

Avaliação do termopotássio na produtividade de biomassa de *brachiaria* para fins energéticos

GOMES, Paola Soares de Sousa
CAMARGO, Mônica Sartori de
SILVA, Fábio César da

Resumo

Brachiaria brizantha é uma gramínea tropical amplamente cultivada no Brasil, destacando-se pela alta produtividade e resistência a condições adversas. Além do valor forrageiro, tem se mostrado promissora na produção de biomassa para fins energéticos, devido ao rápido crescimento, elevada fixação de carbono e possibilidade de colheitas múltiplas. Para alcançar altos rendimentos, é necessário um manejo nutricional eficiente, com fornecimento adequado de nitrogênio, fósforo e potássio, além da correção da acidez do solo por meio da calagem. Nesse contexto, o termopotássio surge como alternativa ao cloreto de potássio, sendo um fertilizante de liberação lenta obtido pela fusão de resíduos industriais. Este estudo avaliou os efeitos do termopotássio na produtividade de biomassa de *Brachiaria brizantha* como fonte de energia renovável. Foram conduzidos experimentos com diferentes doses de N, P, calcário e termopotássio, em vasos sob casa-de-vegetação. Não houve interação significativa entre os fatores, sendo os efeitos independentes. As doses completas de N e P proporcionaram maior acúmulo de biomassa. A calagem influenciou positivamente o sistema radicular, apesar de redução inicial na parte aérea. O termopotássio teve efeito na segunda colheita, provavelmente em função de sua solubilidade lenta. Os resultados demonstram que o manejo adequado da fertilidade do solo favorece o aumento da biomassa. Assim, a espécie se destaca como alternativa viável para produção de biocombustível sólido, com maior eficiência energética e menor necessidade de secagem.

Palavras-chave: Adubação, Forrageiras energéticas, Fertilização potássica, Bioenergia, Biocombustíveis.

Abstract

Brachiaria brizantha is a tropical grass widely cultivated in Brazil, known for its high productivity and resistance to adverse conditions. In addition to its forage value, it has shown promise in biomass production for energy purposes, due to its rapid growth, high carbon fixation, and the possibility of multiple harvests. Achieving high yields requires efficient nutritional management, including adequate supply of nitrogen, phosphorus, and potassium, as well as soil acidity correction through liming. In this context, thermopotassium emerges as an alternative to potassium chloride, being a slow-release fertilizer obtained by fusing industrial residues. This study evaluated the effects of thermopotassium on the biomass productivity of *Brachiaria brizantha* as a renewable energy source. Experiments were conducted with different doses of nitrogen, phosphorus, lime, and thermopotassium in pots under greenhouse conditions. No significant interactions were observed between the factors, indicating independent effects. Full doses of nitrogen and phosphorus promoted greater biomass accumulation. Liming positively influenced root development, despite an initial reduction in the shoot. Thermopotassium had an effect in the second harvest, probably

due to its slow solubility. The results demonstrate that proper soil fertility management favors biomass increase. Therefore, the species stands out as a viable alternative for solid biofuel production, with higher energy efficiency and lower drying requirements.

Keywords: Fertilization; Energy forages; Potassium fertilization; Bioenergy; Biofuels.

Resumen

Brachiaria brizantha es una gramínea tropical ampliamente cultivada en Brasil, reconocida por su alta productividad y resistencia a condiciones adversas. Además de su valor forrajero, ha demostrado ser prometedora en la producción de biomasa con fines energéticos, debido a su rápido crecimiento, alta fijación de carbono y posibilidad de múltiples cosechas. Para lograr altos rendimientos, se requiere un manejo nutricional eficiente, con suministro adecuado de nitrógeno, fósforo y potasio, además de la corrección de la acidez del suelo mediante encalado. En este contexto, el termopotásico surge como una alternativa al cloruro de potasio, siendo un fertilizante de liberación lenta obtenido a partir de residuos industriales fundidos. Este estudio evaluó los efectos del termopotásico en la productividad de biomasa de *Brachiaria brizantha* como fuente de energía renovable. Se realizaron experimentos con diferentes dosis de nitrógeno, fósforo, cal y termopotásico en macetas bajo condiciones de invernadero. No se observaron interacciones significativas entre los factores, indicando efectos independientes. Las dosis completas de nitrógeno y fósforo promovieron un mayor acúmulo de biomasa. El encalado influyó positivamente en el desarrollo radicular, a pesar de una reducción inicial en la parte aérea. El termopotásico presentó efecto en la segunda cosecha, probablemente debido a su lenta solubilidad. Los resultados demuestran que un manejo adecuado de la fertilidad del suelo favorece el aumento de la biomasa. Así, la especie se destaca como una alternativa viable para la producción de biocombustible sólido, con mayor eficiencia energética y menor necesidad de secado.

Palabras clave: Fertilización; Forrajeras energéticas; Fertilización potásica; Bioenergía; Biocombustibles.

INTRODUÇÃO

A Brachiaria é amplamente cultivada em pastagens brasileiras devido à sua alta capacidade de adaptação, vigor vegetativo, resistência ao pisoteio e tolerância às condições tropicais adversas. Sua importância agronômica vai além do uso forrageiro, já que ela tem se destacado como uma alternativa viável para a produção de biomassa vegetal, especialmente em sistemas que visam à sustentabilidade e ao aproveitamento energético.

A biomassa da Brachiaria possui elevado potencial para ser convertida em energia, seja por combustão direta, digestão anaeróbica ou transformação em biocombustíveis sólidos, como briquetes e pellets. A rápida taxa de crescimento e o elevado acúmulo de matéria seca tornam essa forrageira uma excelente fonte renovável para fins energéticos, especialmente em regiões tropicais onde o clima favorece sua produção durante quase todo o ano.

Além da produção de biomassa em grande volume, a Brachiaria apresenta características físico-químicas que favorecem sua conversão energética, como baixo teor de umidade e alto poder calorífico. Sua matéria seca pode ser utilizada em processos de combustão direta para geração de calor e eletricidade, bem como na produção de biocombustíveis sólidos, que facilitam o transporte e armazenamento. Essas aplicações reforçam o papel da Brachiaria na diversificação da matriz energética sustentável, sobretudo em regiões tropicais com alta disponibilidade de radiação solar e água.

Do ponto de vista ambiental, o cultivo da Brachiaria contribui significativamente para a melhoria da qualidade dos sistemas agrícolas. Sua densa cobertura do solo reduz perdas por erosão, favorece a infiltração de água, diminui a compactação e contribui para o aumento da matéria orgânica no solo. Além disso, quando bem manejada, pode integrar sistemas de produção sustentáveis, como o sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), promovendo a diversificação produtiva com ganhos ambientais e econômicos.

Para garantir o alto rendimento da Brachiaria, especialmente quando o foco é a produção de biomassa, a adubação se torna um fator decisivo. O uso de fertilizantes NPK é amplamente recomendado, pois o nitrogênio é essencial para o crescimento vegetativo, o fósforo atua na formação radicular e o potássio é vital para o equilíbrio hídrico, fotossíntese e resistência ao estresse. O *Boletim Técnico 100 do Instituto Agronômico de Campinas* é amplamente utilizado como referência no Brasil para recomendação de adubação, indicando doses adequadas de NPK de acordo com a cultura, tipo de solo e nível de produtividade esperado. No caso das forrageiras como a Brachiaria, a demanda por potássio é elevada, especialmente em solos tropicais naturalmente pobres nesse nutriente.

Contudo, a dependência de fertilizantes convencionais, principalmente o cloreto de potássio (KCl), levanta preocupações econômicas e ambientais. O Brasil é um dos maiores consumidores mundiais de KCl, mas depende da importação da maior parte desse insumo, o que eleva os custos de produção e gera vulnerabilidade comercial. Além disso, o excesso de cloro pode provocar desequilíbrios nutricionais e aumentar a salinização do solo em longo prazo.

Nesse contexto, cresce o interesse pelo uso de fertilizantes alternativos, como o termopotássio. Esse insumo é obtido a partir do reaproveitamento de resíduos industriais ou da transformação térmica de minerais potássicos de baixo solubilidade. Sua produção envolve a fusão de materiais com alto teor de potássio, como rejeitos do beneficiamento de rochas ou resíduos de lavras de potássio, formando um produto com liberação mais lenta e eficiente do nutriente.

O termopotássio, por ser um resíduo do KCl ou oriundo de rochas potássicas, apresenta como vantagem a sustentabilidade do processo produtivo, promovendo a economia circular ao transformar resíduos em insumos agrícolas úteis. Além disso, sua aplicação no solo contribui para a redução da dependência de fertilizantes importados e pode melhorar a eficiência de uso do potássio em sistemas agrícolas intensivos e extensivos. A possibilidade de aplicar esse fertilizante em culturas energéticas como a Brachiaria amplia ainda mais seu potencial, unindo ganhos agronômicos à preservação ambiental.

Diante desse cenário, o presente trabalho objetiva avaliar os efeitos do uso do termopotássio na produtividade de biomassa de Brachiaria para fins energéticos. Busca-se compreender o desempenho agronômico da planta sob diferentes formas de adubação potássica, explorando tanto os ganhos produtivos quanto os aspectos ambientais e econômicos relacionados ao uso de fertilizantes alternativos.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As gramíneas do gênero *Brachiaria* têm se destacado nas pastagens tropicais brasileiras pela rusticidade, elevada produção de matéria seca e boa adaptação a diferentes condições edafoclimáticas. Em particular, a cultivar *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés apresenta porte elevado, rápido crescimento, boa rebrota e alta produtividade de biomassa, sendo considerada uma alternativa promissora tanto para sistemas de pastejo quanto para fins energéticos. Seu desempenho agronômico é favorecido por práticas adequadas de adubação, especialmente potássica, o que a posiciona como uma cultura estratégica para sistemas intensivos de produção de biomassa vegetal (Valle; Euclides; Montagner, 2010; Morais, 2022).

Além de seu valor forrageiro, a *Brachiaria brizantha* tem ganhado atenção como fonte de

biomassa para geração de energia, especialmente por apresentar elevado acúmulo de matéria seca em curto período e boa resposta ao manejo. Seu uso para fins energéticos, como produção de biocombustíveis sólidos, representa uma estratégia promissora para diversificação da matriz energética e valorização de espécies nativas e adaptadas ao clima tropical (Rodrigues *et al.*, 2021).

Nesse sentido, destaca-se a vantagem da *Brachiaria brizantha* frente a outras culturas energéticas, como a cana-de-açúcar, que requer de 12 a 18 meses para atingir seu estágio de colheita. Essas variações, conhecidas como "cana-planta" e "cana de ano e meio", representam ciclos produtivos distintos que demandam maior tempo até a colheita, o que pode limitar a frequência de aproveitamento da biomassa ao longo do ano (Conab, 2015; Vitti; Mazza, 2002).

A *Brachiaria*, por outro lado, permite múltiplas colheitas ao ano com intervalos de apenas 90 a 120 dias, proporcionando maior flexibilidade e velocidade na geração de biomassa após a emergência, demonstrando sua capacidade de renovação rápida de biomassa. (Morais, 2022; Paso Ita, 2025).

Do ponto de vista da viabilidade ambiental, o cultivo da *Brachiaria* contribui para a conservação do solo e da água, reduz a emissão de gases de efeito estufa e melhora a fertilidade do solo quando bem manejado. Seu uso em sistemas integrados promove maior eficiência no uso dos recursos naturais e pode aumentar a rentabilidade dos sistemas agropecuários (Silva *et al.*, 2023; Mattos; Teixeira, 2019).

O aproveitamento energético da biomassa vegetal tem ganhado destaque como alternativa sustentável aos combustíveis fósseis. A *Brachiaria brizantha*, além de ser uma forrageira de alta produtividade, apresenta elevado potencial para geração de energia, podendo ser utilizada na forma de biomassa sólida para queima direta em sistemas de cogeração, com poder calorífico entre 15 e 18 MJ/kg. (Inra; Cirad; Fao, 2025).

A produtividade da *Brachiaria* é altamente influenciada pelo manejo da fertilidade do solo, com destaque para os nutrientes nitrogenados, fosfatados e potássicos. A aplicação equilibrada de NPK é fundamental para garantir bom desempenho da cultura, sendo o potássio essencial para a fotossíntese, a regulação hídrica e a resistência ao estresse biótico e abiótico (Freitas *et al.*, 2022).

No Brasil, a principal referência técnica para recomendação de adubação é o Boletim Técnico 100 do Instituto Agronômico de Campinas, que fornece diretrizes baseadas em resultados de pesquisa regionalizados, orientando as doses de NPK conforme tipo de solo, cultura e expectativa de produtividade. Para gramíneas forrageiras como a *Brachiaria*, o boletim recomenda doses que variam conforme a análise do solo, priorizando o equilíbrio nutricional para maximizar a produtividade (Raij *et al.*, 1997).

A demanda por potássio nas forrageiras tropicais é elevada, principalmente em espécies de

rápido crescimento como a *Brachiaria brizantha*. Esse macronutriente participa ativamente de processos fisiológicos como a abertura e fechamento estomático, fotossíntese e translocação de açúcares, sendo essencial para o vigor vegetativo e a tolerância a estresses hídricos. Devido à intensa extração de biomassa em sistemas de corte e pastejo, há significativa exportação de potássio do solo, podendo ultrapassar 100 kg ha⁻¹ por ciclo, dependendo do manejo e da produtividade. A reposição adequada desse nutriente é fundamental para a sustentabilidade do sistema, pois sua deficiência compromete a rebrota e a qualidade forrageira. Estudos recentes destacam que a exportação de K pela biomassa da *Brachiaria* pode representar um dos principais fatores limitantes à produtividade contínua, exigindo estratégias de adubação compatíveis com esse balanço nutricional (Oliveira *et al.*, 2023).

Considerando os altos custos e a dependência de importações de cloreto de potássio (KCl), tem-se buscado alternativas sustentáveis e economicamente viáveis para o fornecimento de potássio. Uma dessas alternativas é o termopotássio, um fertilizante produzido a partir da fusão de rochas potássicas ou resíduos industriais ricos em potássio. Sua liberação lenta e gradual favorece o aproveitamento do nutriente pela planta ao longo do ciclo (Silva *et al.*, 2021).

O termopotássio também representa uma solução ambiental, pois contribui com o reaproveitamento de resíduos minerais oriundos do processamento de KCl, promovendo a economia circular e reduzindo o impacto ambiental do descarte desses materiais. Além disso, sua viabilidade agronômica vem sendo comprovada em diversas culturas, mostrando-se eficiente no suprimento de potássio e, em muitos casos, comparável ao KCl convencional (Santos *et al.*, 2020; Carvalho *et al.*, 2020).

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos três experimentos em vasos (20 L) com *Brachiaria brizantha* cultivar Xaraes cultivada em Neossolo Quartzarênico sob casa-de-vegetação na APTA Pólo Centro Sul, Piracicaba, SP durante o período do mês de outubro 2023 a setembro de 2024. As análises químicas do solo mostraram: pH (CaCl₂)= 5,0; matéria orgânica (g dm⁻³)= 2; P resina (mg dm⁻³)= 3 ; K, Ca, Mg, CTC (mmolc dm⁻³)=0,1; 4; 1; 17; saturação por bases = 30 % e saturação por alumínio (m%)=0.O produto utilizado possui a seguinte composição química: K20 total=2,9 % (1,17% K20 solúvel em ácido cítrico); CaO = 9,6%; MgO = 2,9%; SiO₂ = 54,2%; Fe= 4,8%; Mn = 0,1%; P=0,05%; Al₂O₃ = 15,7%; Cl=0,9%; Na₂O=5,4%.

Os experimentos foram realizados em blocos inteiramente casualizados. O primeiro experimento utilizou um fatorial 2 x 4, ou seja, com e sem aplicação de calcário (quantidade de corretivo para chegar ao V% = 80%; 10,2 g de calcário por vaso) e 4 doses do termopotássio

equivalentes a 0; 1,5; 3 e 6 t ha⁻¹ (15, 30 e 60 g do produto por vaso) e 3 repetições, totalizando 24 parcelas. Devido ao baixo poder tampão do solo (textura arenosa), foi usado 80% como valor de V% recomendada para cálculo da necessidade de calagem.

O experimento foi um fatorial 2 x 3 x 2, composto de 2 doses de N e P (dose adequada para a cultura de acordo com a recomendação, metade dose recomendada) e 3 doses de resíduo termopotássio (0; 1,5; 3 t ha⁻¹) e com e sem aplicação de corretivo (calcário) e três repetições, totalizando 54 parcelas.

O solo em área nativa para evitar interferência de adubações anteriores. Os vasos foram preenchidos com solo e calcário e/ou termopotássio após homogeneização em sacos plásticos, onde permaneceram durante 30 dias para possibilitar reação dos materiais. A semeadura foi realizada em dezembro 2023, com a mesma quantidade de sementes para cada vaso dos três experimentos. Após as plantas atingirem altura de 10 cm, foi feito o desbaste, deixando-se 4 plantas por vaso.

Antes da semeadura e após a segunda colheita, foram aplicados nitrogênio (nitrato de amônio) e fósforo (superfosfato simples com 18% de P2O5, 6 % de CaO e 8% de S) nas doses equivalentes a 100 kg ha⁻¹ N e 120 kg ha⁻¹ P2O5 no experimento 1. No experimento 2, foram utilizadas essas mesmas doses nos tratamentos com dose adequada e metade desses valores com metade da dose recomendada. As quantidades de superfosfato simples (SPS) usando a dose recomendada e metade dela foram 6,7 e 3,35 g de SPS por vaso.

Durante a condução do experimento, o volume de água reposto foi em função da necessidade da cultura. As colheitas foram realizadas 60, 120 e 180 dias após a semeadura, ou seja em fevereiro, abril e junho. Na colheita, foram cortadas todas as folhas e haste da planta (parte aérea) para avaliação da massa fresca e da matéria seca após secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65° C. Após a colheita final do experimento, foi coletado o sistema radicular para avaliação da massa seca. O sistema radicular foi lavado em água corrente.

O sistema radicular de cada vaso foi lavado em água corrente, tendo a água e resíduos vegetais passados por peneira. Para recolher raízes mais finas, essa água e resíduos passaram por outra peneira mais fina para que fossem recuperadas no sobrenadante.

Para estimar a produtividade da *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés em escala de campo, os valores médios obtidos nos três cortes de cada tratamento foram inicialmente expressos em gramas de matéria seca por vaso (g/vaso). Cada vaso possuía capacidade de 20 litros e foi cultivado com quatro plantas, totalizando uma densidade estimada de 4 plantas por vaso.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de massa seca da Brachiaria brizantha na primeira colheita foi influenciada significativamente pelas doses de nitrogênio e fósforo (NP) e pela aplicação de calcário, de forma independente (Tabela 1). Os maiores valores de biomassa foram observados nas parcelas que receberam a dose completa de NP, evidenciando a elevada responsividade da cultura ao nitrogênio, que estimula o crescimento da parte aérea, e ao fósforo, essencial para o desenvolvimento radicular e o estabelecimento inicial da planta (Freitas *et al.*, 2022).

Em contrapartida, a aplicação de calcário resultou em redução da massa seca, o que pode ser atribuído à rápida reatividade do corretivo em solos com baixa capacidade tampão, como os Neossolos Quartzarênicos utilizados neste experimento. Essa condição pode ter promovido aumentos abruptos no pH e, consequentemente, desequilíbrios na disponibilidade de nutrientes, especialmente micronutrientes catiônicos como Mn, Fe e Zn (Malavolta, 1980; Carvalho *et al.*, 1991). Além disso, a alteração na dinâmica dos nutrientes pode ter impactado negativamente a absorção de elementos essenciais, limitando o crescimento da cultura mesmo diante da aplicação adequada de NP.

Tabela 1. Produção de massa seca da parte aérea de três colheitas consecutivas e do sistema radicular após a terceira colheita influenciada pela aplicação de calcário e doses de NP e termopotássio (TK)

Termopotássio kg ha ⁻¹	1º corte	2º corte	3º corte	Raiz
G				
+ Calc - NP1				
0	35,66	28,72	3,13	4,92
1,5	29,21	42,58	3,25	4,91
3,0	42,76	42,81	2,91	6,73
- Calc - NP1				
0	45,91	38,04	2,91	4,75
1,5	48,82	34,13	2,66	4,67
3,0	50,57	37,54	3,59	5,32
+ Calc - NP0,5				
0	21,37	24,08	12,13	47,27
1,5	20,84	27,01	12,30	52,74
3,0	20,94	26,63	13,64	43,29
- Calc - NP0,5				
0	33,82	24,13	11,73	59,26
1,5	33,19	28,05	14,29	64,88
3,0	33,23	30,40	13,88	74,62
Prob>F				
Bloco	0,5802ns	0,7954ns	0,1054ns	0,2011*
Dose NP (NP)	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*
Calcário (Calc)	0,0001*	0,1236ns	0,5676ns	0,0061*
Termopotássio (TK)	0,3065ns	0,0001*	0,2437ns	0,6079ns
NPx calc	0,9629ns	0,2096ns	0,5104ns	0,3037,s
NP x TK	0,2860ns	0,2199ns	0,3579ns	0,7171*
NP x calc x TK	0,5548ns	0,7465ns	0,6111ns	0,3415ns

NP1: dose equivalente de N e P de 100 e 120 kg ha⁻¹; NP0,5: dose equivalente de N e P de 50 e 60 kg ha⁻¹;

*ns= não significativo; * significativos pelo Teste F a 5%; *+Calc= com calcário; * -Calc= sem calcário.
Fonte: Dados do Autor.

Na segunda colheita, observou-se efeito significativo das doses de nitrogênio e fósforo (NP) e do termopotássio (TK) sobre a produção de massa seca da *Brachiaria brizantha*, enquanto a aplicação de calcário não influenciou esse parâmetro (Tabela 1). A ausência de efeito do corretivo nesse ciclo pode estar associada à sua reação lenta em solos arenosos de baixa capacidade tampão, o que retarda alterações significativas na disponibilidade de nutrientes e no pH (Malavolta, 1980). As maiores produtividades foram obtidas com a aplicação das doses mais elevadas de NP e TK, indicando resposta positiva da cultura à adubação potássica, especialmente no segundo corte, quando a demanda por nutrientes tende a se intensificar devido à maior atividade metabólica e expansão vegetativa (Freitas *et al.*, 2022).

Na terceira colheita, apenas o fator NP influenciou a produção de biomassa, sendo os maiores valores registrados nas parcelas com aplicação da dose completa de N e P (Tabela 2). A ausência de resposta ao termopotássio neste ciclo pode estar relacionada à baixa solubilidade e à lenta liberação do nutriente, que se mostrou insuficiente para suprir a demanda da cultura em longo prazo. Esse comportamento é comum em fertilizantes de liberação gradual, especialmente em solos de textura arenosa, onde a lixiviação é elevada e a capacidade de retenção de nutrientes é limitada (Santos *et al.*, 2020; Carvalho *et al.*, 2020). Adicionalmente, a presença de calcário pode ter interferido na solubilização do resíduo potássico, reduzindo ainda mais sua disponibilidade. Cabe destacar que a aplicação de meia dose de NP resultou em baixo desenvolvimento da cultura, reforçando a exigência nutricional da *Brachiaria* e a importância da reposição adequada de macronutrientes em sistemas de alta exportação de biomassa.

O baixo acúmulo de fitomassa observado no terceiro corte também evidencia o reduzido efeito residual das adubações realizadas após a primeira colheita, o que é compatível com o rápido esgotamento dos nutrientes em solos arenosos sob alta demanda vegetal. Por fim, a massa seca do sistema radicular após a terceira colheita foi positivamente influenciada tanto pela aplicação de calcário quanto pelas doses de NP (Tabela 2). O corretivo promoveu maior desenvolvimento radicular, provavelmente em razão da redução da toxidez por alumínio e da melhoria nas condições químicas da rizosfera, favorecendo o crescimento subterrâneo. Esse resultado reforça a importância de o manejo integrado da fertilidade do solo para o desempenho radicular e a sustentabilidade produtiva da cultura (Oliveira *et al.*, 2023).

Tabela 2. Comparação da produção de massa seca da parte aérea de três colheitas consecutivas e do sistema radicular após a terceira colheita influenciada pela aplicação de calcário e doses de NP e termopotássio (TK)

Tratamentos	Massa seca (g)			
	1º corte	2º corte	3º corte	Raiz
NP 1	42,15 A(0)	35,13 A	12,99 A	57,01 A
NP 0,5	27,29 B(1)	26,72 B	3,07 B	52,2 B
DMS*	4,24	2,72	1,01	6,11
+Calc	28,46 B	31,97 A	8,18 A	35,58 A
- Calc	40,92 A	29,87 A	7,89 A	26,64 B
DMS*	4,24	2,71	1,02	6,11
TK0	34,19 A	25,48 B	7,47 A	29,05 A
TK 1,5	33,01 A	32,94 A	8,12 A	31,80 A
TK 3,0	36,84 A	34,35 A	8,50 A	32,49 A
DMS*	6,29	4,03	1,5	9,05

NP 1= dose recomendada; NP 0,5=metade de NP1. +Calc= com calcário; -Calc= sem calcário.

*DMS=Diferença mínima significativa, Letras iguais na mesma coluna, dentro de cada dose de NP ou calcário ou TK não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: Dados do Autor.

3.1 Análise Química do Solo

A análise química do solo realizada após a terceira colheita revelou que os atributos foram influenciados principalmente pelas doses de NP e de calcário, não havendo efeito significativo das doses de termopotássio (TK) sobre os parâmetros avaliados (Tabela 4). De acordo com as faixas de interpretação do Boletim 100 (Cantarella et al., 2022) para solos de textura arenosa utilizados com gramíneas forrageiras, os valores de pH em CaCl₂ situaram-se entre 4,5 e 6,7, variando conforme a presença ou ausência de calcário. Observa-se que os tratamentos com calcário elevaram o pH para níveis considerados adequados (>5,5), enquanto os sem calcário mantiveram-se em faixa de acidez elevada (<5,2), o que pode limitar o desenvolvimento radicular e a absorção de nutrientes, especialmente o fósforo.

Os teores de P (resina) variaram de 6 a 21 mg dm⁻³. De acordo com o boletim, para pastagens, valores entre 10 e 20 mg dm⁻³ são considerados de médio a bom suprimento, o que indica que a adubação fosfatada foi eficiente nos tratamentos com maior dose de NP. Já os valores inferiores a 10 mg dm⁻³, observados nas menores doses de NP e nos tratamentos sem calcário, indicam teores baixos, com possível limitação à produtividade.

A saturação por bases (V%) foi significativamente maior nos tratamentos com calcário, atingindo valores próximos ou superiores a 50%, como recomenda o boletim para gramíneas forrageiras. Nos tratamentos sem calagem, os valores de V% ficaram abaixo de 40%, indicando

necessidade de correção da acidez. Essa elevação da saturação por bases está associada à neutralização de H^+ e Al^{3+} pelo calcário, conforme descrito no boletim.

Em relação ao alumínio trocável (Al^{3+}) e à saturação por alumínio (m%), os tratamentos com calagem apresentaram valores próximos de zero, condição desejável para o bom desenvolvimento radicular. Nos tratamentos sem calcário, o Al^{3+} e o m% foram mais elevados, superando 7%, o que representa risco de toxidez para gramíneas tropicais, segundo o Boletim 100.

Os valores de condutividade elétrica (CE) foram baixos em todos os tratamentos ($\leq 0,1 \text{ dS m}^{-1}$), indicando que não houve acúmulo de sais solúveis em níveis que pudessem prejudicar o desenvolvimento da cultura. Essa condição é típica de solos arenosos com boa drenagem, mesmo após a aplicação de fertilizantes.

A capacidade de troca de cátions (CTC) foi influenciada pelas doses de NP, com maiores valores nas parcelas que receberam adubação completa. O aumento da CTC pode estar associado ao incremento de matéria orgânica e à maior ocupação dos sítios de troca por cátions básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+), especialmente em solos de baixa fertilidade natural.

Portanto, os dados da análise química do solo corroboram os efeitos observados na produção de massa seca, confirmado a importância da calagem para correção da acidez e da adubação equilibrada com N e P. Por outro lado, o termopotássio, nas doses testadas, não promoveu alterações significativas nos atributos químicos do solo, o que pode indicar a necessidade de doses superiores ou de maior tempo de reatividade para expressar seus efeitos agronômicos.

Tabela 3. Análise química do solo após a terceira colheita de brachiaria cultivada em função da aplicação de calcário, termopotássio e NP

Doses kg ha ⁻¹	pH CaCl ₂	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	V%	CTC	CE
+ Calc - NP1								
0	5,4	16	0,2	11	1	50	24	0,1
1,5	5,4	21	0,2	10	1	47	23	0,1
3,0	5,4	16	0,3	10	1	48	24	0,1
- Calc - NP1								
0	4,5	15	0,3	7	1	39	22	0,1
1,5	4,5	16	0,3	5	1	31	21	0,1
3,0	4,5	18	0,3	6	1	33	22	0,1
+ Calc - NP 0,5								
0	6,7	12	0,2	9	1	49	21	0,1
1,5	6,6	12	0,2	9	1	50	21	0,1
3,0	6,5	9	0,3	9	1	50	21	0,1
- Calc - NP 0,5								
0	5,1	6	0,3	7	1	42	21	0,1
1,5	5,1	6	0,3	7	1	41	20	0,0

	3,0	5,0	6	0,2	7	1	43	21	0,0
	Prob >F								
Bloco	0,17ns	0,69ns	0,20ns	0,24ns	0,25ns	0,18ns	0,28ns		0,08ns
NP	0,01*	0,01*	0,72ns	0,90ns	0,65ns	0,01*	0,01*		0,09ns
(Calcário)	0,01*	0,03*	0,29ns	0,01*	0,65ns	0,01*	0,05ns		0,11ns
TK	0,53ns	0,65ns	0,88ns	0,52ns	0,50ns	0,37ns	0,53ns		0,31ns
NPxC	0,21ns	0,28ns	0,72ns	0,33ns	0,18ns	0,12ns	0,12ns		0,52ns
NPxTK	0,36ns	0,67ns	0,88ns	0,52ns	0,45ns	0,23ns	0,96ns		0,21ns
NPxCx TK	0,94ns	0,71ns	0,62ns	0,98ns	0,79ns	0,74ns	0,98ns		0,67ns

ns=não significativo pelo Teste F a 5%; C=calcário; TK=doses de termopotássio; + Calc= com calcário; -Calc= sem calcário.

Fonte: Dados do Autor

Tabela 4. Comparação dos resultados de análise química do solo após a terceira colheita de braquiária cultivada em função da aplicação de calcário, termopotássio e NP

Calc	pH CaCl ₂	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg mmolc	H+Al dm ⁻³	Al %	CTC %	V %	m %	CE %
NP 1	4,9 B	16,9 A	0,28 A	8,2 A	1,2 A	13,4 A	0,5 A	22,8 A	41,3 B	6,6 A	0,1 A
NP0,5	5,8 A	8,1 B	0,27 A	8,2 A	1,1 A	11,3 B	0,0 B	20,7 B	45,8 A	0 B	0,1 A
DMS*	0,1	3,1	0,2	1	0,2	0,4	0,2	1,1	2,8	2,3	0,01
+ Calc	4,8 B	10,8 B	0,3 A	6,7 B	1,2 A	13,3 A	0,5 A	21,2 A	38,0 B	6,6 A	0,1 A
- Calc	6,0 A	14 A	0,2 A	9,7 A	1,1 A	11,4 B	0,0 B	22,3 A	49 A	0 B	0,1 A
DMS*	0,1	3,1	0,2	1	0,2	0,4	0,2	1,1	2,8	0,2	0,01
TK0	5,4 A	12,1 A	0,3 A	8,5 A	1,2 A	12,2 A	0,2 A	21,9 A	44,7 A	1,9 A	0,1 A
TK1,5	5,4 A	13,5 A	0,3 A	7,8 A	1,1 A	12,4 A	0,3 A	21,3 A	42,4 A	4,2 A	0,1 A
TK3,0	5,4 A	11,9 A	0,3 A	8,2 A	1,1 A	12,6 A	0,3 A	22 A	43,4 A	3,8 A	0,1 A
DMS*	0,16	4,7	0,1	0,4	0,4	0,5	0,3	1,6	4,1	3,4	0,1

*DMS=Diferença mínima significativa, Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%;

*Calc= calcário; + Calc= com calcário; -Calc= sem calcário.

Fonte: Dados do Autor.

3.2 Comparação com o Bagaço da Cana-de-açúcar

Com base nos dados obtidos neste estudo, a *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés apresentou produtividade de massa seca anual variando entre 6,42 e 6,88 t/ha/ano, considerando a soma de três cortes e uma densidade estimada de 300.000 plantas por hectare. Assumindo um poder calorífico inferior (PCI) de 15 MJ/kg, conforme valores médios de gramíneas tropicais (Borges et al., 2016), a energia potencial obtida variou entre 96.311 e 103.162 MJ/ha, o que corresponde a aproximadamente 26.751 a 28.655 kWh/ha/ano.

Em comparação, o bagaço da cana-de-açúcar, amplamente utilizado como fonte energética

na indústria sucroalcooleira, apresenta produtividade média de 15 t/ha/ano de matéria seca com um PCI superior, estimado em 17 MJ/kg (Canabrava, 2019; Conab, 2022). Isso representa um potencial energético de 255.000 MJ/ha/ano ou 70.839 kWh/ha/ano, sendo consideravelmente superior em termos absolutos, mas com limitações quanto à exigência de solo, clima e maior tempo de ciclo.

Tabela 5 – Comparativo entre Brachiaria Xaraés e bagaço de cana-de-açúcar

Cultura	Produtividade (t MS/ha/ano)	PCI (MJ/kg)	Energia (MJ/ha)	Energia (kWh/ha)
Brachiaria Xaraés (mín.)	6,42	15	96.311	26.751
Brachiaria Xaraés (máx.)	6,88	15	103.162	28.655
Bagaço da cana-de-açúcar	15,00	17	255.000	70.839

Fonte: Dados do autor; Borges *et al.* (2016); Canabrava (2019); Conab (2022).

Os resultados obtidos neste experimento foram inferiores aos relatados na literatura para condições de campo, o que é esperado, dado que o cultivo foi conduzido em vasos de 20 litros sob ambiente controlado. A limitação de espaço para o sistema radicular, o volume restrito de solo e a ausência de interações ecológicas típicas do campo contribuem para uma redução natural na produtividade da biomassa (Alcântara *et al.*, 1992).

3.3 Comparação com a Brachiaria cv. Mulato

A cultivar *Brachiaria* cv. Mulato é reconhecida por seu elevado desempenho produtivo, podendo atingir de 25 a 35 t/ha/ano de matéria seca da parte aérea sob condições ideais de solo, irrigação e adubação (Pires, 2006). Mantendo o PCI adotado para gramíneas tropicais (15 MJ/kg), o potencial energético estimado varia de 375.000 a 525.000 MJ/ha, o que equivale a 104.175 a 145.170 kWh/ha/ano.

Quando comparada ao bagaço da cana-de-açúcar, a *Brachiaria Mulato* demonstra potencial energético significativamente superior, superando inclusive cultivos tradicionais em termos de produtividade energética por hectare. Isso evidencia que gramíneas forrageiras, quando bem manejadas, podem representar alternativas viáveis para a geração de bioenergia, com a vantagem de apresentarem maior flexibilidade de corte, adaptação a solos de média fertilidade e implantação mais simples, inclusive em sistemas integrados com outras culturas.

Tabela 6 – Comparativo entre Brachiaria Mulato e bagaço de cana-de-açúcar

Cultura	Produtividade (t MS/ha/ano)	PCI (MJ/kg)	Energia (MJ/ha)	Energia (kWh/ha)
Brachiaria Mulato (mín.)	25,00	15	375.000	104.175
Brachiaria Mulato (máx.)	35,00	15	525.000	145.170
Bagaço da cana-de-açúcar	15,00	17	255.000	70.839

Fonte: Pires (2006); Canabrava (2019); Conab (2022); Borges *et al.* (2016).

CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que não houve interação significativa entre as variáveis calcário, doses de nitrogênio e fósforo (NP) e termopotássio (TK) na produção de massa seca da parte aérea e do sistema radicular da *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés, sendo os efeitos independentes e variáveis ao longo dos três ciclos avaliados. A aplicação da dose completa de NP resultou em maior acúmulo de biomassa em comparação à metade da dose, tanto na parte aérea quanto nas raízes, reforçando a importância do fornecimento adequado desses macronutrientes para o pleno desenvolvimento da cultura e sua destinação energética.

A adição de calcário promoveu efeito negativo na massa seca apenas na primeira colheita, possivelmente devido a desequilíbrios temporários na disponibilidade de nutrientes provocados pela elevação do pH. No entanto, observou-se efeito positivo no desenvolvimento radicular, o que sugere uma ação benéfica do corretivo na desativação do alumínio tóxico em camadas mais profundas do solo, favorecendo o crescimento subterrâneo essencial para o suporte da rebrota e do acúmulo de biomassa em sistemas de corte frequente.

O termopotássio, utilizado como fonte alternativa de potássio, mostrou incremento significativo de massa seca apenas na segunda colheita. Esse resultado pode estar relacionado à baixa solubilidade do produto, uma vez que se trata de um resíduo sólido derivado da indústria de KCl, com liberação lenta de potássio. Além disso, a dose aplicada pode ter sido insuficiente para atender à demanda da cultura nos diferentes ciclos, como indicam os baixos valores de condutividade elétrica observados nos tratamentos com TK.

Os atributos químicos do solo, como pH, fósforo disponível (P), acidez potencial (H+Al), alumínio trocável (Al^{3+}), saturação por bases (V%) e por alumínio (m%), além da condutividade elétrica, foram alterados principalmente pelas doses de NP e calcário. Em contrapartida, o termopotássio não demonstrou efeito expressivo sobre esses parâmetros, reforçando a necessidade de ajustes em sua dose e tempo de aplicação para expressar seu potencial agronômico.

Dessa forma, o uso do termopotássio apresenta-se como uma alternativa promissora e

sustentável para o fornecimento de potássio na cultura da *Brachiaria*, especialmente considerando sua origem residual e o reaproveitamento de subprodutos industriais. Com o adequado manejo da fertilidade e o uso estratégico de fontes alternativas como o TK, a *Brachiaria brizantha* demonstra alto potencial como fonte de biomassa lignocelulósica para fins energéticos, devido à sua rápida rebrota, elevada matéria seca e possibilidade de múltiplas colheitas anuais. Tais características reforçam sua viabilidade como cultura estratégica para geração de energia renovável por queima direta.

REFERÊNCIAS

BORGES, C. E. S. *et al.* Potencial energético de gramíneas tropicais cultivadas em diferentes espaçamentos. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 5, n. 3, p. 153–166, 2016.

CARVALHO, A. M. X. de *et al.* Caracterização e avaliação agronômica de rochas silicáticas potássicas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 44, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20200011>. Acesso em: 7 abr. 2025.

CARVALHO, M. M.; MARTINS, C. E.; VERNEQUE, R. da S.; SIQUEIRA, C. Resposta de uma espécie de braquiária à fertilização com nitrogênio e potássio em um solo ácido. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 15, p. 195–200, 1991.

CANABRAVA, H. C. *Aproveitamento energético do bagaço de cana-de-açúcar em usinas sucroenergéticas brasileiras*. Universidade Federal de Itajubá, 2019. (Dissertação de Mestrado).

CANTARELLA, H. *et al.* Boletim 100: *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 5. ed. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2022.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. *Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar – Safra 2021/2022 – Terceiro levantamento*. Brasília: Conab, 2022. Acesso em: 06 Jul.2025.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. *Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, 2º levantamento, 2015/16*. Brasília: Conab, 2015. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 03 jul. 2025.

FAQUIN, V.; HOFFMANN, C. R.; EVANGELISTA, A. R.; GUEDES, G. A. A. O potássio e o enxofre no crescimento da braquiária e do colonião em amostras de um Latossolo da região Noroeste do Paraná. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 19, p. 87–94, 1995.

FREITAS, L. B. de *et al.* Efeitos quantitativos e qualitativos do nitrogênio e potássio em pastagens. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 26, n. 1, p. 50–56, 2022.

INRA; CIRAD; FAO. *Brachiaria brizantha* (signal grass). Feedipedia - Animal Feed Resources Information System. Disponível em: <https://www.feedipedia.org/node/490>. Acesso em: 3 jul. 2025.

MALAVOLTA, E. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

- MARAFON, A. C. *et al.* Poder calorífico do capim-elefante para geração de energia térmica. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016. (Circular Técnica, 115). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1060103>. Acesso em: 3 jul. 2025.
- MORAIS, L. C. Produção de biomassa de Brachiaria brizantha cv. Xaraés sob diferentes doses de potássio em Neossolo Quartzarênico. *Revista Agroambiental*, v. 14, n. 3, p. 112–118, 2022.
- MORAIS, M. N. *Manejo de capim Xaraés (Brachiaria brizantha cv. Xaraés) em diferentes sistemas de pastejo*. 2022. Monografia (Bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2022.
- PASO ITA – Embrapa e Associado UNIPASTO. *Brachiaria brizantha cv. Xaraés / Toledo (MG-5)*. Disponível em: <https://www.pasoita.com.br/en/grass-brachiaria-brizantha-cv-xaraes-toledo-mg-5>. Acesso em: 3 jul. 2025.
- PIRES, A. V. *Forragicultura: princípios e tecnologias*. Jaboticabal: FUNEP, 2006.
- RODRIGUES, L. M.; FERREIRA, T. A.; SOUZA, R. P. Potencial energético de gramíneas forrageiras em sistemas integrados de produção agropecuária. *Revista Brasileira de Agroenergia*, v. 13, n. 2, p. 89–98, 2021.
- VALLE, C. B.; EUCLIDES, V. P. B.; MONTAGNER, D. B. *Melhoramento genético e características das cultivares de Brachiaria brizantha*. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2010. (Documentos, 186).
- VITTI, G. C.; MAZZA, J. A. F. Fisiologia da cana-de-açúcar: cana-planta e cana de ano e meio. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (org.). *Cana-de-açúcar*. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2002. p. 345–360 tropicais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 47, e0230024, 2023.
- RAIJ, B. van *et al.* *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1997. (Boletim Técnico 100).
- SANTOS, G. D. dos *et al.* Termopotássio como fertilizante alternativo para culturas agrícolas. *Revista Brasileira de Agroecologia*, Pelotas, v. 15, n. 3, p. 91–101, 2020.
- SILVA, R. A. da *et al.* Termopotássio: um fertilizante alternativo a partir de resíduos industriais potássicos. *Revista de Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 52, n. 4, p. 601–610, 2021.

1 GOMES, Paola Soares de Sousa, é graduada em Tecnologia em Biocombustíveis pela Faculdade de Tecnologia de Piracicaba – FATEC – Dep. “Roque Trevisan”. Paola.gomes@fatec.sp.gov.br

2 CAMARGO, Mônica Sartori de, Possui graduação em Agronomia pela Universidade de São Paulo/ESALQ (1995), mestrado (1997) e doutorado (2001) em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas) pela Universidade de São Paulo / ESALQ. Com pós-doutorado (Bolsista RD/CNPQ) de 2001 a 2003 na Universidade Federal de Uberlândia na área de Fertilidade do Solo, focado no uso do silício na agricultura. Foi professora concursada na área de Fertilidade e Adubação na Universidade Estadual de Goiás (2004-2005), Editora Associada da Horticultura Brasileira na área de adubação (2008-2012), diretora do núcleo de pesquisa (2017-2018), substituta do diretor técnico (2017-2018) e diretora técnica de divisão da APTA Pólo Centro sul (2021-2022). Atualmente, é diretora técnica de serviço da APTA Regional de Piracicaba continuando a atuar como pesquisadora científica. É também revisora ad hoc de várias revistas científicas nacionais e internacionais e agências de fomento e possui experiência na área de Agronomia, com ênfase em Fertilidade do Solo, Adubação e Nutrição de Plantas, atuando principalmente nos seguintes temas: uso do silício na agricultura para melhoria da qualidade das plantas sob estresses abióticos, especialmente déficit hídrico. mscamarg@yahoo.com.br

3 SILVA, Fábio Cesar da, Possui graduação em Engenharia Agronômica pela Universidade de São Paulo (1987), graduação em Engenharia Florestal pela Universidade de São Paulo (1987), mestrado em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade de São Paulo (1991) e doutorado em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade de São Paulo (1995). Atualmente é professor pleno 1 (equivalente: adjunto) da Faculdade de Tecnologia de Piracicaba – FATEC Dep. “Roque Trevisan” e pesquisador doutor da Embrapa Agricultura Digital, Campinas-SP.