

RAVELTON MARCELINO ALVES RIBEIRO

**EFICIÊNCIA ECONÔMICA E PRODUTIVA DA ADUBAÇÃO DE COBERTURA EM
MILHO PARA SILAGEM, UM ESTUDO DE CASO.**

Ji-Paraná
2026

RAVELTON MARCELINO ALVES RIBEIRO

**EFICIÊNCIA ECONÔMICA E PRODUTIVA DA ADUBAÇÃO DE COBERTURA EM
MILHO PARA SILAGEM, UM ESTUDO DE CASO.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Afya Centro
Universitário de Ji-Paraná como
requisito parcial para obtenção de grau
de engenheiro agrônomo. Prof.
Orientador: Alisson Nunes da Silva

Ji-Paraná
2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - CIP

R484e Ribeiro, Ravelton Marcelino Alves.

 Eficiência econômica e produtiva da adubação de cobertura em milho para silagem, um estudo de caso. / Ravelton Marcelino Alves Ribeiro. – Ji-Paraná, 2026.
 30 p.; il.

 Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Afya Centro Universitário de Ji-Paraná, 2026.

 Orientador: Prof. Ms. Alisson Nunes da Silva

 1. Milho para silagem. 2. Adubação de cobertura. 3. Nitrogênio. 4. Produtividade. 5. Eficiência econômica. I. Silva, Alisson Nunes da. II. Título.

CDU 636.085.52:633.15

Ficha Catalográfica Elaborada pelo Bibliotecário Giordani Nunes da Silva CRB 11/1125

CURSO: BACHARELADO EM AGRONOMIA

RAVELTON MARCELINO ALVES RIBEIRO

**EFICIÊNCIA ECONÔMICA E PRODUTIVA DA ADUBAÇÃO DE COBERTURA EM
MILHO PARA SILAGEM, UM ESTUDO DE CASO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Afya Centro
Universitário de Ji-Paraná como requisito parcial para obtenção
de grau de engenheiro agrônomo. Orientador: Prof. Alisson
Nunes da Silva

Ji-Paraná, ____ de _____ de 2026.

Avaliação/ Nota:

BANCA EXAMINADORA

Resultado: _____

Orientadora
Profº.

Instituição

Membro da Banca
Profº.

Instituição

Membro da Banca
Profº.

Instituição

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, fonte de toda força e sabedoria, por me conceder a capacidade, a saúde e as condições de chegar até este momento tão especial de conclusão de curso. Sem sua presença em minha vida, nada disso seria possível.

À minha esposa Rychellmya Venicia Lacerda, minha companheira incansável, que esteve ao meu lado em cada passo desta jornada. Seu amor, paciência e apoio incondicional foram o combustível que me manteve firme nos dias difíceis.

Aos meus pais, que me ensinaram desde cedo o valor da perseverança, da humildade e da fé. Cada conquista minha carrega um pedaço dos ensinamentos e sacrifícios que vocês fizeram por mim.

Aos meus filhos, razão maior da minha luta e inspiração diária. Vocês me motivam a nunca desistir e a buscar sempre ser alguém de quem possam se orgulhar. Cada página escrita e cada esforço realizado foi pensando em vocês.

Ao meu professor, senhor Andreoli Correia Alves cuja dedicação, paciência e sabedoria foram fundamentais para que eu pudesse chegar até aqui. Sua orientação não apenas guiou este trabalho, mas também deixou marcas valiosas em minha formação pessoal e profissional.

Agradeço ao meu professor e orientador, senhor Alisson Nunes da Silva pela perseverança durante toda a trajetória do curso onde não só eu, mas muitos outros tiveram o apoio para completar essa etapa tão importante de nossas vidas.

Ravelton Marcelino Alves Ribeiro, junho de 2026

RESUMO

A silagem de milho é uma das principais fontes de volumoso utilizada como alimentação de ruminantes, assim se tornando referência, devido ao seu rendimento se razoavelmente expressivo por área, ter uma fermentabilidade e alto valor energético proporcionado, pela mistura dos grãos na massa ensilada durante o corte. A utilização da adubação de cobertura, com foco em nitrogênio (N), é decisiva para sustentar fatores produtivos elevados, tendo em vista que a extração de (N) aumenta exponencialmente a produção de matéria seca (MS) por hectare. Este estudo tem como objetivo avaliar a eficiência econômica e produtiva de três manejos de adubação de cobertura em milho para silagem: ausência de cobertura (T1), uma aplicação de NPK (T2) e duas aplicações (NPK + N) (T3). O experimento conduzido em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), com 30 repetições por tratamento, em área representativa no clima tropical úmido do estado de Rondônia. A colheita ocorreu no ponto de 30–35% de MS, e a produtividade foi estimada em kg/linha e t ha⁻¹. Espera-se que a adubação de cobertura proporcione ganhos gradativos de produtividade (T1 < T2 < T3), com incrementos médios de 8–15% entre T1 e T2 e adicionais de 15–25% entre T2 e T3, resultando em até 40% entre os extremos. Os resultados evidenciam maior vigor, coloração foliar intensa e colmos mais espessos nos tratamentos com maior aporte de N, confirmando a importância do parcelamento da adubação para otimizar a eficiência técnica e econômica da produção de silagem de milho.

Palavras-chave: *Zea mays* L.; milho para silagem; adubação de cobertura; nitrogênio; produtividade; eficiência econômica.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Delineamento experimental.....	24
Figura 2 – Local antes do início gradagem do solo.....	24
Figura 2 – Gradagem do solo.....	25
Figura 3 – Gradagem do solo.....	25
Figura 3 – Pos segunda gradagem com niveladora.....	25
Figura 4 – Início da germinação	25
Figura 5 – controle de plantas daninhas aos 25 dias.....	26
Figura 6 – Aplicação de NPK de T1 a T2 aos 34 dias.....	26
Figura 7 – Aplicação de ureia N so em T2 aos 57 dias	26
Figura 8 – T0 e T1 colheita	27
Figura 9 – T2 colheita.....	27
Figura 9 – Armazenagem.....	27

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
2.1	Fundamentos da silagem de milho: ponto de colheita e atributos de qualidade.....	10
2.2	Demanda nutricional e dinâmica de absorção de nitrogênio no milho	10
2.3	Coberturas nitrogenadas: racional do parcelamento e efeitos produtivos.....	11
2.4	Escolha do material genético e implicações para a resposta ao manejo.....	11
2.5	Aspectos operacionais que condicionam o efeito do (N) sobre a silagem.....	11
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	12
3.1	Local do experimento, caracterização do solo e fertilidade.....	12
3.2	Preparo do solo, correção da fertilidade, semeadura, adubação de base e manejo de plantas daninhas e tratamentos experimentais.....	12
3.3	Estatísticas.....	14
3.4	Análise econômica.....	15
4	RESULTADOS.....	16
4.1	Produção e taxas observadas.....	16
4.2	Estimativas do modelo glm poisson.....	17
4.3	Comparações múltiplas entre tratamentos.....	17
4.4	Custo total de produção (ct).....	18
5	DISCUSSÃO.....	19
6	CONCLUSÕES.....	22
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICA.....	23
8	ANEXO.....	24

1 INTRODUÇÃO

A silagem de milho (*Zea mays* L.) consolidou-se como volumoso de referência por reunir alto rendimento por área, boa fermentabilidade (açúcares solúveis e baixo poder tampão) e elevada participação de grãos na massa ensilada, aumentando a densidade energética da dieta de ruminantes (CRUZ et al., 2021). Em condições de campo, recomenda-se colher entre 30–35% de matéria seca (MS) janela que equilibra produtividade, compactação e qualidade fermentativa (CRUZ et al., 2021; CARVALHO et al., 2015). A regulação do tamanho de partícula em ~15–20 mm favorece a compactação e a queda de pH, e alturas de corte de 15–30 cm reduzem a incorporação de solo e podem elevar a proporção de espigas (amido); estudos brasileiros mostram que cortes mais altos tendem a reduzir FDN e aumentar amido, com trade-off moderado de MS por hectare (NEUMANN et al., 2007).

Benchmarks nacionais situam lavouras de milho para silagem (planta inteira) em faixas de 11,6 a 18,7 t MS ha⁻¹ valores dependentes de ambiente e manejo com extrações de N de ~115 a 231 kg ha⁻¹ quando a MS passa de 11,6 para 18,7 t ha⁻¹ (COELHO et al., 2021). Esses níveis de produção e de extração reforçam que o manejo do nitrogênio (N) em cobertura é decisivo no desempenho final do sistema.

A literatura técnica-científica da Embrapa indica alta frequência de resposta do milho ao N em campo e recomenda o parcelamento da cobertura para sincronizar oferta e demanda, reduzir perdas (volatilização/lixiviação) e estabilizar o rendimento, com aplicações tecnicamente posicionadas entre V4–V6 e antes do pico de absorção de N (COELHO et al., 2021). Nesse contexto, faz sentido comparar múltiplos esquemas de cobertura; sem cobertura, uma cobertura NPK e duas coberturas (NPK + N) para identificar o ponto ótimo técnico-econômico (ganho de produtividade × custo do N × risco climático) no mesmo ambiente edafoclimático, isolando o efeito do manejo sobre o desempenho da cultura (COELHO et al., 2021). O objetivo é medir a produtividade por linha e por faixa de aplicação, identificando o regime mais eficiente. Pretende-se analisar a relação entre incremento produtivo e custo adicional, visando maior eficiência técnico-econômica. Assim, busca-se otimizar a produção de silagem em condições de campo, garantindo sustentabilidade e viabilidade econômica, milho destinado à produção de silagem.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Fundamentos da silagem de milho: ponto de colheita e atributos de qualidade

A silagem de milho consolidou-se como volumoso de referência por combinar alto rendimento de matéria seca (MS), boa fermentabilidade (açúcares solúveis e baixo poder tampão) e elevada participação de grãos na massa ensilada fatores que aumentam a densidade energética e a estabilidade do processo fermentativo (CRUZ et al., 2021). O ponto de colheita entre 30–35% de MS equilibra produção por área, compactação e qualidade fermentativa, sendo parâmetro clássico para reduzir perdas e favorecer a dominância de bactérias lácticas (CARVALHO et al., 2015; CRUZ et al., 2021). Para otimizar a compactação e a estabilidade aeróbia, recomenda-se tamanho de partícula ~15–20 mm; adicionalmente, alturas de corte entre 15–30 cm reduzem contaminação por solo e podem elevar a proporção de espiga (amido) na massa, com impacto direto no valor nutritivo (ELEVAGRO, 2023; CARVALHO et al., 2015). Em termos de trade-off, cortes mais altos tendem a reduzir FDN e elevar amido na silagem, ao custo de pequena redução de MS/ha, cabendo ao sistema escolher a combinação que maximize o desempenho zootécnico (NEUMANN et al., 2007).

2.2 Demanda nutricional e dinâmica de absorção de nitrogênio no milho

O N ocupa papel central na fotossíntese e síntese proteica do milho, sendo o macronutriente de maior probabilidade de resposta em sistemas tropicais. Sínteses da Embrapa destacam que a eficiência do N depende da sincronização entre oferta (fonte, dose e época) e demanda da cultura, considerando estádios vegetativos V4–V6 e o período anterior ao pico de absorção (COELHO et al., 2021). À medida que a produtividade de planta inteira aumenta, cresce a extração total de N: compilações nacionais indicam extrações de cerca de 115 kg N ha⁻¹ para ~11,6 t MS ha⁻¹ e ~231 kg N ha⁻¹ para ~18,6 t MS ha⁻¹, sinalizando que patamares produtivos mais altos exigem cobertura bem manejada (COELHO et al., 2021). Em síntese, além da dose absoluta, a estratégia de parcelamento em cobertura constitui mecanismo-chave para reduzir perdas por volatilização e lixiviação e estabilizar rendimentos sob clima tropical úmido.

2.3 Coberturas nitrogenadas: racional do parcelamento e efeitos produtivos

A literatura técnica aponta que o milho responde frequentemente ao N de cobertura e que o parcelamento (uma vs. duas aplicações) tende a aumentar a eficiência do uso do N, por distribuir a oferta em momentos de maior demanda fisiológica e atenuar riscos climáticos (chuvas concentradas, temperaturas elevadas), o que se reflete em maior acúmulo de MS e maior participação de espiga na planta ensilada (COELHO et al., 2021). Em termos práticos, o uso de uma única cobertura costuma elevar a produtividade frente à ausência de cobertura, enquanto duas coberturas (complemento nitrogenado) tendem a ampliar o ganho marginal quando a lavoura apresenta bom estande, sanidade foliar e nível de MS no intervalo recomendado para ensilagem contexto em que a expressão do amido na massa ensilada e o NDT são otimizados (NUSSIO, 2009).

2.4 Escolha do material genético e implicações para a resposta ao manejo

Independentemente da marca comercial, híbridos posicionados para silagem de planta inteira costumam reunir arquitetura semiereta, empalhamento eficiente e expressão de *stay-green*, atributos que aumentam a estabilidade de produção e a janela de colheita (CRUZ et al., 2021). A produção de MS digestível resulta do produto entre produção de massa, proporção de espigas/grãos e digestibilidade da planta inteira; logo, materiais com boa participação de espiga e digestibilidade adequada do colmo tendem a potencializar o ganho marginal decorrente de esquemas de cobertura mais eficientes (NUSSIO, 2009). Em avaliações brasileiras, a MS digestível correlaciona-se positivamente com produção de MS e produção de grãos na ensilagem, o que justifica, do ponto de vista genético, a busca por híbridos para silagem quando se pretende discriminar efeitos de manejo de N (NUSSIO, 2009).

2.5 Aspectos operacionais que condicionam o efeito do (N) sobre a silagem

Mesmo com bom manejo de N, falhas operacionais na colheita e na ensilagem podem mascarar ganhos de produtividade e qualidade. O respeito ao ponto de colheita (30–35% MS), a regulação de partícula (~15–20 mm) e práticas de enchimento/compactação/vedação são determinantes para preservar o efeito agrônômico do manejo de cobertura na massa ensilada (CARVALHO et al., 2015; ELEVAGRO, 2023). Adicionalmente, alturas de corte na faixa 15–30 cm ajudam a

controlar contaminação por solo e perdas fermentativas; quando elevadas estrategicamente, podem melhorar o perfil bromatológico (maior amido, menor FDN), com redução moderada de MS/há, um balanço que deve ser decidido em função da demanda energética do rebanho e da disponibilidade de área (NEUMANN et al., 2007; CARVALHO et al., 2015).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Local do experimento, caracterização do solo e fertilidade

O estudo foi conduzido em lavoura de milho para silagem no município de Nova Uniao Rondônia, com condução técnica baseada no Sistema de Produção 32 – Sistema de produção para a cultura de milho estipulado pela Embrapa, (2008). A área total utilizada foi de 10.162,5 m² (1,01625 ha), com dimensões de 75 × 135,5 m. O estabelecimento da lavoura foi feito em 90 linhas (carreiras), com ~665 plantas por linha, totalizando ~59.940 plantas. A fertilidade foi diagnosticada por análise química de solo na camada 0–20 cm (junho/2025). A saturação por bases (V%) foi de 76,768% e o pH em água de 6,190, interpretando-se como sem necessidade imediata de calagem. A textura foi classificada como Tipo 2, com aproximadamente 30% de argila e 55% de areia, classe considerada apta ao milho no Sistema de Produção. Os valores reportados foram MO = 1,715%, P = 30,682 mg/dm³ e K = 0,426 cmolc/dm³, como apresentados na tabela 1.

3.2 Preparo do solo, correção da fertilidade, semeadura, adubação de base e manejo de plantas daninhas e tratamentos experimentais

O preparo do solo foi conduzido em sistema convencional, compreendendo operações de gradagem pesada, gradagem leve e posterior nivelamento da área, com o objetivo de promover adequada desagregação, uniformização e condições favoráveis à semeadura. A correção da acidez foi realizada com base nos resultados da análise química do solo, adotando-se a aplicação de calcário para elevação da saturação por bases, conforme recomendações técnicas para a cultura do milho. Quando necessário, considerou-se também o uso de gesso agrícola como prática complementar para melhoria das condições químicas em subsuperfície.

A semeadura foi realizada no início de outubro de 2025, em área previamente preparada. A adubação de base foi efetuada no sulco de semeadura, utilizando-se

150 kg ha⁻¹ do formulado NPK 05–30–15, fonte de nitrogênio, fósforo e potássio, com a finalidade de suprir a demanda inicial da cultura e favorecer o estabelecimento uniforme das plantas.

O manejo de plantas daninhas foi realizado aos 25 dias após a semeadura (25 DAS), período em que as plantas se encontravam entre os estádios fenológicos entre V4 e V6. O controle químico foi efetuado por meio da aplicação de herbicida sistêmico não seletivo à base de glifosato (Roundup Transorb®), na dose de 2,5 L ha⁻¹, utilizando volume de calda de 250 L ha⁻¹, visando reduzir a competição interespecífica por água, luz e nutrientes durante a fase inicial de desenvolvimento da cultura.

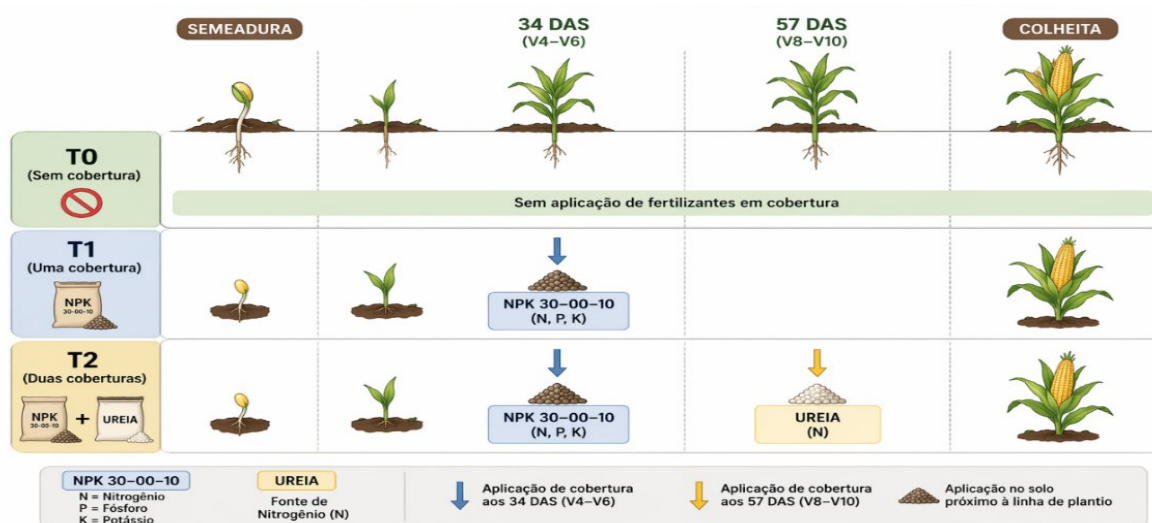
A área experimental foi subdividida em três faixas adjacentes, cada uma composta por 30 linhas de cultivo, totalizando 90 linhas avaliadas. Os tratamentos consistiram em diferentes regimes de adubação em cobertura, definidos com o propósito de comparar a ausência de fertilização complementar, a aplicação única de fertilizante formulado e o parcelamento da adubação nitrogenada. A distribuição dos tratamentos encontra-se esquematizada na Figura 1.

T0 (sem cobertura): ausência de aplicação de fertilizantes em cobertura.

T1 (uma cobertura): aplicação de fertilizante formulado NPK 30–00–10, fonte de nitrogênio e potássio, em cobertura.

T2 (duas coberturas): aplicação de fertilizante formulado NPK 30–00–10, seguida de aplicação complementar de ureia como fonte adicional de nitrogênio.

Figura 1. Esquema ilustrativo do delineamento experimental em faixas contíguas e dos regimes de adubação em cobertura na cultura do milho (*Zea mays* L)



Fonte: Ravelton (2026).

A adubação em cobertura com NPK 30–00–10 foi realizada aos 34 dias após a semeadura (34 DAS), com as plantas ainda entre os estádios fenológicos V4 e V6, nas faixas correspondentes aos tratamentos T1 e T2. A segunda aplicação, utilizando ureia ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$), foi realizada aos 57 DAS exclusivamente no tratamento T2.

O fornecimento de nitrogênio em cobertura durante os estádios vegetativos, bem como seu parcelamento, foi conduzido de acordo com recomendações técnicas para a cultura do milho propostas pela Embrapa, visando maximizar a eficiência de uso do nutriente e reduzir perdas por volatilização e lixiviação.

3.3 Estatísticas

Considerando que os dados disponíveis consistem em valores agregados por tratamento (produção total por faixa), não foi possível aplicar análise de variância (ANOVA), devido à ausência de estimativas de variância intratratamento e à inexistência de repetições independentes, pressupostos essenciais para a inferência clássica baseada em modelos lineares.

Dessa forma, adotou-se uma abordagem baseada em Modelos Lineares Generalizados (GLM) para dados de contagem, assumindo distribuição de Poisson e função de ligação logarítmica, apropriada para a modelagem de taxas em função de uma medida de exposição.

A exposição (E_i) correspondeu ao tamanho amostral efetivo de cada faixa (30 carreiras de mesmo comprimento e área), sendo idêntica entre os tratamentos. Essa variável foi incorporada ao modelo como termo de *offset* na escala logarítmica, isto é, $\log(E_i)$, permitindo a modelagem direta de taxas padronizadas por unidade de exposição, pela fórmula:

$$\log(\mu_i) = \beta_0 + \beta_1 T1_i + \beta_2 T2_i + \log(E_i)$$

em que:

Y_i é a produção observada na i -ésima faixa (contagem de sacas de 33 kg);

μ_i é o valor esperado de Y_i ;

β_0 é o intercepto (tratamento controle T0);

β_1 e β_2 são os efeitos dos tratamentos T1(uma cobertura) e T2(duas coberturas), respectivamente;

$T1_i$ e $T2_i$ são variáveis indicadoras (dummies) que assumem valor 1 quando a observação pertence ao respectivo tratamento e 0 caso contrário;

E_i é a exposição (tamanho amostral efetivo por faixa), incorporada por offset $\log(E_i)$.

3.4 Análise econômica

A avaliação econômica foi realizada a partir do custo total de produção (CT), calculado pela soma dos custos de operações mecanizadas, insumos, materiais e mão de obra. Em seguida, foram obtidos custos unitários por saca (33 kg), por tonelada e por hectare. Quando necessário, também foram definidos indicadores clássicos de rentabilidade (receita bruta, lucro operacional, margem e ponto de equilíbrio), conforme as equações:

Custo total de produção (CT)

$$CT = \sum_{i=1}^n C_i$$

em que CT é o custo total (R\$) e C_i é o custo do i -ésimo componente.

Receita bruta (RB)

$$RB = P \times Q$$

em que P é o preço do produto (R\$/t) e Q é a quantidade produzida (t).

Lucro operacional (LO)

$$LO = RB - CT$$

Margem de lucro (ML)

$$ML(\%) = \left(\frac{LO}{RB} \right) \times 100$$

Ponto de equilíbrio (PE)

$$PE = \frac{CT}{P}$$

em que PE representa a produção mínima (t) para cobrir os custos.

Os custos foram levantados por item de operação/insumo (valores em R\$): gradagem (1,5 h), nivelamento (1 h), plantio (1 h), adubo de plantio (3 sacos de 50 kg), adubo de cobertura (3 sacos de 50 kg), herbicida (2,5 L), ureia (1 saco de 50 kg), colheita (4,7 h), sacolas (1080 unidades) e mão de obra, detalhados na tabela 1.

Tabela 1. Detalhamento técnico e estrutura dos custos de produção do milho para silagem

Categoria	Item	Unidade	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Mecanização	Gradeagem do solo	hora (h)	1,5	150,00/h	225,00
Mecanização	Nivelamento	hora (h)	1,0	150,00/h	150,00
Mecanização	Plantio	hora (h)	1,0	150,00/h	150,00
Mecanização	Trator/colhedora	hora (h)	4,7	150,00/h*	705,00
Insumos	Adubo de plantio (NPK 05–30–15)	saco (50 kg)	3	271,00	813,00
Insumos	Adubo de cobertura (NPK 30–00–10)	saco (50 kg)	3	193,00	579,00
Insumos	Herbicida	litro (L)	2,5	30,40	76,00
Insumos	Ureia	saco (50 kg)	1	210,00	210,00
Materiais	Sacarias	unidade	1080	1,86	2.008,80
Mão de obra	Operacional total	—	Global	—	3.075,00

Fonte: Ravelto et al., (2026).

4 RESULTADOS

4.1 Produção e taxas observadas

A produção total por faixa experimental foi de 309, 348 e 423 sacas para os tratamentos T0, T1 e T2, respectivamente (Tabela 1). Considerando a exposição constante (30 carreiras por faixa), as taxas observadas foram de 10,30; 11,60 e 14,10 sacas por carreira, evidenciando incremento progressivo da produtividade com o aumento da adubação nitrogenada em cobertura.

Tabela 2. Produção total, taxas e intervalos de confiança (IC95%) por tratamento.

Tratamento	Produção (sacas/faixa)	Taxa (sacas/carreira)	IC95% da taxa
T0	309	10,30	9,17 – 11,52
T1	348	11,60	10,42 – 12,85
T2	423	14,10	12,81 – 15,47

T0 (sem cobertura): ausência de aplicação de fertilizantes em cobertura; **T1 (uma cobertura):** aplicação de fertilizante formulado NPK 30–00–10 (N = nitrogênio; P = fósforo; K = potássio); **T2 (duas coberturas):** aplicação de NPK 30–00–10, seguida de aplicação complementar de ureia (fonte de nitrogênio). Taxa calculada como produção total dividida pelo número de carreiras (30 por faixa). IC95% baseado na distribuição de Poisson.

4.2 Estimativas do modelo glm poisson

O modelo linear generalizado (GLM) com distribuição de Poisson e função de ligação logarítmica, incluindo o termo de *offset* $\log(E_i)$, permitiu estimar os efeitos dos tratamentos em termos de razão de taxas (IRR). As estimativas indicaram aumento de 12,6% na taxa de produção em T1 e de 36,9% em T2, em relação ao tratamento controle (T0).

Tabela 3. Estimativas do modelo GLM Poisson (coeficientes e razões de taxas).

Parâmetro	Estimativa (β)	$\exp(\beta)$ (IRR)	IC95% $\exp(\beta)$
Intercepto (T0)	2,332	10,30	9,17 – 11,52
T1	0,119	1,126	0,966 – 1,313
T2	0,314	1,369	1,182 – 1,585

T0 (sem cobertura): ausência de aplicação de fertilizantes em cobertura; **T1 (uma cobertura):** aplicação de fertilizante formulado NPK 30–00–10 (N = nitrogênio; P = fósforo; K = potássio); **T2 (duas coberturas):** aplicação de NPK 30–00–10, seguida de aplicação complementar de ureia (fonte de nitrogênio). GLM com distribuição de Poisson e função de ligação logarítmica. Modelo ajustado com termo de *offset* $\log(E_i)$, onde E_i = 30 carreiras por faixa. IRR = razão de taxas (*Incidence Rate Ratio*).

4.3 Comparações múltiplas entre tratamentos

As comparações par-a-par entre tratamentos foram realizadas com base na razão de taxas (IRR), com ajuste de Tukey para controle do erro tipo I em múltiplas comparações. Os resultados indicaram diferença significativa entre T2 e os demais tratamentos, enquanto T1 não diferiu do controle.

Tabela 3. Comparações par-a-par entre tratamentos (GLM Poisson com ajuste de Tukey).

Comparação	IRR	IC95%	p (Tukey)	Interpretação
T1 vs T0	1,126	0,966 – 1,313	0,281	Não significativo
T2 vs T0	1,369	1,182 – 1,585	< 0,001	Diferença significativa
T2 vs T1	1,216	1,055 – 1,401	0,019	Diferença significativa

T0 (sem cobertura): ausência de aplicação de fertilizantes em cobertura; **T1 (uma cobertura):** aplicação de fertilizante formulado NPK 30–00–10 (N = nitrogênio; P = fósforo; K = potássio); **T2 (duas coberturas):** aplicação de NPK 30–00–10, seguida de aplicação complementar de ureia (fonte de nitrogênio). Comparações baseadas em modelo GLM Poisson com ajuste de Tukey para múltiplas comparações. IC95% obtidos por aproximação log-normal. Nível de significância $\alpha = 0,05$.

Os resultados baseiam-se em dados agregados por tratamento, sem repetições independentes, sendo interpretados como evidência exploratória sob as condições experimentais avaliadas.

4.4 Custo total de produção (ct)

O custo total de produção (CT) da cultura do milho destinado à silagem foi de R\$ 7.991,80, resultante da soma dos custos com operações mecanizadas, insumos agrícolas, materiais e mão de obra ao longo de todo o ciclo produtivo. Observou-se que a estrutura de custos foi fortemente influenciada pela mão de obra e pelos materiais utilizados na ensilagem, seguidos pelos fertilizantes, especialmente os adubos nitrogenados e fosfatados. As operações mecanizadas contribuíram de forma intermediária para o custo total, enquanto os herbicidas apresentaram menor participação relativa.

A produção total obtida foi de 1.080 sacas de 33 kg, equivalente a 35,64 toneladas de massa fresca de silagem. A partir desses dados, verificou-se que o custo por saca foi de R\$ 7,40, enquanto o custo por tonelada de silagem foi de R\$ 224,24. Quando considerado o custo por área, o valor observado foi de R\$ 7.864,01 por hectare, indicando o nível de investimento necessário para a implantação e condução da cultura sob as condições avaliadas.

Quando os custos foram distribuídos entre os tratamentos experimentais, observou-se que o tratamento T0 apresentou custo de R\$ 2.400,93, o tratamento T1 apresentou R\$ 2.690,43 e o tratamento T2 apresentou R\$ 2.900,43. Em relação à produção de massa fresca obtida em cada tratamento, verificou-se que o custo por tonelada foi de R\$ 235,45 no tratamento T0, R\$ 234,28 no tratamento T1 e R\$ 207,78 no tratamento T2. Apesar de apresentar maior custo absoluto, o tratamento T2 resultou no menor custo por unidade de produto, evidenciando maior eficiência econômica.

Na análise marginal entre os tratamentos T1 e T2, observou-se um incremento de custo de R\$ 210,00 associado a um aumento de produção de 2,475 toneladas de silagem, resultando em um custo marginal de R\$ 84,85 por tonelada adicional produzida.

5 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos indicam que o parcelamento do fornecimento nitrogenado em cobertura esteve associado a incremento expressivo na produtividade de milho para silagem, com destaque para o tratamento T2, que apresentou aumento de 36,9% em relação ao controle (T0) e de 21,6% em relação ao tratamento com uma única cobertura (T1). Sob a modelagem por GLM Poisson com *offset* (exposição definida como 30 carreiras de mesmo comprimento/área por faixa), tais incrementos se traduzem em razões de taxas (IRR) superiores a 1 para as comparações T2/T0 e T2/T1, refletindo maior taxa de produção por unidade efetiva de exposição. Esse padrão é coerente com o princípio de que a eficiência de uso do nitrogênio aumenta quando há maior sincronismo entre a oferta do nutriente e a demanda da cultura, reduzindo perdas e elevando o aproveitamento pelo milho.

A inferência estatística baseada no GLM Poisson, associada às comparações múltiplas com ajuste de Tukey, corroborou a superioridade do tratamento T2 em relação aos demais. Especificamente, T2 apresentou diferença significativa em relação ao controle (T2 vs T0: $p < 0,001$) e ao tratamento com uma única cobertura (T2 vs T1: $p = 0,019$), evidenciando que o efeito do parcelamento com aplicação adicional de nitrogênio foi suficientemente expressivo para se manter após o controle do controle do erro do tipo I em comparações múltiplas. Esse resultado é consistente com revisões clássicas que destacam o sincronismo entre oferta e demanda de nitrogênio como fator determinante para o aumento da eficiência de uso do nutriente em cereais, bem como com estudos que relacionam produtividade do milho à dinâmica de absorção de nitrogênio.

O comportamento observado está em consonância com a literatura que associa ganhos de produtividade ao melhor ajuste temporal da disponibilidade de nitrogênio no solo ao longo do ciclo. Raun e Johnson (1999) destacam que práticas que aumentam o sincronismo entre oferta e demanda de nitrogênio são fundamentais para elevar a eficiência do uso do nutriente e reduzir perdas, especialmente em cereais. De forma complementar, Ladha et al. (2005) indicam que a recuperação do nitrogênio fertilizante por culturas como o milho frequentemente se situa entre 30% e 50%, reforçando a importância de estratégias que aumentem a fração efetivamente absorvida, como o parcelamento e o manejo da época de aplicação.

Do ponto de vista fisiológico, a resposta superior observada no tratamento T2 é plausível. O nitrogênio desempenha papel central na síntese de clorofila, aminoácidos e proteínas, influenciando diretamente a expansão foliar, a atividade fotossintética e o acúmulo de biomassa. Assim, um suprimento mais contínuo ao longo do ciclo tende a sustentar maior interceptação luminosa e maior produção de matéria seca, componente essencial da produtividade para silagem. Nesse contexto, Ciampitti e Vyn (2012) ressaltam que a dinâmica de absorção de nitrogênio e sua relação com produtividade e eficiência no milho são altamente dependentes do manejo e das condições ambientais, sendo coerente que ajustes no momento de disponibilização do nutriente resultem em incrementos produtivos.

Por outro lado, a interpretação do tratamento T1 deve considerar o efeito do ajuste para comparações múltiplas. Embora tenha sido observado aumento numérico de 12,6% em relação ao controle, a diferença não foi estatisticamente significativa após o ajuste de Tukey ($p=0,281$). Esse resultado sugere que, nas condições avaliadas, a aplicação única de NPK em cobertura produziu efeito de menor magnitude, insuficiente para se diferenciar do controle sob controle rigoroso do erro tipo I. Tal comportamento é compatível com a literatura, que aponta que aplicações únicas estão mais sujeitas a perdas por volatilização e lixiviação, resultando em menor eficiência agrônômica, especialmente em ambientes tropicais.

Adicionalmente, a literatura destaca que a resposta ao parcelamento do nitrogênio pode variar em função da disponibilidade inicial do nutriente no sistema e do padrão temporal de deficiência ao longo do ciclo. Em ambientes com maior disponibilidade inicial de nitrogênio, o efeito marginal do parcelamento tende a ser reduzido; por outro lado, em condições em que o nitrogênio é fator limitante, o parcelamento pode ampliar significativamente a recuperação do nutriente e o rendimento da cultura. Nesse sentido, o ganho expressivo observado no tratamento T2 sugere que o nitrogênio em cobertura desempenhou papel relevante na limitação produtiva do sistema avaliado.

Os resultados obtidos também são consistentes com recomendações técnicas da Embrapa, que destacam a importância do fornecimento de nitrogênio em cobertura, especialmente durante estádios vegetativos, para maximizar a eficiência de uso do nutriente na cultura do milho. Essas recomendações enfatizam que decisões

relacionadas à dose e ao momento de aplicação devem considerar as condições edafoclimáticas e o risco de perdas, reforçando a relevância do manejo temporal.

Por fim, apesar da coerência agrônômica e do alinhamento com a literatura científica, deve-se considerar a principal limitação do estudo: a condução em faixas contíguas, sem aleatorização e sem repetições independentes. Essa configuração limita a robustez da inferência causal, uma vez que gradientes espaciais do solo (fertilidade, umidade, compactação e microrelevo) podem influenciar parcialmente os resultados. Assim, os achados devem ser interpretados como evidência consistente sob condições reais de campo, porém com caráter exploratório, sendo recomendada a validação em experimentos com delineamento e replicação adequados.

6 CONCLUSÕES

O parcelamento da adubação nitrogenada constitui estratégia eficiente para maximizar a produtividade do milho para silagem, sendo a aplicação fracionada superior à aplicação única ou à ausência de cobertura. Os resultados evidenciam que o sincronismo entre oferta e demanda de nitrogênio é determinante para o aumento da eficiência produtiva, embora estudos adicionais com delineamento experimental robusto sejam necessários para confirmação dos efeitos observados.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICA

CARVALHO, P. C. de F.; et al. Estratégias de colheita e qualidade da silagem de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 50, n. 9, p. 775–785, 2015.

COELHO, A. M.; et al. *Manejo de nitrogênio em milho para silagem: produtividade e extração de nutrientes*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2021.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; GONTIJO NETO, M. M. *Milho para silagem*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2021.

EMBRAPA. *Sistema de Produção 32: Cultura do milho*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008.

ELEVAGRO. Altura de corte e regulagem de partícula na silagem de milho. Disponível em: <<https://www.elevagro.com>>. Acesso em: 2026.

LADHA, J. K. Improving the recovery efficiency of fertilizer nitrogen in cereals. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, v. 53, n. 4, p. 472–483, 2005.

NEUMANN, M.; et al. Altura de corte e composição bromatológica da silagem de milho. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 37, n. 6, p. 1721–1727, 2007.

NUSSIO, L. G. *Produção de silagem de milho de alta qualidade*. Piracicaba: ESALQ/USP, 2009.

RAUN, W. R.; JOHNSON, G. V. *Improving nitrogen use efficiency for cereal production*. *Agronomy Journal*, Madison: American Society of Agronomy, v. 91, n. 3, p. 357-363, 1999.

8 ANEXO



Figura 1 – Início da calagem com calcário



Figura 2 – local antes do início da gradagem



Figura 3 – Gradeagem do solo



Figura 4 – Gradeagem do solo



Figura 5 – Pos segunda gradagem com niveladora



Figura 6- início da germinação



Figura 7 – Controle de plantas daninhas aos 25 dias



Figura 8 -aplicação de NPK T1 a T2, aos 34 dias



Figura 9 – segunda aplicação só com ureia (N) aos 57 dias



Figura 10- (T0 e T1) colheita



Figura 11 – (T2) colheita



Figura 12 – Armazenagem