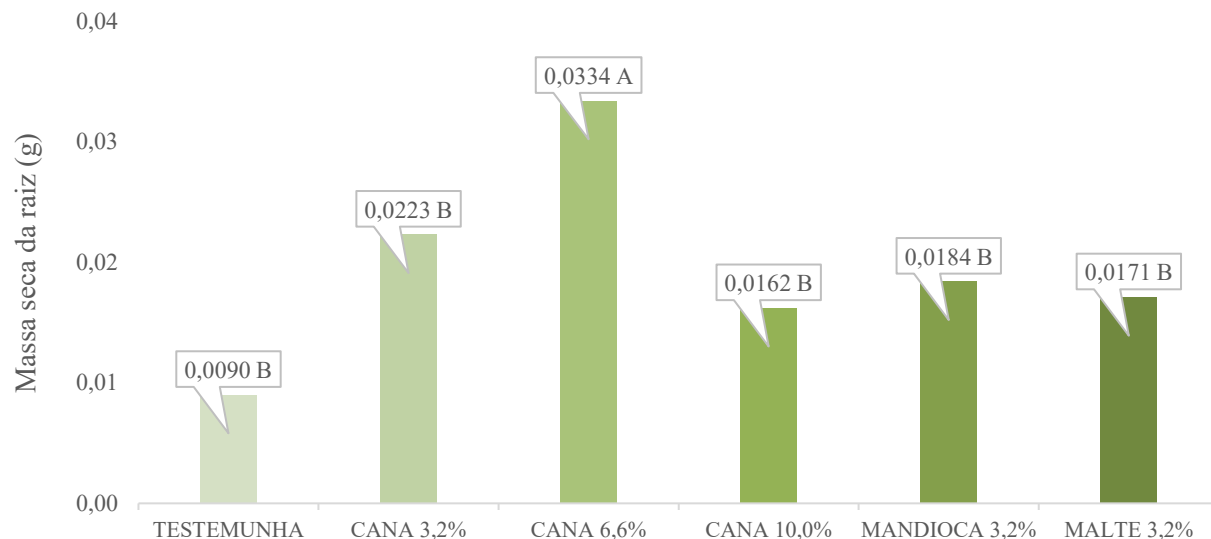


Figura 5 – Massa seca da raiz de alface cultivada em diferentes proporções de resíduos agroindustriais.

Os resultados deste estudo demonstram que os resíduos agroindustriais influenciaram exclusivamente as variáveis agrônômicas da cultura da alface, sem promover alterações significativas nos parâmetros bioquímicos e fisiológicos em comparação à testemunha. No entanto, torna-se evidente a necessidade de investigar outros fatores que podem interferir na eficácia desses resíduos, como teor de umidade, tempo de compostagem, concentrações utilizadas e possíveis interações com a adubação recomendada para a cultura. A avaliação integrada desses elementos é essencial para compreender melhor o potencial agrônômico desses materiais.

Os resíduos agrícolas constituem um dos principais desafios ambientais e produtivos enfrentados pela agricultura moderna. Apesar disso, representam um recurso ainda subutilizado, com potencial para aplicações como compostagem, produção de bioenergia e uso como cobertura do solo — práticas capazes de melhorar a fertilidade, aumentar a retenção de umidade e reduzir a erosão. A efetiva incorporação desses resíduos aos sistemas produtivos depende do fortalecimento de políticas públicas, do estabelecimento de parcerias público-privadas e da capacitação técnica dos agricultores para o manejo adequado desses materiais.

Dessa forma, a adoção de estratégias sustentáveis de valorização de resíduos agrícolas pode favorecer sistemas de produção mais eficientes, reduzir impactos ambientais e contribuir para a segurança alimentar, além de estimular o desenvolvimento socioeconômico e fortalecer a economia circular (Lackner e Besharati, 2025).



UNIVERSIDADE PARANAENSE – UNIPAR

AGRONOMIA



CONCLUSÃO

Os resultados do presente estudo demonstram que a aplicação de resíduos agroindustriais exerce influência principalmente sobre as variáveis agrônômicas da cultura da alface. Entre os materiais avaliados, o bagaço de malte a 3,2% destacou-se como o tratamento mais vantajoso, promovendo incrementos expressivos no crescimento e no desenvolvimento das plantas. Em contraste, o uso de massa de mandioca e de bagaço de malte nas concentrações de 6,6% e 10,0% mostrou-se inviável, pois resultou na morte das plantas, evidenciando que concentrações elevadas podem ser tóxicas ou inadequadas ao cultivo.

De forma geral, o bagaço de cana-de-açúcar não apresentou desempenho superior ao da testemunha, indicando baixa eficiência agrônômica para a cultura da alface nas condições avaliadas. Os resultados também demonstram que tanto o tipo de resíduo quanto sua concentração são fatores determinantes para o comportamento da planta, reforçando a necessidade de ajustes criteriosos para o uso desses materiais como insumos agrícolas.

Além disso, verificou-se que as variáveis bioquímicas e fisiológicas não foram afetadas pelos resíduos testados, independentemente da concentração utilizada, sugerindo que os efeitos observados se limitaram aos aspectos morfológicos e produtivos.

De maneira geral, o estudo contribui para o avanço de práticas agrícolas mais sustentáveis, indicando potencial para a utilização de determinados resíduos agroindustriais — especialmente o bagaço de malte em baixa concentração — na produção orgânica de hortaliças. Tais práticas podem fortalecer a economia circular, trazendo benefícios ambientais, sociais e econômicos.

REFERÊNCIAS

GOMES, T. C. de A.; ARAÚJO, J. L. P.; SANTOS, T. A.; MELO, P. L. A. de; PEREIRA, K. T. de O.; COSTA JÚNIOR, J. C. da; SANTOS, T. C. dos. Reciclagem de vinhaça via compostagem em larga escala. **Comunicado Técnico 218**, Embrapa: Aracaju, 2018.

LACKNER, M.; BESHARATI, M. Agricultural waste: challenges and solutions, a review. **Waste**, v. 3, n. 18, 2025.

LI, Y.; PARK, S. Y.; ZHU, J. Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 1, p. 821–826, 2011.

MANEA, E. E.; BUMBAC, C.; DINU, L. R.; BUMBAC, M.; NICOLESCU, C. M. Composting as a sustainable solution for organic solid waste management: current practices and potential improvements. **Sustainability**, v. 16, 6329, 2024.



UNIVERSIDADE PARANAENSE – UNIPAR

AGRONOMIA



MONTAGNAC, J. A.; DAVIS, C. R.; TANUMIHARDJO, S. A. Processing techniques to reduce toxicity and antinutrients of cassava for use as a staple food. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 8, n. 1, p. 1–27, 2009.

OUELD LHAJ, M.; MOUSSADEK, R.; MOUHIR, L.; SANAD, H.; MANHOU, K.; IBEN HALIMA, O.; YACHOU, H.; ZOUAHRI, A.; MDARHRI ALAOUI, M. Application of compost as an organic amendment for enhancing soil quality and sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) growth: agronomic and ecotoxicological evaluation. **Agronomy**, v. 15, 1045, 2025.

RODRIGUES, A. A.; RODRIGUES, M. do S. A.; FERREIRA, W. F.; ARAÚJO, A. dos S.; SOUSA, K. H. V. de; FERNANDES, E. A. A.; COLMAN, V. C. G.; ARAÚJO, K. K. A. de O.; MEDEIROS, W. P. de. Aplicação de compostos orgânicos à base de resíduos de cervejaria como alternativa para o cultivo em alface crespa (*Lactuca sativa* var. *crispa*). **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 12, e8426, 2024.

SANTOS, L. X.; SILVA, K. S. C. da; SARMENTO, M. R.; NETO, C. A. de A.; OLIVEIRA, M. L. N. de; BEZERRA, R. L. B.; PINTO, W. C. de O.; LOPES, T. S.; FORMIGA, D. L. A. Aproveitamento integral de talos da *Petroselinum crispum* (salsa) e utilização na panificação (Um meio sustentável na agricultura). **Revista DELOS**, v. 18, n. 63, e3664, 2025.

SUVENDRAN, S.; ACEVEDO, M.F.; SMITHERS, B.; WALKER, S.J.; XU, P. Soil fertility and plant growth enhancement through compost treatments under varied irrigation conditions. **Agriculture**, v. 15, 734, 2025.

TEIXEIRA, A. Z. A.; ALVES, A. E.; SILVA, B. I. R. da; TELES, L. A. N.; SILVA, B. P. da. A mandioca como substrato para fermentação: potencial nutricional e características sensoriais. **Revista Contemporânea**, v. 5, n. 8, e8956, 2025.

ZANOTTO, G.; MANN, M. da S. M.; FACCIN, C.; SILVA, R. S. Produção de composto orgânico para fertilização de horta comunitária. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 7, n. 3, e73254, 2024.