

Utilização de sulfato de amônio no solo produzido com licor de amônia residual da indústria de produção de aço e ácido sulfúrico residual de baterias automotivas no desenvolvimento inicial da cultura do milho (*Zea mays* L.)

Alexandre Sylvio Vieira da Costa

Professor Doutor, UFVJM, Brasil

alexandre.costa@ufvjm.edu.br

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7251-7816>

Marcos Cordeiro Fonseca

Doutorando, UFVJM, Brasil

marcos.cordeiro@ufvjm.edu.br

ORCID iD <https://orcid.org/0000-0002-5111-9357>

Submissão: 06/01/2026

Aceite: 12/02/2026

COSTA, Alexandre Sylvio Vieira da; FONSECA, Marcos Cordeiro. Utilização de sulfato de amônio no solo produzido com licor de amônia residual da indústria de produção de aço e ácido sulfúrico residual de baterias automotivas no desenvolvimento inicial da cultura do milho (*Zea mays* L.). **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, [S. l.], v. 22, n. 1, p. e2513, 2026. DOI: [10.17271/1980082722120266244](https://doi.org/10.17271/1980082722120266244). Disponível

em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/6244

Licença de Atribuição CC BY do Creative Commons: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Utilização de sulfato de amônio no solo produzido com licor de amônia residual da indústria de produção de aço e ácido sulfúrico residual de baterias automotivas no desenvolvimento inicial da cultura do milho (*Zea mays* L.)

RESUMO

Objetivo – Este trabalho tem por objetivo avaliar a viabilidade técnica da produção do sulfato de amônio a partir de resíduos industriais e analisar o seu desempenho agrônomo como fertilizante de nitrogênio e enxofre na cultura de milho.

Metodologia – A pesquisa adotou uma abordagem experimental baseada em ensaios controlados em vasos. O sulfato de amônio foi produzido utilizando ácido sulfúrico residual proveniente de baterias automotivas e licor amoniacal da indústria siderúrgica. Uma segunda formulação foi preparada empregando ácido residual e amônia comercial, enquanto o sulfato de amônio (P.A.) foi utilizado como referência. As soluções de fertilizantes foram aplicadas ao solo em doses de nitrogênio variando de 20 a 120 kg N·ha⁻¹, seguidas da semeadura do milho (*Zea mays* L.). O crescimento das plantas e o acúmulo de biomassa foram posteriormente avaliados.

Originalidade/Relevância – O estudo aborda uma lacuna relevante relacionada ao reaproveitamento de resíduos industriais para a produção de fertilizantes, contribuindo para as discussões sobre a redução da dependência do Brasil em relação aos fertilizantes importados. O estudo aprofunda o conhecimento sobre fontes alternativas de nutrientes alinhado aos princípios da economia circular.

Resultados – As plantas de milho apresentaram respostas positivas a todas as fontes de sulfato de amônio testadas. No entanto, taxas de aplicação mais elevadas resultaram em efeitos fitotóxicos, especialmente na biomassa aérea, enquanto a biomassa radicular foi negativamente afetada mesmo em doses mais baixas de nitrogênio.

Contribuições Teóricas/Metodológicas – Os resultados contribuem para a compreensão da dinâmica de nutrientes e dos limites de toxicidade associados a fontes alternativas de sulfato de amônio, oferecendo subsídios metodológicos para a avaliação de fertilizantes derivados de resíduos em condições controladas.

Contribuições Sociais e Ambientais – A abordagem proposta promove a valorização de resíduos industriais, potencialmente reduzindo passivos ambientais e contribuindo para cadeias de suprimento de fertilizantes mais sustentáveis. Além disso, apoia estratégias voltadas ao fortalecimento da sustentabilidade agrícola e ao fomento de um sistema fornecimento de insumos agrícolas mais resiliente e autônomo.

Palavras-chave: Resíduos industriais, fertilidade do solo, desenvolvimento das culturas, fertilizantes alternativos.

2

Use of Ammonium Sulfate in Soil Produced with Residual Ammonia Liquor from the Steel Industry and Residual Sulfuric Acid from Automotive Batteries in the Initial Development of Maize (*Zea Mays* L.)

ABSTRACT

Objective –This study aims to evaluate the technical feasibility of producing ammonium sulfate from industrial residues and to assess its agronomic performance as a nitrogen and sulphur fertiliser for maize cultivation.

Methodology – The research adopted an experimental approach based on controlled pot trials. Ammonium sulfate was produced using residual sulphuric acid from automotive batteries and ammonia liquor from the steel industry. A second formulation was prepared using residual acid and commercial ammonia, while analytical-grade ammonium sulfate (P.A.) was used as a reference. Fertiliser solutions were applied to soil at nitrogen rates ranging from 20 to 120 kg N·ha⁻¹, followed by sowing of maize (*Zea mays* L.). Plant growth and biomass accumulation were subsequently evaluated.

Originality/Relevance – The study addresses a relevant gap concerning the reuse of industrial residues for fertiliser production, contributing to discussions on reducing Brazil's dependence on imported fertilisers. It advances knowledge on alternative nutrient sources aligned with circular economy principles.

Results – Maize plants showed positive responses to all ammonium sulfate sources tested. However, higher application rates resulted in phytotoxic effects, particularly in aerial biomass, while root biomass was negatively affected even at lower nitrogen doses.

Theoretical/Methodological Contributions – The findings contribute to the understanding of nutrient dynamics and toxicity thresholds associated with alternative ammonium sulfate sources, offering methodological insights for evaluating residue-derived fertilisers under controlled conditions.

Social and Environmental Contributions – The proposed approach promotes the valorisation of industrial residues, potentially reducing environmental liabilities and contributing to more sustainable fertiliser supply chains. Additionally, it supports strategies aimed at enhancing agricultural sustainability and fostering a more resilient and autonomous agricultural input supply.

Keywords: Industrial residues. Soil fertility. Crop development. Alternative fertilisers.

Utilización de sulfato de amonio en el suelo producido con licor de amoníaco residual de la industria siderúrgica y ácido sulfúrico residual de baterías automotrices en el desarrollo inicial del cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

RESUMEN

Objetivo – Este trabajo tiene como objetivo evaluar la viabilidad técnica de la producción de sulfato de amonio a partir de residuos industriales y analizar su desempeño agronómico como fertilizante de nitrógeno y azufre en el cultivo de maíz.

Metodología – La investigación adoptó un enfoque experimental basado en ensayos controlados en macetas. El sulfato de amonio se produjo utilizando ácido sulfúrico residual proveniente de baterías automotrices y licor amoniacal de la industria siderúrgica. Una segunda formulación se preparó empleando ácido residual y amoníaco comercial, mientras que el sulfato de amonio (P.A.) se utilizó como referencia. Las soluciones fertilizantes se aplicaron al suelo en dosis de nitrógeno que variaron de 20 a 120 kg N·ha⁻¹, seguidas de la siembra de maíz (*Zea mays* L.). Posteriormente, se evaluaron el crecimiento de las plantas y la acumulación de biomasa.

Originalidad/Relevancia – El estudio aborda una brecha relevante relacionada con el reaprovechamiento de residuos industriales para la producción de fertilizantes, contribuyendo a las discusiones sobre la reducción de la dependencia de Brasil respecto a fertilizantes importados. Asimismo, profundiza el conocimiento sobre fuentes alternativas de nutrientes en consonancia con los principios de la economía circular.

Resultados – Las plantas de maíz presentaron respuestas positivas a todas las fuentes de sulfato de amonio evaluadas. Sin embargo, tasas de aplicación más elevadas resultaron en efectos fitotóxicos, especialmente en la biomasa aérea, mientras que la biomasa radicular se vio afectada negativamente incluso en dosis más bajas de nitrógeno.

Contribuciones Teóricas/Metodológicas – Los resultados contribuyen a la comprensión de la dinámica de nutrientes y de los límites de toxicidad asociados a fuentes alternativas de sulfato de amonio, ofreciendo aportes metodológicos para la evaluación de fertilizantes derivados de residuos en condiciones controladas.

Contribuciones Sociales y Ambientales – El enfoque propuesto promueve la valorización de residuos industriales, potencialmente reduciendo pasivos ambientales y contribuyendo a cadenas de suministro de fertilizantes más sostenibles. Además, apoya estrategias orientadas al fortalecimiento de la sostenibilidad agrícola y al fomento de un sistema de suministro de insumos agrícolas más resiliente y autónomo.

Palabras clave: Residuos industriales, fertilidad del suelo, desarrollo de cultivos, fertilizantes alternativos.

1 INTRODUÇÃO

A cultura do milho (*Zea mays L.*) é um dos principais cereais utilizados na alimentação humana e animal além de ser utilizado como matéria prima para fabricação de bebidas, combustíveis e polímeros. Os Estados Unidos são os maiores produtores seguido da China e do Brasil que na safra 2022/23 produziu 137 milhões de toneladas. Segundo Prochnow (2007) a cultura do milho, juntamente com a cultura do trigo e do arroz consomem 60% de todo nitrogênio empregado como fertilizante.

As importações de fertilizantes macronutrientes primários NPK evoluíram de 32% do montante utilizado em 1988 para 80% em 2019, segundo dados da ANDA (2019), com o nitrogênio representando 35% deste total, tendo como origem a Rússia, a China e a Bélgica (SAE-PR, 2020).

O nitrogênio, macronutriente primário, é o nutriente mais consumido pela cultura do milho (Nunes et al., 2015), importante no desenvolvimento vegetativo da planta, na produtividade dos grãos e essencial na composição dos aminoácidos, proteínas, clorofila e enzimas (Malavolta, 2006). Segundo Sangoi et al. (2014), dentre os diversos benefícios fisiológicos e anatômicos da adubação nitrogenada no milho citam o estímulo a regeneração das folhas, atraso do seu período de senescência possibilitando uma área fotossintética ativa por maiores períodos e aumento do índice de área foliar (IAF) promovendo maior absorção de CO₂ e aumento da assimilação do elemento.

O gás de coqueria é um produto da coqueificação do carvão mineral na siderurgia. O gás depois de gerado é resfriado e tendo como um de seus subprodutos o licor amoniacal de recuperados. A sua taxa de geração é de 120 a 130 litros de licor amoniacal por tonelada de carvão enforado (Wright, 2001).

As baterias chumbo-ácido são utilizados em baterias automotivas e em sistemas de telecomunicações por apresentar grande capacidade de descarga e baixo custo de produção. É construída na tecnologia úmida devido ao eletrólito utilizado (H₂SO₄) em estado líquido. Atua como um condutor para transportar íons elétricos entre as placas positivas e negativas quando a bateria está sendo carregada ou descarregada. Na reciclagem das baterias o ácido é neutralizado com uma substância alcalina, transformando-o em um resíduo menos prejudicial.

Os solos, de modo geral, não apresentam capacidade de atender a demanda das plantas de milho com nitrogênio devido a sua grande exigência pelo elemento, sendo necessário a aplicação externa visando suprir a demanda das plantas (Delmar and Wietholter, 2004).

A adubação da cultura do milho com fertilizante nitrogenado apresenta diversos aspectos que devem ser considerados como as características físico-química dos solos, as condições climáticas, a cultivar utilizada e a expectativa de rendimento das plantas dentre outros fatores (Rhezali, Lhalali, 2017; Martins, 2013).

Segundo Coelho (2006) o nitrogênio é o elemento mineral mais limitante do desenvolvimento das culturas de metabolismo C₄ como o milho, sendo exigido em grandes quantidades. Devido ao elevado custo dos fertilizantes nitrogenados e suas perdas, o manejo racional deste nutriente durante o desenvolvimento da cultura do milho torna-se fundamental no aumento da produtividade e sustentabilidade econômica (Filho, 2022). Pesquisas são

conduzidas visando a redução das perdas de nitrogênio no solo com o desenvolvimento de novos produtos, mas com sucesso relativo (Abranches et al., 2018). Além dos fatores descritos, a utilização deste fertilizante em doses elevadas pode promover a poluição dos recursos hídricos (Santos, 2020) causando graves problemas ambientais como observado por Vidal e Neto (2014) onde verificaram um elevado grau de eutrofização das águas de um açude do Nordeste do Brasil devido a sua crescente concentração de amônia nas águas.

A deficiência de enxofre é observada em solos dos países produtores de milho como o Brasil (Hitsuda et al., 2008). Esta deficiência tem se intensificado nas últimas décadas devido a utilização limitada de fertilizantes contendo enxofre, a intensificação da agricultura extensiva (Scherer, 2001) e o esgotamento da matéria orgânica do solo que contém até 95% do enxofre presente no solo (Duran et al., 2011; Sainz Rozas et al., 2011).

Diversas pesquisas envolvendo ensaios de fertilizantes mostraram que a utilização do fertilizante nitrogenado associado ao enxofre, um macronutriente secundário, apresenta interações positivas, melhorando o rendimento de diferentes culturas (Wilson et al., 2020; Li et al., 2019). Segundo Vieira (2017), o sulfato de amônio é a segunda fonte nitrogenada mais usada no país. Contém 23% de nitrogênio aproximadamente, mas seu elevado custo de produção e comercialização reduzem sua utilização.

O fertilizante sulfato de amônio apresenta algumas características positivas em relação a outras fontes de adubos nitrogenados como a não geração de amônia tóxica no solo e, conseqüentemente, riscos de perda por volatilização, menor efeito de lixiviação em relação ao nitrato, reduzindo as perdas e os riscos de contaminação das águas subterrâneas; processo de desnitrificação menos intenso e emissão de NO e N₂O, importantes gases do efeito estufa (Chien et al., 2011).

Nas últimas décadas, principalmente a partir dos anos 2000, a produção de etanol no mundo aumentou significativamente devido a questões ambientais e redução dos gases de efeito estufa além dos programas governamentais específicos como o Programa de Combustíveis Renováveis dos Estados Unidos e Brasil, com a introdução dos veículos flex, estimulando as atividades das usinas de etanol (ÚNICA, 2003). Segundo a Renewable Fuels Association (RFA, 2023), os Estados Unidos são os maiores produtores mundiais de etanol com 59 bilhões de litros por ano, sendo o milho quase a totalidade da matéria-prima utilizada. O Brasil ocupa a 2ª posição, com 30,5 bilhões de litros (safra 2022/23), sendo 85% deste volume originário da cana de açúcar e apenas 15% do milho (Conab, 2023).

Segundo Neves et al. (2021), em 2030 aproximadamente 20% do etanol produzido no Brasil terá como matéria prima o milho. Segundo a FAO (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação), espera-se um aumento na produção global de etanol de 16 bilhões de litros até 2029, sendo metade deste volume oriundo do Brasil (Neves et al., 2021)

Segundo a UNEM (2023), estima-se que o Brasil atinja a marca de 9,65 bilhões de litros de etanos de milho, um crescimento de 186% em comparação a safra 2020/21. Estima-se que a safra 2031/32 de milho atinja a produção de 149,9 milhões de toneladas de grãos, muito acima dos 113,3 milhões de toneladas produzidas na safra 2020/21.

Este trabalho tem por objetivo avaliar o fertilizante sulfato de amônio produzido utilizando o licor de amônia residual extraído durante o processo de coqueificação de uma

siderúrgica e o ácido sulfúrico residual extraído de baterias automotivas usadas comparado com o sulfato de amônio produzido com amônia comercial e o ácido residual.

2 METODOLOGIA

O experimento foi conduzido no Laboratório de Estudos de Reaproveitamento de Resíduos da Indústria e Mineração da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Campus Teófilo Otoni. Foram utilizados vasos de 300 ml de capacidade e o substrato utilizado foi a areia lavada com granulometria inferior a 2,8 mm.

Foram avaliadas três fontes de sulfato de amônio aplicadas no substrato, visando avaliar o desenvolvimento inicial da cultura do milho (*Zea mays L.*). Foi utilizado o sulfato de amônio P.A. de elevada pureza e duas fontes de sulfato de amônio desenvolvidas no laboratório. O primeiro fertilizante nitrogenado sulfato de amônio foi produzido utilizando ácido sulfúrico residual de baterias automotivas e a amônia comercial com 5,8% de concentração. O ácido sulfúrico foi obtido da retirada de baterias veiculares usadas que retornam para reciclagem. Devido a sua elevada contaminação com chumbo, o mesmo foi filtrado em filtro de celulose onde se obteve um ácido sulfúrico com teor de chumbo inferior a 10 ppm. O ácido foi titulado em laboratório com hidróxido de sódio para determinação da concentração de ácido sulfúrico na solução, obtendo-se o valor de 8,45%.

Após a caracterização da concentração do ácido sulfúrico residual na solução ácida, procedeu-se com a reação do ácido sulfúrico residual com a amônia comercial. Colocou-se 200 ml de amônia comercial 5,8% em um bequer de 500 ml, aplicando-se lentamente o ácido sulfúrico residual, totalizando 180 ml. Com o acréscimo constante do ácido sulfúrico comercial na solução de amônia comercial, a reação produziu uma solução de cor amarelada/alaranjada que permaneceu até o final da reação de toda a amônia com o ácido sulfúrico comercial onde ocorreu uma mudança do meio de amarelo alaranjado para transparente. Neste momento foi interrompida a titulação e a solução de sulfato de amônio colocada para secar em estufa a 75°C por 72 horas.

A outra preparação do sulfato de amônio foi realizada reagindo o ácido sulfúrico residual de baterias automotivas com o licor de amônia gerado na coqueria da siderúrgica Usiminas, localizada no município de Ipatinga em Minas Gerais. O licor de amônia coletado na empresa apresentou concentração de amônia de 11%. Semelhante à reação anterior, foram adicionados em um bequer de 500 ml, 200 ml de licor de amônia e adicionado lentamente o ácido sulfúrico residual de baterias automotivas, totalizando 450 ml. A reação foi considerada completa quando a reação apresentou alteração da cor amarelo/alaranjada para transparente. Após completar a reação química, a solução de sulfato de amônio produzida foi colocada para secar em estufa a 75°C por 72 horas.

Após a secagem, formaram-se cristais brancos/transparentes. Os cristais foram fragmentados manualmente visando facilitar seu manejo de aplicação. Em seguida, os materiais foram pesados em balança de precisão e solubilizados em água destilada na concentração de 35,0 gramas por litro. Amostras dos sulfatos de amônio produzidas em laboratório foram retiradas para realização das análises químicas dos teores de enxofre, nitrogênio, além de contaminantes. Os resultados encontram-se na Tabela 1.

No ensaio de fertilizantes, foi utilizado o milho híbrido simples (*Zea mays L.*). A areia lavada utilizada como substrato, após seu peneiramento, foi adicionada aos vasos. Em seguida, foram aplicadas soluções nutritivas aos substratos. 2,0 ml/vaso de solução contendo 7,62g/L de cloreto de potássio (KCl) e 12,8 g/L de fosfato dibásico de cálcio (CaHPO₄) e 2,0 ml/vaso de uma solução de 55,0 g/L de carbonato de cálcio (CaCO₃) e 22,0 g/L de carbonato de magnésio (MgCO₃).

Tabela 1 – Análise química dos fertilizantes nitrogenados (sulfatos de amônio) usados no experimento.

Amostra	S	N _{amônia}	N _{total}	C	Cr	Cu	Cd	Ni	Pb	As	Zn
Unidade	%			ppm							
Sulfato de amônio - Usiminas	30,1	0,23	17,4	0,20	10,5	5,93	<1,00	18,9	20,7	<1,00	26,0
Sulfato de amônio – Amônia comercial	25,8	0,24	16,8	0,45	10,4	5,16	<1,00	17,0	21,3	<1,00	24,0
Sulfato de amônio P.A.	24,2	-	27,3	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Autores (2025).

Os tratamentos utilizados no experimento foram: Testemunha (0 kg/ha), 20, 40, 60, 80, 100 e 120 kg/ha dos fertilizantes nitrogenados sulfato de amônio. Os fertilizantes foram aplicados nos substratos através de soluções preparadas com água destilada. As quantidades das soluções aplicadas nos substratos foram de acordo com a concentração da preparação. Neste caso, a cada 10 ml aplicado no substrato da solução com sulfato de amônio correspondeu a 10kg de N/ha. O cálculo da proporcionalidade foi realizado de acordo com a relação volume do solo no campo a 0,2 metro de profundidade em 1 hectare, correspondendo ao volume de 2.000 m³ e o volume dos vasos de 300 cm³.

Após a aplicação das soluções nos vasos, o milho foi semeado. Foram semeadas sete sementes por vaso, seguido da irrigação com 50 ml de água. Após a germinação, foram mantidas duas plantas por vaso. A irrigação das plantas ao longo do desenvolvimento foi realizada de acordo com a necessidade. Os vasos foram mantidos com iluminação artificial por um período de 25 dias. Após este período, foi realizada a leitura da taxa fotossintética das folhas das plantas de milho. Foram avaliadas as duas folhas jovens com o limbo totalmente exposto à radiação luminosa. A leitura foi realizada utilizando o Clorofilômetro Falker Clorofilog. Após a leitura da taxa fotossintética, foi realizado o corte das plantas na região do coleto e imediatamente pesadas em balança de precisão para determinação de seu peso úmido. Em seguida as plantas foram colocadas em sacos de papel e em estufa a 75°C por 72 horas para determinação de seu peso seco.

As raízes foram retiradas do substrato através de lavagem lenta em água corrente. Após a retirada das raízes, as mesmas foram mantidas por seis horas à sombra para perda do excesso de umidade da água da lavagem. Após este período, as raízes foram pesadas em balança de precisão para determinação de seu peso úmido. Em seguida foram condicionadas em sacos de papel e em estufa a 75°C por 72 horas para determinação de seu peso seco.

As variáveis analisadas das plantas foram: peso úmido e peso seco da parte aérea, raiz e peso úmido total; relação parte aérea:raiz e taxa fotossintética. O esquema utilizado foi um fatorial 3x7 e o delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com

quatro repetições. Foi utilizado a ANOVA para o teste das hipóteses das variáveis analisadas com $P < 0,05$ e o teste de Tukey aplicado para verificação das diferenças entre as médias. O estudo de análise de regressão dos dados obtidos.

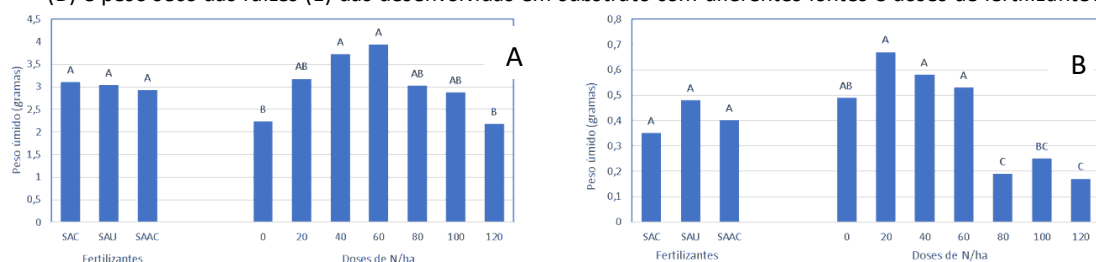
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

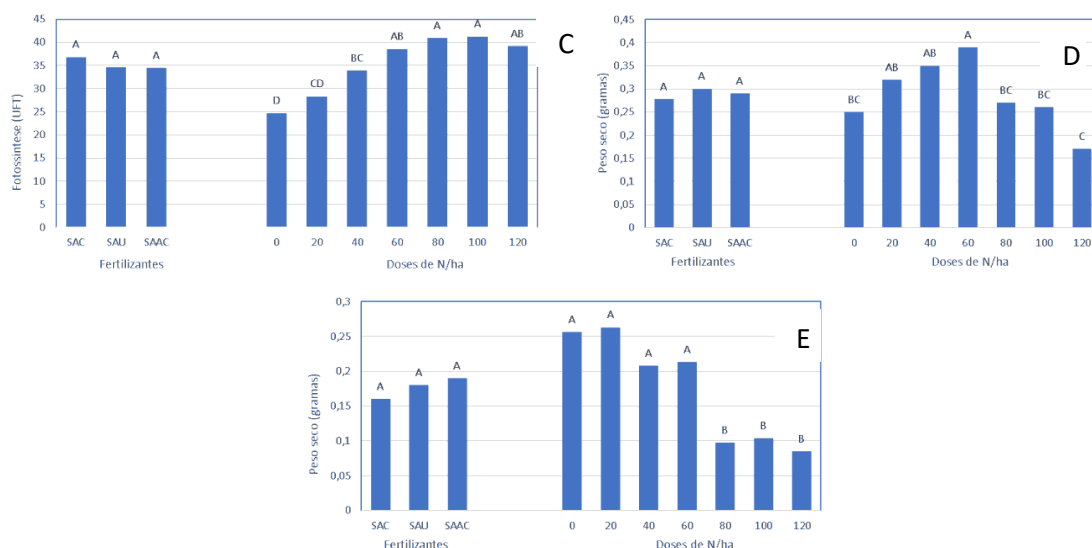
Verifica-se em todas as variáveis analisadas das plantas de milho (peso úmido e peso seco da parte aérea e das raízes e da taxa fotossintética das plantas) que não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os sulfatos de amônio avaliados (Figuras 1A, 1B, 1C, 1D e 1E), independente da quantidade aplicada no solo. Estes resultados indicam que o sulfato de amônio produzido com o licor residual de coqueria associado ao ácido sulfúrico residual apresenta efeito positivo no desenvolvimento das plantas, semelhante ao sulfato de amônio comercial purificado. O mesmo comportamento foi observado com o sulfato de amônio produzido com amônia comercial e ácido sulfúrico comercial.

Em relação às doses de sulfato de amônio aplicadas no solo, independente das fontes utilizadas, o comportamento em relação ao peso úmido da parte aérea das plantas (Figura 1A), verifica-se um melhor desempenho das plantas nas doses de 40 e 60 kg de N/ha, superior ao tratamento testemunha (0kg de N/ha) e a maior dose (120kg de N/ha). No primeiro caso, devido provavelmente à ausência de nitrogênio no substrato e no segundo caso ao excesso que promoveu a toxidez nas plantas. No caso do peso úmido das raízes (Figura 1B), as doses mais baixas de nitrogênio indicaram ganhos visuais na massa úmida, mas não sendo estatisticamente superior ao tratamento testemunha. As doses dos fertilizantes nitrogenados a partir de 80 kg de N/ha até a dosagem máxima (120 kg de N/ha) indicaram um comprometimento significativo no desenvolvimento das raízes.

Em relação à taxa fotossintética (Figura 1C), a fisiologia do processo fotossintético não demonstrou ação tóxica do excesso de nitrogênio como ocorreu no desenvolvimento do peso úmido da parte aérea e das raízes, ocorrendo uma estabilização da atividade fotossintética, provavelmente por atingir o pico máximo da atividade. O desempenho do peso seco da parte aérea (Figura 1D) e das raízes (Figura 1E) das plantas de milho foram semelhantes ao analisado no peso seco das plantas.

Figura 1 - Peso úmido da parte aérea (A); peso úmido das raízes (B); taxa fotossintética (C); peso seco da parte aérea (D) e peso seco das raízes (E) das desenvolvidas em substrato com diferentes fontes e doses de fertilizante.

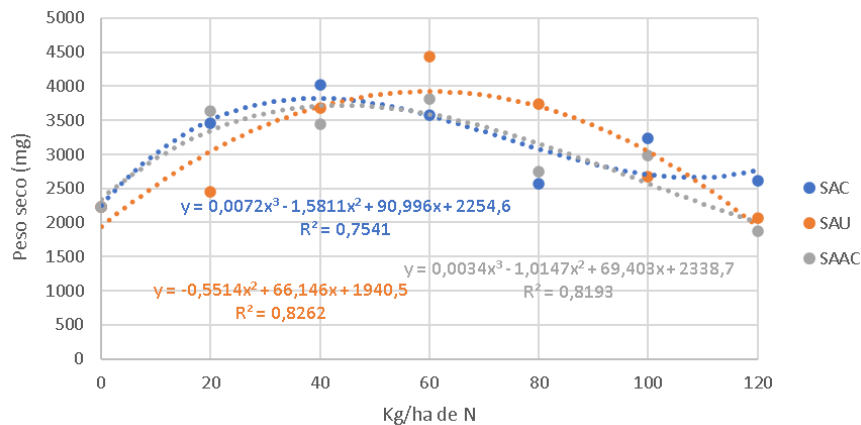




Fonte: Autores (2025).

As três fontes de nitrogênio inicialmente testadas no desenvolvimento da cultura do milho apresentaram-se interferindo de forma significativa de acordo com as quantidades utilizadas. Na Figura 2 verifica-se o comportamento do desenvolvimento da massa úmida da parte aérea do milho em função das doses utilizadas e das fontes nitrogenadas. O sulfato de amônio comercial (SAC) e o sulfato de amônio produzido com a reação do ácido sulfúrico residual de baterias automotivas e a amônia comercial (SAAC) estimularam o desempenho da massa úmida da parte aérea das plantas de milho de forma mais significativa nas menores doses (20 kg de N/ha), com acréscimos da ordem de 50% quando comparado à testemunha (0 kg de N/ha) no modelo de regressão ajustado. Nestes tratamentos, o pico de produção de massa úmida na parte aérea foi de aproximadamente 3,75g/vaso com a utilização de 40 kg de N/ha, aproximadamente 60% superior ao tratamento sem utilização de fonte nitrogenada. A partir desta dosagem das fontes SAC e SAAC, o desempenho da parte aérea das plantas apresenta queda significativa até as maiores doses avaliadas (120kg de N/ha).

Figura 2 - Peso úmido das plantas de milho coletadas aos 30 dias após a semeadura.



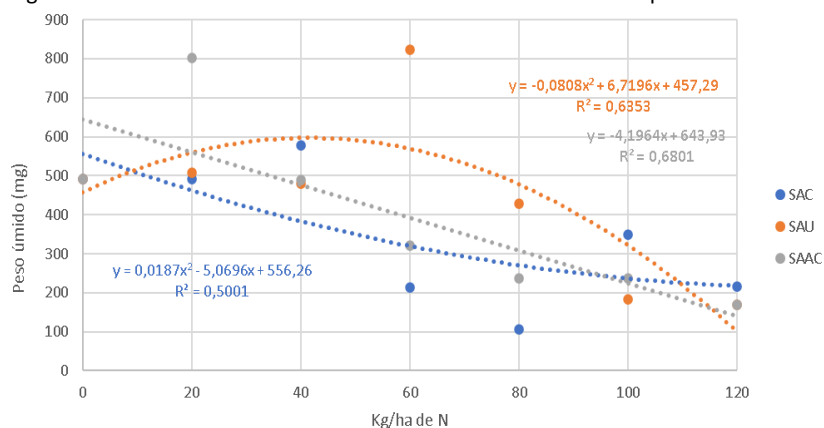
Fonte: Autores (2025).

Quando comparamos os resultados do desempenho das plantas de milho sob efeito do fertilizante sulfato de amônio produzido com a reação do ácido sulfúrico residual de baterias veiculares com a amônia líquida residual proveniente de coqueria de uma siderúrgica (SAU), ele apresenta alguns diferenciais. Na menor dose testada do SAU (20kg/ha), as plantas de milho apresentaram um desempenho baixo em relação à massa úmida da parte aérea em relação as demais fontes de fertilizante nitrogenado, apesar do ajuste do modelo de regressão apresentar uma taxa de crescimento semelhante, mas um desempenho aproximadamente 17% inferior aos demais tratamentos. Apesar destes valores inferiores de produção de massa úmida, na dosagem de 40 kg de N/ha, o desempenho das plantas com tratamento SAU foi semelhante ao desempenho das plantas com as demais fontes de nitrogênio (SAC e SAAC).

Enquanto nos tratamentos utilizando SAC e SAAC, o pico de produção de massa úmida da parte aérea das plantas de milho ocorreu na dose próxima a 40 kg de N/ha, no caso do SAL, o pico ajustado da produtividade máxima das plantas de milho foi obtido com a dose de 60 Kg de N/ha, não indicando qualquer sinal de toxidez para as plantas dos componentes presentes no adubo nitrogenado preparado com licor de amônia residual até esta dose testada. Neste caso, considerando os valores ajustados pelo modelo de regressão, a produção de massa úmida da parte aérea do milho foi 100% superior ao tratamento testemunha, sem a utilização de adubo nitrogenado e com a resposta das plantas superior aos demais tratamentos. A partir desta dosagem, acontece uma queda gradativa no desempenho das plantas com o aumento das doses do fertilizante nitrogenado aplicadas (SAU) até a dosagem de 120 kg de N/ha.

O comportamento das raízes das plantas de milho apresentou comportamento específico para cada fertilizante nitrogenado testado. A figura 3 mostra isso, apesar de apresentarem a mesma tendência de ajuste do modelo da curva de regressão, as raízes das plantas apresentaram um comportamento diferenciado nas mesmas doses de aplicação dos fertilizantes nitrogenados, com quedas contínuas das massas úmidas com o aumento da dose dos fertilizantes nitrogenados, atingindo desempenhos mínimos na dosagem de 120 kg de N/ha, uma redução da massa úmida das raízes da ordem de 60% nos tratamentos SAC e SAAC.

Figura 3 - Peso úmido das raízes de milho coletadas aos 30 dias após a semeadura.



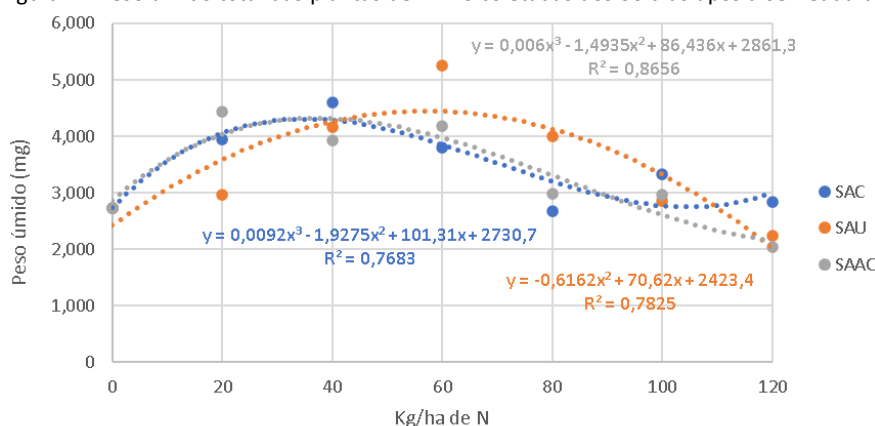
Fonte: Autores (2025).

O fertilizante nitrogenado SAU promoveu um bom desempenho das raízes de milho, diferenciado em relação aos demais fertilizantes testados (SAC e SAAC). Como demonstrado no ajuste da curva de regressão, o pico de produção da massa úmida das raízes de milho ocorreu em torno da dose de 40 kg de N/ha, com valores aproximadamente 30% superiores ao tratamento testemunha (0 kg de N/ha). A partir desta dosagem, ocorre uma queda na produção de massa úmida das raízes até atingir um mínimo na maior dosagem de fertilizante SAU (120 kg de N/ha). Neste caso, a redução de desempenho das raízes foi de aproximadamente 80% em relação à dose 0 kg de N/ha. Em todos os fertilizantes nitrogenados testados, observa-se um efeito tóxico destes compostos nos solos quando aplicado em quantidades elevadas. A utilização de substrato arenoso no ensaio, minerais de baixa CTC e CTA, permitiu uma maior interação dos elementos minerais com a solução do solo e de forma direta com as raízes das plantas. Alborno (2016) cita que o excesso de fornecimento de nutrientes para as plantas, como o nitrogênio, pode promover efeitos negativos no crescimento das plantas devido ao desbalanço nutricional.

O peso úmido total das plantas de milho (parte aérea+raiz) (Figura 4) apresentou resultados de comportamento de acúmulo de massa úmida com tendência semelhante ao comportamento das partes vegetais individualizadas para todos os tratamentos. Os tratamentos SAC e SAAC induziram as plantas ao acúmulo máximo de massa úmida entre 30 e 40 kg de N/ha, com quedas significativas com o aumento da dosagem de adubo nitrogenado aplicado ao solo. Considerando o tratamento sem aplicação de fertilizante nitrogenado (0 kg de N/ha), o aumento da produção foi superior a 50%. Nas dosagens máximas testadas dos fertilizantes SAC e SAAC, a produção da massa úmida das plantas de milho foi semelhante ao tratamento testemunha.

O desempenho das plantas de milho no tratamento SAU (Sulfato de amônio Usiminas) foi um pouco diferenciado dos demais tratamentos, onde a resposta das plantas no acúmulo de massa úmida total até a dose de 40 kg de N/ha, onde os valores se equivaleram a partir desta dosagem (40 kg de N/ha), o desempenho do acúmulo da massa das plantas de milho continuou aumentando até a dosagem de 60 kg de N/ha. Comparando com o tratamento testemunha (0 kg de N/ha), o acréscimo foi da ordem de 75%, considerando o ajuste da curva de regressão. A partir da dosagem de 60 kg de N/ha, o acúmulo de massa úmida das plantas de milho apresentou um declínio, provavelmente devido à toxidez do excesso de elemento mineral solúvel, até atingir massa úmida total semelhante ao tratamento testemunha na dosagem aplicada de 120 kg de N/ha.

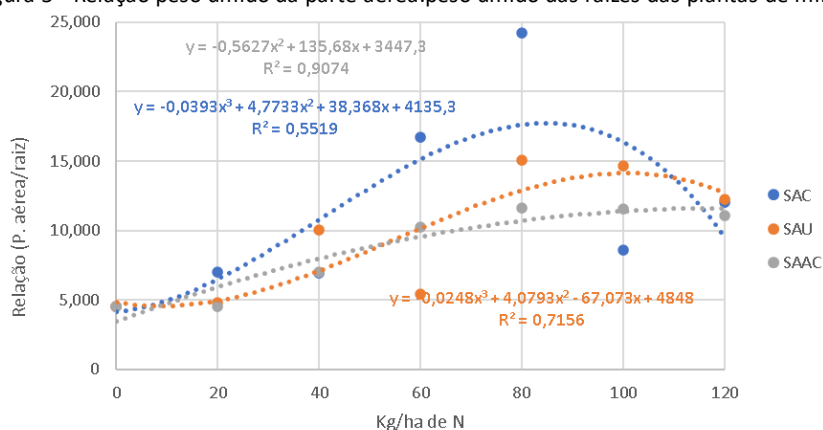
Figura 4 - Peso úmido total das plantas de milho coletadas aos 30 dias após a semeadura.



Fonte: Autores (2025).

Na Figura 5, a relação parte aérea:raiz úmida apresentou comportamento diferenciado entre os tratamentos.

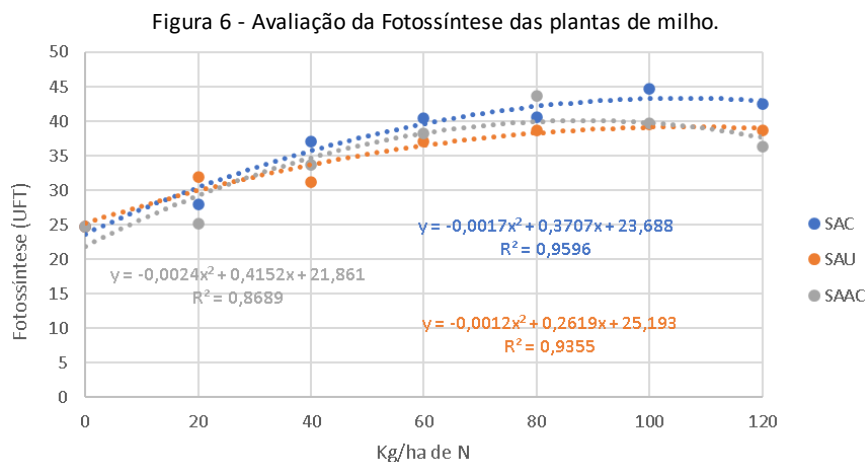
Figura 5 - Relação peso úmido da parte aérea:peso úmido das raízes das plantas de milho.



Fonte: Autores (2025).

No tratamento SAC (Sulfato de amônio comercial), a relação aumentou significativamente até a dosagem entre 80 e 90 kg de N/ha, com pico de relação parte aérea:raiz de 18:1, pelo ajuste do modelo de regressão. Considerando que as quedas de produção da massa úmida das plantas para este tratamento ocorreram a partir da dosagem de 40 kg de N/ha, o dano derivado do excesso de nitrogênio no solo, a partir da dose máxima de resposta da planta, ocorreu de forma mais intensa no sistema radicular, considerando que ambos apresentaram queda na produção de massa úmida a partir da dose de 40 kg de N/ha até a dose aplicada de 80 a 90 kg de N/ha. A partir deste valor até a dose máxima de 120 kg de N/ha, o dano à parte aérea também se intensificou, promovendo quedas intensas nos valores da relação. Quando analisamos o tratamento SAU e SAAC, verifica-se um acréscimo lento e constante da relação, mesmo nas doses mais elevadas, atingindo valores de relação entre 12:1 e 13:1, indicando uma interferência negativa dos fertilizantes no solo nas doses mais elevadas e de forma mais intensa nas raízes em comparação com a parte aérea.

Na Figura 6, avaliou-se a taxa fotossintética das folhas das plantas de milho no período de coleta das plantas.



Fonte: Autores (2025).

Observa-se um comportamento semelhante da atividade para os três tratamentos avaliados, no qual a taxa sofreu acréscimos nos valores com o aumento contínuo da dosagem dos fertilizantes no solo até a dose de 80 kg de N/ha. A partir desta dosagem, verifica-se uma estabilidade dos valores até a dosagem de 120 kg de N/ha. Estes valores crescentes da taxa fotossintética, mesmo com a queda da produção da massa úmida do milho, indicam que após atingir o máximo da atividade fotossintética, as plantas mantiveram a taxa, mas o excesso de nitrogênio na planta sem função fisiológica ou fotossintética promoveu a toxidez das plantas, estimulando a fotorrespiração e a queda na produção da massa úmida, mesmo com a taxa fotossintética no ápice de sua atividade. Rhezali and Lahlali (2017) descreveram uma grande correlação entre teor de nitrogênio e a atividade fotossintética das células foliares, afirmando a importância deste elemento na melhoria do rendimento da cultura do milho. Pagani and Echeverria (2011) citam que o aumento da fotossíntese é decorrente do aumento da concentração de clorofila nas folhas de milho.

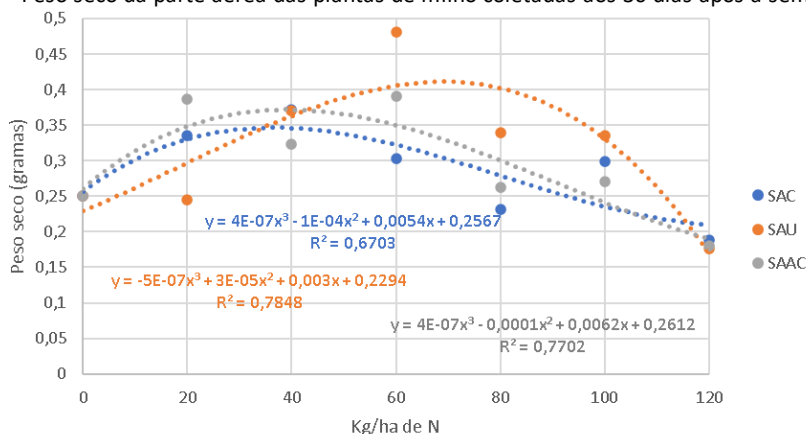
Bullock e Anderson (1998) citam que a leitura correspondente ao teor de clorofila é um indicador preciso do nível de nitrogênio nos estágios de desenvolvimento do milho e, segundo Zebarth et al. (2002), existe uma significativa correlação do teor de N foliar e o teor de clorofila, considerando que entre 50 e 70% do Ntotal da planta fazem parte de enzimas associadas aos cloroplastos.

O peso seco das plantas pode apresentar comportamento um pouco diferenciado do peso úmido. Na parte aérea, devido ao teor de água nas plantas no momento do corte e nas raízes devido ao processo de lavagem e secagem rápida ao ar para retirada do excesso de umidade.

O peso seco da parte aérea das plantas de milho (Figura 7) apresentou um comportamento de desempenho em relação aos tratamentos semelhante ao peso úmido. No tratamento utilizando os fertilizantes nitrogenados SAC (Sulfato de amônio comercial) e SAAC (Sulfato de amônio produzido com amônia comercial), observa-se o máximo de produção da massa seca entre as doses de 20 e 40 kg de N/ha, com os maiores valores sendo observados no

tratamento SAAC, em que o pico da produção foi aproximadamente 45% superior ao tratamento testemunha (0 kg de N/ha), considerando o ajuste da curva de regressão. A partir da dosagem de 40 kg de N/ha, a massa seca das plantas reduziu até atingir valores abaixo dos valores do tratamento testemunha com a aplicação de 120 kg de N/ha para ambos os tratamentos (SAC e SAAC).

Figura 7 - Peso seco da parte aérea das plantas de milho coletadas aos 30 dias após a semeadura.



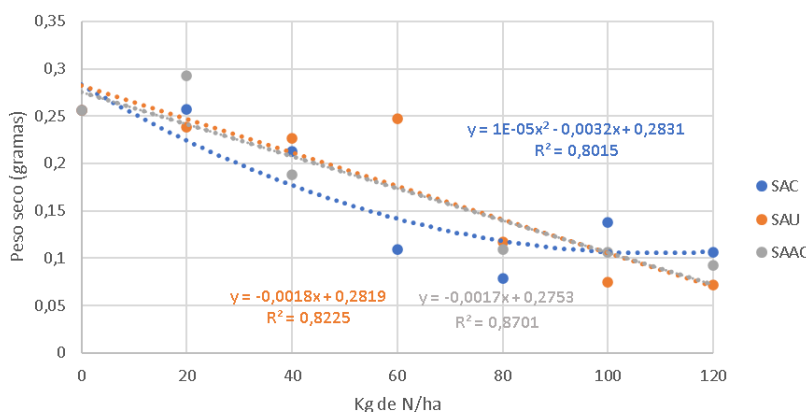
Fonte: Autores (2025).

Em relação ao tratamento utilizando fertilizante nitrogenado sulfato de amônio produzido com licor residual de amônia da siderurgia (SAU), verifica-se um desempenho das plantas inferior aos demais tratamentos até a dosagem de 40 kg de N/ha. Apesar disto, o desenvolvimento da matéria seca é contínuo com o aumento da dose de fertilizante, atingindo pico de produção entre 60 e 80 kg de N/ha com valores superiores ao tratamento testemunha (0 kg de N/ha) de aproximadamente 80%, e aos demais tratamentos. Com o aumento da dosagem do fertilizante no solo, a produção da massa seca da parte aérea reduz até valores inferiores ao tratamento testemunha na dosagem de 120 kg de N/ha e semelhante aos demais tratamentos. Souza e Fernandes (2006) citam estudos demonstrando que o nitrogênio na forma de amônio pode se tornar tóxico para as plantas, interferindo na sua morfofisiologia, induzindo sintomas como folhas secas enroladas, comportamento induzido pelo aumento da resistência ao fluxo de água. Clorose e necrose nas folhas também podem ser indicativos de toxicidade do amônio.

As raízes apresentaram comportamento próprio em relação a cada tratamento e suas dosagens (Figura 8). Os tratamentos utilizando SAC e SAU promoveram quedas contínuas no desenvolvimento das raízes das plantas de milho até a dosagem máxima aplicada de 120 kg de N/ha. Provavelmente, o ambiente fechado (vasos), sem perda do fertilizante, induziu a planta a desenvolver uma massa menor de raízes na medida em que os nutrientes se tornavam mais disponíveis no substrato. Em relação às doses maiores dos fertilizantes, o efeito toxidez pode ter ocorrido, inclusive refletindo no desenvolvimento da parte aérea. No tratamento utilizando as diferentes doses do fertilizante SAAC, as raízes ainda apresentaram uma certa estabilidade na produção de massa seca na fase inicial, mas também com quedas

significativas com o aumento da aplicação das doses do fertilizante no solo, culminando com valores e produção da massa seca semelhante aos demais tratamentos.

Figura 8 - Peso seco das raízes do milho coletadas aos 30 dias após a semeadura.



Fonte: Autores (2025).

Restrições ao desenvolvimento das plantas de milho nas doses mais elevadas de sulfato de amônio foram verificadas neste ensaio. Resultados semelhantes em relação à produção de proteínas pelo milho foram observados por Farinelli e Lemos (2012), nos quais a maior dose de nitrogênio aplicado no solo (150 kg/ha) não promoveu aumentos no teor de proteína bruta das plantas. Os fertilizantes nitrogenados organominerais são sais que, com a adição da água no solo, elevam a concentração eletrolítica da solução do solo, elevando a pressão osmótica, inibindo a absorção de água pelas plantas (Taiz, Zeiger, 2006). O sulfato de amônio também reduz o pH dos solos no local de aplicação, comprometendo o desenvolvimento das plantas (Vitti et al., 2002), fato que pode explicar a redução do desempenho das raízes do milho em todas as doses testadas e a parte aérea a partir de determinada dosagem.

Coelho (2007) descreve em seu trabalho que a quantidade média de nitrogênio utilizado na cultura do milho no Brasil é de 60 kg de N/ha. Para obtenção de elevadas produtividades, este valor pode atingir 100 kg de N/ha somente em cobertura, em cultivo não irrigado e entre 120 e 160 kg de N/ha em cultura irrigada (Amaral Filho, 2005; Pavinato et al., 2008). Todos os resultados citados foram obtidos em campo onde são consideradas perdas do elemento pelos fatores ambientais e de manejo. Neste experimento, o milho foi cultivado em sistema fechado com substrato arenoso, sem perdas do fertilizante, fator que, provavelmente, induziu a planta a uma resposta de toxidez ainda nas doses mais baixas.

4 CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos neste experimento podemos concluir que as três fontes de sulfato de amônio beneficiaram o desempenho da parte aérea das plantas de milho até determinada dose, com efeito tóxico a partir da dose de produção máxima das plantas. Com o sulfato de amônio Usiminas, o pico de produção de massa da parte aérea ocorreu em uma

dosagem maior que as demais fontes, indicando uma menor toxicidade, com queda significativa na produção da parte aérea do milho a partir da dose de produtividade máxima.

Em relação às raízes, observou-se um comportamento diferenciado entre o peso seco e o peso úmido, indicando variação na dinâmica da acumulação e retenção de água nas raízes. De modo geral, porém, os resultados demonstraram que a toxicidade foi mais intensa nas raízes do que na parte aérea, independentemente da fonte de sulfato de amônio utilizada.

Mesmo nas maiores doses dos sulfatos de amônio, em que as plantas já apresentavam sinais evidentes de toxicidade e redução da produção de massa, a atividade fotossintética permaneceu elevada, com picos de taxa próximos às doses mais elevadas do sulfato de amônio. Esses resultados indicam que, nas condições experimentais, o desempenho fotossintético se manteve em níveis nos quais a produção de biomassa já se encontrava comprometida.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRANCHES, J. L.; SORATTO, R. P.; PERDONÁ, M. J. Ureia revestida e o crescimento do cafeeiro arábica. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, [S. l.], v. 14, n. 3, 2018. DOI: 10.17271/1980082714320181944. Acesso em: fev. 2026.

ALBORNOZ, F. Crop responses to nitrogen overfertilization: a review. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 205, p. 79–83, 2016.

AMARAL FILHO, J. P. R. et al. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 467–473, 2005.

ANDA – ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. Principais indicadores do setor de fertilizantes. 2019. Disponível em: <https://anda.org.br>. Acesso em: ago. 2025.

BULLOCK, D. G.; ANDERSON, D. S. Avaliação do medidor de clorofila Minolta SPAD 502 para manejo de nitrogênio em milho. **Journal of Plant Nutrition**, v. 21, p. 741–755, 1998.

CHIEN, S. H.; GEARHART, M. M.; VILLAGARCIA, S. Comparison of ammonium sulfate with other nitrogen and sulfur fertilizers in increasing crop production and minimizing environmental impact. **Soil Science**, v. 176, p. 327–335, 2011.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira 2023. 2023. Disponível em: <https://www.conab.org.br>. Acesso em: set. 2025.

COELHO, A. M. Nutrição e adubação do milho. **Circular Técnica**, n. 78. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006.

COELHO, A. M. Manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho. **Circular Técnica**, n. 96. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007.

DELMAR, P.; WIETHÖLTER, S. Épocas e métodos de aplicação de nitrogênio em milho cultivado no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, p. 1015–1020, 2004.

FARINELLI, R.; LEMOS, L. B. Nitrogênio em cobertura na cultura do milho em preparo convencional e plantio direto consolidados. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, p. 63–70, 2012.

FILHO, I. A. P. Cultivares de milho para safra 2022/2023. **Documentos**, n. 272. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2022.

HITSUDA, K. et al. Sulfur management for soybean production. In: JEZ, J. (ed.). **Sulfur: a missing link between soils, crops, and nutrition**. Madison: ASA; CSSA; SSSA, 2008. p. 117–142.

LI, N. et al. Combined effects of nitrogen and sulfur fertilization on maize growth, physiological traits, N and S

- uptake, and their diagnosis. **Field Crops Research**, v. 242, p. 107593, 2019.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. 1. ed. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2006.
- MARTINS, I. S. Doses, épocas e modos de aplicação da ureia comum e revestida na cultura do milho. 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2013.
- NEVES, M. F. et al. **Etanol de milho: cenário atual e perspectivas para a cadeia do Brasil**. 1. ed. Ribeirão Preto: ENEM, 2021.
- NUNES, P. H. M. P. et al. Produtividade do trigo irrigado submetido à aplicação de nitrogênio e à inoculação com *Azospirillum brasilense*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 174–182, 2015.
- PAVINATO, P. S. et al. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. **Ciência Rural**, v. 38, p. 358–364, 2008. DOI: 10.1590/S0103-84782008000200010. Acesso em: set. 2025.
- PAGANI, A.; ECHEVERRÍA, H. E. Performance of sulphur diagnostic methods for corn. **Agronomy Journal**, v. 103, p. 413–421, 2011.
- PROCHNOW, L. I. Nova missão, novos tempos. IPNI-Brasil, 2007. Disponível em: <http://www.ipni.net>. Acesso em: set. 2025.
- RHEZALI, A.; LAHLALI, R. Nitrogen mineral nutrition and imaging sensors for determining N status and requirements of maize. **Journal of Imaging**, v. 3, n. 51, 2017.
- RFA – RENEWABLE FUELS ASSOCIATION. 2023. Disponível em: <https://ethanolrfa.org>. Acesso em: ago. 2025.
- SAINZ ROZAS, H.; ECHEVERRIA, H. E.; ANGELINI, H. Organic carbon and pH levels in agricultural soils of Argentina. **Ciencia del Suelo**, v. 29, p. 29–37, 2011.
- SAE-PR – SECRETARIA ESPECIAL DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS. Produção nacional de fertilizantes. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br>. Acesso em: set. 2025.
- SANGOI, L. et al. Cobertura nitrogenada como estratégia para reduzir prejuízos da desfolha em milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, p. 671–682, 2014.
- SANTOS, M. S. Nitrogênio: importância, manejo e sintomas de deficiência. **Mais Soja**, 2020. Disponível em: <https://maissoja.com.br>. Acesso em: out. 2025.
- SCHERER, H. W. Sulfur in crop production. **European Journal of Agronomy**, v. 14, p. 81–111, 2001.
- SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M. S. (org.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: SBCS, 2006. p. 215–252.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 4. ed. Redwood City: Benjamin Cummings, 2006.
- VIDAL, T. F.; NETO, J. C. Evolução temporal da qualidade da água do açude Gavião/CE. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 10, n. 12, 2014. DOI: 10.17271/1980082710122014909. Acesso em: fev. 2026.
- VIEIRA, R. F. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**. Brasília: Embrapa, 2017.
- VITTI, G. et al. Influência da mistura de sulfato de amônio com ureia na volatilização de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 663–671, 2002.
- ZEBARTH, B. J. et al. Evaluation of leaf chlorophyll index for nitrogen recommendations. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 33, p. 665–684, 2002.

DECLARAÇÕES

CONTRIBUIÇÃO DE CADA AUTOR

Ao descrever a participação de cada autor no manuscrito, utilize os seguintes critérios:

- **Concepção e Design do Estudo:** Alexandre Sylvio Vieira da Costa e Marcos Cordeiro Fonseca conceberam a ideia central do estudo, definiram os objetivos e delinearam a abordagem metodológica adotada.
- **Curadoria de Dados:** Alexandre Sylvio Vieira da Costa foi responsável pela organização, verificação e validação dos dados experimentais, assegurando sua qualidade e consistência.
- **Análise Formal:** Alexandre Sylvio Vieira da Costa realizou as análises formais dos dados, aplicando os métodos analíticos e estatísticos necessários à interpretação dos resultados.
- **Aquisição de recursos:** Marcos Cordeiro Fonseca contribuiu para a obtenção dos recursos para testes e institucionais necessários à execução do estudo.
- **Investigação:** Alexandre Sylvio Vieira da Costa conduziu a investigação experimental, incluindo a execução dos ensaios e a coleta dos dados.
- **Metodologia:** Alexandre Sylvio Vieira da Costa desenvolveu, aplicou e ajustou as metodologias empregadas no estudo, com contribuições conceituais de Marcos Cordeiro Fonseca.
- **Redação - Rascunho Inicial:** Alexandre Sylvio Vieira da Costa elaborou a primeira versão do manuscrito.
- **Redação - Revisão Crítica:** Marcos Cordeiro Fonseca revisou criticamente o manuscrito, contribuindo para o aprimoramento da clareza, coerência e fundamentação técnica do texto.
- **Revisão e Edição Final:** Alexandre Sylvio Vieira da Costa e Marcos Cordeiro Fonseca realizaram conjuntamente a revisão final e os ajustes necessários para atender às normas da revista.
- **Supervisão:** Alexandre Sylvio Vieira da Costa supervisionou o desenvolvimento do trabalho, garantindo a qualidade científica e a coerência global do estudo.

18**DECLARAÇÃO DE CONFLITOS DE INTERESSE**

Nós, **Alexandre Sylvio Vieira da Costa e Marcos Cordeiro Fonseca**, declaro(amos) que o manuscrito intitulado " **Use of Ammonium Sulfate in Soil Produced with Residual Ammonia Liquor from the Steel Industry and Residual Sulfuric Acid from Automotive Batteries in the Initial Development of Maize (Zea Mays L.)**":

1. **Vínculos Financeiros:** Não possui vínculos financeiros que possam influenciar os resultados ou interpretação do trabalho ou "Nenhuma instituição ou entidade financiadora esteve envolvida no desenvolvimento deste estudo".
2. **Relações Profissionais:** Não possui relações profissionais que possam impactar na análise, interpretação ou apresentação dos resultados ou "Nenhuma relação profissional relevante ao conteúdo deste manuscrito foi estabelecida".
3. **Conflitos Pessoais:** Não possui conflitos de interesse pessoais relacionados ao conteúdo do manuscrito ou "Nenhum conflito pessoal relacionado ao conteúdo foi identificado".