v7.n5.2026

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

ADUBAÇÃO NITROGENADA COM SULFATO DE AMÔNIO PRODUZIDO COM DIFERENTES MATÉRIAS PRIMAS E SEU EFEITO NO DESENVOLVIMENTO FITOTÉCNICO DAS PLANTAS DE GIRASSOL (*HELIANTHUS ANNUUS*)

NITROGEN FERTILIZATION USING AMMONIUM SULFATE PRODUCED FROM DIFFERENT RAW MATERIALS AND ITS EFFECT ON THE PHYTOTECHNICAL DEVELOPMENT OF SUNFLOWER PLANTS (HELIANTHUS ANNUUS)

FERTILIZACIÓN NITROGENADA CON SULFATO DE AMONIO PRODUCIDO A PARTIR DE DIFERENTES MATERIAS PRIMAS Y SU EFECTO EN EL DESARROLLO FITOTÉCNICO DE PLANTAS DE GIRASOL (HELIANTHUS ANNUUS)

Alexandre Sylvio Vieira da Costa[1], Marcos Cordeiro Fonseca[1]

e758028
https://doi.org/10.47820/recima21.v7i5.8028

PUBLICADO: 05/2026

RESUMO

Apesar de ser um dos líderes mundiais na produção de commodities agrícolas, o Brasil é grande importador de fertilizantes, principalmente o nitrogênio. Este trabalho teve como objetivo desenvolver um novo fertilizante nitrogenado utilizando amônia residual gerada no processo siderúrgico e ácido sulfúrico residual. Utilizou-se o sulfato de amônio comercial, sulfato de amônio produzido com amônia comercial e sulfato de amônio produzido com amônia residual da siderurgia e ácido sulfúrico de baterias automotivas de reciclagem. A cultura utilizada foi o girassol (*Helianthus annuus* L.), cultivado em vasos de 300 ml, e os fertilizantes foram aplicados nas seguintes dosagens proporcionais: 0, 20, 40, 60, 80, 100 e 120 kg de N/ha. As plantas foram coletadas aos 35 dias do plantio e avaliados o peso úmido da parte aérea, o peso seco da raiz e da parte aérea, e a relação parte aérea/raiz. As plantas de girassol responderam positivamente às diferentes fontes de sulfato de amônio, tanto no desenvolvimento da parte aérea quanto das raízes com picos de produtividade da parte aérea nas doses entre 80 e 100 kg de N/ha, diferentemente das raízes onde o pico de produção ficou entre as dosagens de 50 e 80 kg de N/ha. O excesso de aplicação dos fertilizantes prejudicou de forma mais intensa o sistema radicular das plantas em relação à parte aérea. O sulfato de amônio desenvolvido com amônia residual proveniente do processo siderúrgico promoveu aumentos de produção da parte aérea das plantas da ordem de 60%. As doses mais elevadas promoveram quedas de produção, mas de forma mais intensa nas raízes. Estes resultados indicam que o sulfato de amônio produzido com amônia residual da coqueria de usinas siderúrgicas pode ser utilizado como matéria prima na produção de fertilizantes nitrogenados com desempenho similar ao uso do fertilizante comercial.

PALAVRAS-CHAVE: Fertilizante nitrogenado. Produtividade vegetal. Resíduos industriais. Reutilização. Coprodutos. Siderurgia.

ABSTRACT

Despite being one of the world leaders in agricultural commodity production, Brazil is a major importer of fertilizers, especially nitrogen. The objective of this study was to develop a new nitrogen fertilizer using residual ammonia from steelmaking and residual sulfuric acid. Commercial ammonium sulfate, ammonium sulfate produced with commercial ammonia, and ammonium sulfate produced with residual ammonia from steel mills and sulfuric acid from recycled automotive batteries were used. The crop used was sunflower (Helianthus annuus L.), grown in 300 ml pots,

[1] Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

and the fertilizers were applied in the following proportional doses: 0, 20, 40, 60, 80, 100, and 120 kg of N/ha. The plants were collected 35 days after planting, and the wet weight of the aerial part, dry weight of the root and aerial part, and aerial part/root ratio were evaluated. The sunflower plants responded positively to the different sources of ammonium sulfate, both in the development of the aerial part and the roots, with peaks in aerial part productivity at doses between 80 and 100 kg N/ha, unlike the roots, where peak production was between doses of 50 and 80 kg N/ha. Excessive fertilizer application had a more severe impact on the root system of plants than on the aerial parts. Ammonium sulfate developed from residual ammonia from the steelmaking process promoted increases in the aerial production of plants of around 60%. Higher doses caused production declines, but more intensely in the roots. These results indicate that ammonium sulfate produced with residual ammonia from steel mill coking plants can be used as a raw material in the production of nitrogen fertilizers with performance similar to that of commercial fertilizers.

KEYWORDS: *Nitrogen fertilizer. Plant productivity. Industrial waste. Reuse. Co-products. Steel industry.*

RESUMEN

A pesar de ser uno de los líderes mundiales en la producción de commodities agrícolas, Brasil es un gran importador de fertilizantes, especialmente de nitrógeno. Este trabajo tuvo como objetivo desarrollar un nuevo fertilizante nitrogenado utilizando amoníaco residual generado en el proceso siderúrgico y ácido sulfúrico residual. Se utilizó sulfato de amonio comercial, sulfato de amonio producido con amoníaco comercial y sulfato de amonio producido con amoníaco residual de la siderurgia y ácido sulfúrico proveniente de baterías automotrices recicladas. El cultivo utilizado fue el girasol (Helianthus annuus L.), cultivado en macetas de 300 ml, y los fertilizantes se aplicaron en las siguientes dosis proporcionales: 0, 20, 40, 60, 80, 100 y 120 kg de N/ha. Las plantas fueron recolectadas a los 35 días después de la siembra y se evaluaron el peso fresco de la parte aérea, el peso seco de la raíz y de la parte aérea, así como la relación parte aérea/raíz. Las plantas de girasol respondieron positivamente a las diferentes fuentes de sulfato de amonio, tanto en el desarrollo de la parte aérea como de las raíces, con picos de productividad de la parte aérea en dosis entre 80 y 100 kg de N/ha, a diferencia de las raíces, donde el pico de producción se situó entre 50 y 80 kg de N/ha. El exceso de aplicación de fertilizantes afectó más intensamente el sistema radicular de las plantas en comparación con la parte aérea. El sulfato de amonio desarrollado con amoníaco residual proveniente del proceso siderúrgico promovió incrementos en la producción de la parte aérea de las plantas del orden del 60%. Las dosis más elevadas provocaron disminuciones en la producción, pero de forma más intensa en las raíces. Estos resultados indican que el sulfato de amonio producido con amoníaco residual de la coquización en plantas siderúrgicas puede utilizarse como materia prima en la producción de fertilizantes nitrogenados con un desempeño similar al del fertilizante comercial.

PALABRAS CLAVE*: Productividad vegetal. Residuos industriales. Reutilización. Coproductos. Siderurgia.*

INTRODUÇÃO

A cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.) destaca-se como uma importante oleaginosa em nível mundial, sendo amplamente utilizada na alimentação humana, animal e na produção de biocombustíveis. Trata-se de uma espécie originária das Américas, pertencente à família Asteraceae, caracterizada por crescimento rápido e elevada adaptabilidade a diferentes

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

condições edafoclimáticas. Apesar de sua versatilidade, incluindo tolerância ao estresse hídrico e a altas temperaturas, a área cultivada com girassol no Brasil ainda é considerada limitada quando comparada a outras culturas agrícolas de relevância econômica (CASTRO; LEITE, 2018; CONAB, 2024).

O desempenho agronômico do girassol está diretamente relacionado ao adequado manejo nutricional, especialmente quanto ao suprimento de nitrogênio, um dos macronutrientes mais exigidos pela cultura. No entanto, o uso ineficiente de fertilizantes nitrogenados pode resultar em perdas econômicas significativas, além de impactos ambientais adversos, como a emissão de gases de efeito estufa, lixiviação de nitratos e eutrofização de corpos hídricos (PENUELAS; SARDANS, 2022; ZHAO *et al*., 2024).

Paralelamente, o Brasil apresenta elevada dependência da importação de fertilizantes nitrogenados, o que expõe o setor agrícola a oscilações de mercado e limita a segurança no abastecimento desses insumos. Nesse cenário, torna-se fundamental o desenvolvimento de alternativas tecnológicas que promovam maior autonomia produtiva, aliadas à redução de impactos ambientais.

O reaproveitamento de resíduos industriais insere-se como uma estratégia promissora nesse contexto, especialmente sob a perspectiva da economia circular. Subprodutos da indústria siderúrgica como o licor de amônia proveniente do processo de coqueificação de carvão, bem como resíduos ácidos oriundos da reciclagem de baterias automotivas, apresentam potencial de utilização como matérias-primas na produção de fertilizantes nitrogenados, agregando valor aos resíduos e reduzindo passivos ambientais.

Dessa forma, a avaliação do desempenho agronômico de fertilizantes produzidos a partir dessas fontes alternativas torna-se essencial para validar sua viabilidade técnica e ambiental. Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo avaliar o desenvolvimento fitotécnico de plantas de girassol submetidas à aplicação de sulfato de amônio produzido a partir de diferentes matérias-primas, incluindo fontes comerciais e resíduos industriais.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

O nitrogênio é um dos macronutrientes mais importantes para o crescimento e desenvolvimento das plantas, estando diretamente relacionado à síntese de compostos fundamentais, como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos e clorofila (FAGERIA *et al*., 2013; VASCONCELOS, 2015). Em culturas como o girassol, esse nutriente exerce papel essencial na formação da área foliar, acúmulo de biomassa e produtividade final, sendo sua deficiência

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

associada à redução no número de folhas, altura das plantas e desenvolvimento do sistema radicular (BISCARO *et al*., 2008).

Por outro lado, o excesso de nitrogênio no solo pode comprometer o equilíbrio fisiológico das plantas, resultando em alterações metabólicas, redução da eficiência agronômica e possíveis efeitos tóxicos, especialmente sobre o sistema radicular (COOKE, 1962; LIU *et al*., 2021). A elevada mobilidade desse nutriente no solo contribui para perdas por lixiviação e volatilização, reduzindo sua disponibilidade para as plantas e aumentando os riscos ambientais (PENUELAS; SARDANS, 2022).

A resposta do girassol à adubação nitrogenada apresenta variações significativas em função das condições ambientais, do manejo e do material genético utilizado, evidenciando a necessidade de ajustes nas doses aplicadas para maximização da eficiência do uso do nutriente (GAO *et al*., 2012; NASIM *et al*., 2016). Estudos indicam que doses adequadas de nitrogênio promovem aumento da produtividade e melhorias na qualidade do óleo, enquanto aplicações excessivas podem resultar em redução do rendimento e desequilíbrios nutricionais (LI *et al*., 2017; SCHWERZ *et al*., 2016).

Dentre as fontes nitrogenadas disponíveis, o sulfato de amônio destaca-se por fornecer simultaneamente nitrogênio e enxofre, elementos essenciais para a síntese de aminoácidos sulfurados e proteínas, além de atuar em processos metabólicos fundamentais das plantas (POWLSON; DAWSON, 2022). A presença do enxofre pode contribuir para o aumento da eficiência do uso do nitrogênio, favorecendo o crescimento vegetal e a produtividade das culturas (CASTEEL *et al*., 2019).

O interesse pelo uso de fontes alternativas de fertilizantes tem crescido significativamente, impulsionado pela necessidade de redução de custos e pela busca por sistemas produtivos mais sustentáveis. Nesse contexto, o reaproveitamento de resíduos industriais surge como uma estratégia relevante, permitindo a transformação de subprodutos potencialmente poluentes em insumos agrícolas de valor agregado.

Resíduos da indústria siderúrgica, como o licor de amônia gerado no processo de coqueria, apresentam elevado potencial para utilização na produção de fertilizantes nitrogenados. Da mesma forma, resíduos ácidos provenientes da reciclagem de baterias automotivas podem ser empregados como fonte de ácido sulfúrico na síntese de sulfato de amônio, desde que submetidos a processos adequados de tratamento para remoção de contaminantes, como metais pesados.

A utilização desses resíduos na produção de fertilizantes está alinhada aos princípios da economia circular, promovendo a redução de impactos ambientais e o uso mais eficiente de

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

recursos naturais. Estudos indicam que fertilizantes produzidos a partir de fontes alternativas podem apresentar desempenho agronômico semelhante aos fertilizantes convencionais, desde que atendam aos critérios de qualidade química e segurança ambiental (JIA *et al*., 2020; MA *et al*., 2021).

Dessa forma, a avaliação do uso de sulfato de amônio produzido a partir de matérias-primas residuais, como amônia de coqueria e ácido sulfúrico reciclado, torna-se fundamental para a validação de sua eficiência agronômica e viabilidade como alternativa sustentável no manejo da adubação nitrogenada em culturas agrícolas, como o girassol.

2. METODOLOGIA

Preparação dos sulfatos de amônio

O experimento foi conduzido no laboratório de Estudos de Reaproveitamento de Resíduos da Industria e Mineração da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Campus Teófilo Otoni. Todo o processo de manuseio dos materiais perigosos seguiu as recomendações de segurança e gestão do laboratório.

Foram avaliadas três fontes de sulfato de amônio aplicadas no substrato visando avaliar o desenvolvimento inicial da cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.). Foi utilizado o sulfato de amônio P.A. (Puro para análise – comercial) (SAC) 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 (SAAC). 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 obteve-se um ácido sulfúrico com teor de chumbo inferior a 10,0 ppm. O ácido foi titulado em laboratório com hidróxido de sódio 0,5N 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 a reação do ácido sulfúrico residual com a amônia comercial. Adicionou-se 200 ml de amônia comercial 5,8% em um bequer de 500 ml aplicando-se lentamente o ácido sulfúrico residual até a neutralização completa da amônia, totalizando 180ml. Com o acréscimo constante do ácido sulfúrico residual 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 residual onde ocorreu uma mudança do meio de amarelo alaranjado para transparente.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Neste momento foi interrompida a titulação e a solução de sulfato de amônio produzida denominada SAAC, disposta em estufa a 75º C por 72 horas para secagem.

A preparação seguinte do fertilizante sulfato de amônio foi realizada reagindo o ácido sulfúrico residual de baterias automotivas, preparada conforme descrito anteriormente, 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 a reação anterior, foram adicionados em um bequer de 1.000 ml, 200 ml de licor de amônia e adicionando-se 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 denominada sulfato de amônio Usiminas (SAU) foi disposta em estufa a 75º C por 72 horas.

Após a secagem, formaram-se cristais branco/transparentes. Os cristais foram fragmentados manualmente visando facilitar o manejo de preparação. Amostras dos sulfatos de amônio produzidas em laboratório foram coletadas para realização das análises químicas dos teores de enxofre, nitrogênio e seus contaminantes. Os resultados encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Análise química dos fertilizantes nitrogenados (em % e ppm)

Material	S	$N_{amônia}$	N_{total}	C	Cr	Cu	Cd	Ni	Pb	As	Zn
	%				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	-	-	-	-	-	5,00	-	-
Limites estabelecidos de Contaminantes para fertilizantes*	-	-	-	-	200	-	20	-	100	10	-

*Instrução Normativa 27/2006 MAPA.

Ensaio com a cultura do girassol

No ensaio de avaliação dos fertilizantes foi utilizada a cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.). Utilizou-se vasos de 300 ml de capacidade e o substrato utilizado foi a areia lavada com granulometria inferior a 2,8 mm. 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 ($CaHPO_4$) e 2,0 ml/vaso de uma solução de 55,0 g/L de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) e 22,0 g/L de carbonato de magnésio ($MgCO_3$).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

As fontes de nitrogênio SAC (Sulfato de amônio comercial), SAAC (Sulfato de amônio produzido com amônia comercial) e SAU (Sulfato de amônio produzido com licor de amônia Usiminas) foram utilizadas nos vasos preparando-se soluções nutritivas, garantindo a uniformidade de aplicação do nitrogênio nos substratos. As soluções nutritivas foram preparadas utilizando-se 5,56 gramas de cada uma das fontes de nitrogênio (SAC, SAAC e SAU), separadamente, solubilizadas em 1.000 ml de água destilada. Os tratamentos corresponderam a aplicação de 0 ml/vaso; 2ml/vaso; 4ml/vaso; 6ml/vaso; 8 ml/vaso; 10ml/vaso e 12ml/vaso das soluções nutritivas contendo 0, 3, 6, 9, 12, 15 e 18 mg de nitrogênio/vaso, respectivamente. As quantidades das soluções aplicadas nos substratos foram calculadas de acordo com a concentração e da massa do substrato nos vasos. Neste caso, a cada 1,0 ml aplicado no vaso com as soluções nutritivas SAC, SAAC ou SAU, correspondeu a 10 kg de N/ha no campo. O cálculo da proporcionalidade foi realizado de acordo com a relação volume do solo no campo a 0,2 metro de profundidade em 1,0 hectare, correspondendo ao volume de 2.000 m^3 e o volume dos vasos de 300 cm^3. Considerando as dosagens das soluções nutritivas com SAC, SAAC e SAU utilizadas neste ensaio e extrapolando para massa de solo no campo teríamos, proporcionalmente, as seguintes aplicações de nitrogênio: Testemunha (0 kg/ha), 20, 40, 60, 80, 100 e 120 kg de N/ha dos fertilizantes nitrogenados SAC, SAAC e SAU.

Após a aplicação das soluções nos vasos foi semeado o girassol. Foram semeadas sete sementes por vaso seguido da irrigação com 50 ml de água. Após a germinação das sementes realizou-se um desbaste mantendo duas plantas por vaso. A irrigação das plantas ao longo do desenvolvimento foi realizada de acordo com a necessidade da cultura. Os vasos foram mantidos com iluminação artificial e ambiente controlado por um período de 35 dias. Após este período as plantas foram coletadas e realizado o corte na região do coleto e imediatamente pesadas em balança de precisão para determinação do peso úmido da parte aérea. Em seguida as plantas foram dispostas em sacos de papel e colocadas em estufa a 75º C por 72 horas para determinação de seu peso seco.

As raízes foram coletadas do substrato através de lavagem lenta em água corrente para retirada de todo agregado de substrato. Após a retirada das raízes, as mesmas foram mantidas por seis horas à sombra para perda do excesso de umidade da água da lavagem. Em seguida foram acondicionadas em sacos de papel e em estufa a 75º C por 72 horas para determinação de seu peso seco.

As variáveis analisadas das plantas foram: peso úmido e peso seco da parte aérea, peso seco das raízes e peso seco total das plantas e a relação do peso seco da parte aérea/raiz. O esquema utilizado foi um fatorial 3x7 (três fontes de nitrogênio e sete doses utilizadas) e o

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

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. Para os dados das dosagens dos fertilizantes aplicados foi realizada a análise de regressão dos dados fitotécnicos obtidos. As análises estatísticas foram realizadas com o software Statjab.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 encontram-se os valores dos quadrados médios da análise estatística das variáveis das plantas de girassol avaliadas, suas interações e a significância dos resultados pelo teste F. Os resultados indicam que, em relação as diferentes fontes de sulfato de amônio avaliadas, a única significância obtida na comparação das médias foi na relação parte aérea/raiz. Nas demais variáveis analisadas não foram observadas diferenças estatísticas significativas no desenvolvimento das plantas em relação a fonte de nitrogênio utilizada.

Tabela 2. Análise de variância (quadrado médio) das variáveis fitotécnicas avaliadas das plantas de girassol

Fatores	P. úmido parte aérea	P. seco parte aérea	P. seco raiz	P. Seco total	Relação p.aérea/raiz
Fontes de Nitrogênio	0,374ns	0,009ns	0,006ns	0,145ns	54,949**
Doses	3,920**	0,055**	0,013**	0,088**	381,714**
Fontes x doses	0,341ns	0,007ns	0,001ns	0,014ns	58,048**

ns – não significativo; * - significativo 5%; ** - significativo 1%

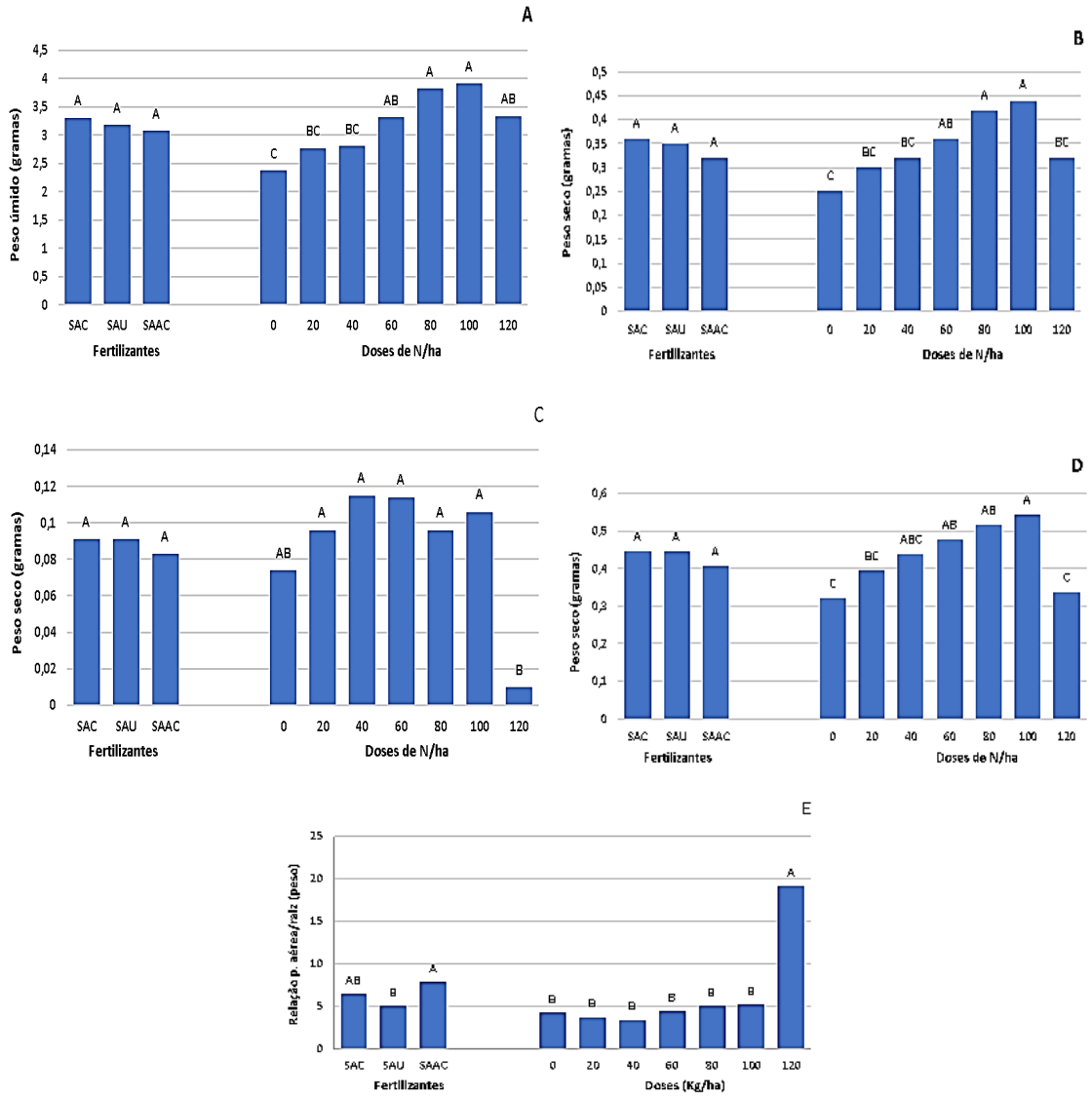
Na avaliação do fator dose, todas as variáveis analisadas das plantas de girassol apresentaram valores altamente significativos (P<0,01), indicando diferenças estatísticas consistentes. Em relação a interação dos fatores fontes de nitrogênio x doses aplicadas, na maioria das variáveis analisadas não foram observadas significâncias, com exceção da variável relação parte aérea/raiz das plantas. Estes resultados indicam que as plantas de girassol, em seu desenvolvimento vegetativo, apresentaram comportamento semelhante, indicando que o sulfato de amônio comercial (SAC), o sulfato de amônio produzido com amônia líquida residual de coqueria e ácido sulfúrico residual de baterias automotivas (SAU) e sulfato de amônio produzido com amônia comercial e ácido sulfúrico residual de baterias automotivas (SAAC) atuaram de forma semelhante no desempenho das plantas, com exceção da relação parte aérea/raiz.

A Figura 1 apresenta os resultados dos fatores analisados aplicando o teste de médias. No peso seco da parte aérea (Figura 1A) verifica-se igualdade dos resultados da média dos

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

tratamentos utilizando as diferentes fontes de sulfato de amônio. Em relação as doses dos fertilizantes utilizados, os melhores resultados foram obtidos nas doses 80 e 100 kg de N/ha, sendo estatisticamente superiores aos resultados do tratamento testemunha (0 kg de N/ha), 20 e 40 kg de N/ha, onde os valores apresentaram-se mais reduzidos.

Figura 1. Desempenho fitotécnico das plantas de girassol desenvolvidas com diferentes fontes e doses de sulfato de amônio. A: peso úmido da parte aérea; B: peso seco da parte aérea; C:peso seco das raízes; D: peso seco total das plantas; E:relação parte aérea/raiz das plantas



*As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

No peso seco da parte aérea (Figura 1B) os resultados obtidos foram semelhantes aos obtidos no peso úmido da parte aérea com as diferentes fontes de nitrogênio apresentando comportamento estatisticamente semelhantes. Em relação as doses aplicadas no solo, as plantas apresentaram melhor desempenho com a aplicação de 80 e 100 kg de N/ha, superando os resultados obtidos nos tratamentos 0, 20 e 40 kg de N/ha, além da dose mais elevada (120 kg de N/ha) que apresentou queda significativa na produção de massa seca da parte aérea das plantas de girassol.

No peso seco das raízes, as plantas apresentaram um comportamento específico, diferente do observado na parte aérea (Figura 1C) em relação as doses dos fertilizantes aplicados no solo. Neste caso, apesar da variação observada, não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos até a dose de 100 kg de N/ha, incluindo a testemunha (0 kg de N/ha). A exceção ocorreu na dose de 120 kg de N/ha onde a produção de massa seca das raízes foi muito reduzida. No peso seco total das plantas de girassol (parte aérea+raiz) (Figura 1D) observa-se novamente que não houve efeito diferenciado entre as fontes de sulfato de amônio utilizadas. Em relação as dosagens utilizadas, observa-se a mesma tendência de resultados da parte aérea, mas com uma significância mais ampla. Apesar de, numericamente o melhor resultado das plantas ter sido obtido com a dose de 100 kg de N/ha, o desempenho das plantas foi semelhante estatisticamente as dosagens 40, 60 e 80 kg de N/ha utilizadas. Os menores valores obtidos para o peso seco das plantas foram observados no tratamento testemunha (0 kg de N/ha) e na dose mais elevada utilizada (120 kg de N/ha) promovida provavelmente, devido a toxidez causada pelo excesso de nitrogênio aplicado em ambiente restritivo (vasos).

Na relação parte aérea/raiz das plantas observa-se diferenças entre os tipos de fertilizantes utilizados e nas dosagens aplicadas no solo (Figura 1E). A maior relação foi obtida utilizando o sulfato de amônio produzido com amônia comercial e o ácido sulfúrico de baterias automotivas (SAAC) indicando uma maior diferença de desempenho da massa seca produzida entre os segmentos vegetais, com valores próximos a 7,5, ou seja, para cada grama de matéria seca da raiz produzida temos 7,5 gramas de massa seca da parte aérea. Estes resultados foram estatisticamente diferentes do tratamento utilizado o sulfato de amônio produzido com amônia residual de coqueria de siderurgia e ácido sulfúrico de baterias automotivas (SAU), onde os valores da relação foram próximos a 5,0, indicando um maior equilíbrio entre o desenvolvimento da parte aérea e as raízes das plantas.

Em relação as doses dos fertilizantes nitrogenados aplicados nos solos e seus efeitos na relação parte aérea/raiz das plantas (Figura 1E), os resultados foram estatisticamente semelhantes entre as doses testadas de 0 a 100 kg de N/ha com a relação variando entre 4,0 e

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

5,0. Na maior dose utilizada dos fertilizantes nitrogenados (120 kg de N/ha), verifica-se nas figuras anteriores que esta dose promoveu queda na produção da parte aérea das plantas, mas uma queda mais intensa no desenvolvimento das raízes. Desta forma, o valor da relação nesta dosagem foi estatisticamente superior aos demais tratamentos, atingindo um índice próximo a 19,0, aproximadamente quatro vezes superior aos demais tratamentos.

Alguns autores descrevem em seus trabalhos que elevadas doses de nitrogênio podem reduzir a eficiência agronômica do girassol (DE SOUZA *et al*., 2018; SANT'ANA *et al*., 2011). As doses de fertilizante bem definida para eficiência máxima da cultura pode garantir altos rendimentos e racionamento no consumo de fertilizantes minerais de elevado custo como o nitrogênio (FERRAZ-ALMEIDA *et al*., 2020). Ainda segundo alguns autores, o aumento rápido das concentrações de nitrogênio no solo pode promover desequilíbrios nutricionais, estresse oxidativo e danos às raízes devido às altas concentrações de amônio (COOKE, 1962; LIU *et al*., 2021), fato que provavelmente ocorreu neste ensaio devido à queda intensa no desenvolvimento das raízes. Segundo Li *et al*. (2014) o excesso de amônia no solo inibe o crescimento da maioria das plantas caracterizado pela clorose foliar, inibição do crescimento radicular e redução da massa da parte aérea. A ação tóxica deste elemento pode ocorrer na acidificação da rizosfera, falhas na glicosilação das proteínas, acidificação do citoplasma, disfunção do sistema fotossintético, distúrbios na sinalização hormonal, dentre outras ações (KONG *et al*., 2022).

Straub *et al*. (2017) verificaram em seus estudos que o excesso de amônia no solo inibe a atividade dos transportadores de membrana específicos do amônio. A absorção excessiva de amônio pelas células vegetais promove também uma depleção energética na parte aérea restringindo o crescimento da planta (HACHIYA *et al*., 2021).

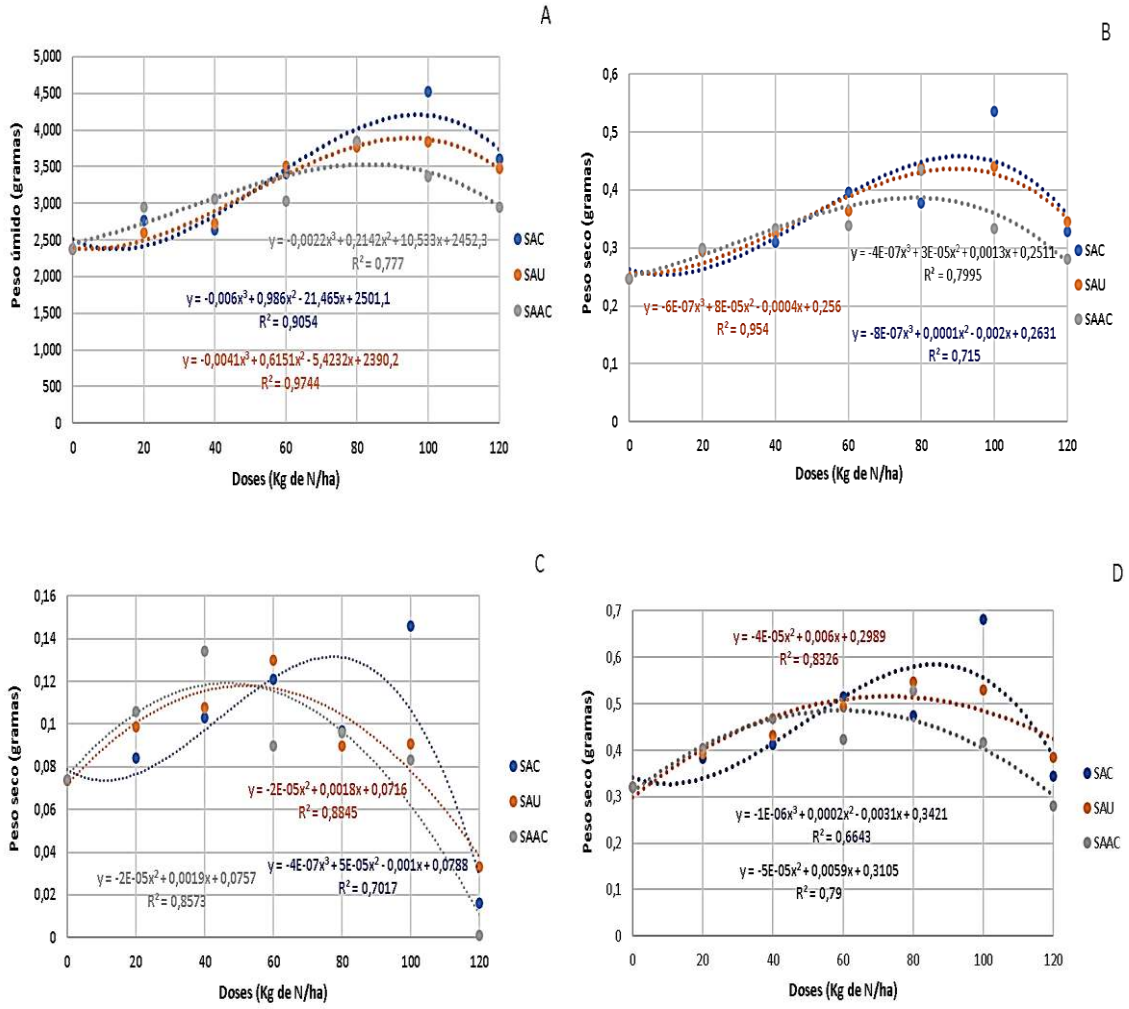
A avaliação individual de cada fertilizante testado neste ensaio em suas diferentes dosagens e em relação às variáveis fitotécnicas das plantas de girassol apresentaram comportamentos distintos. Na Figura 2A, observa-se o comportamento das plantas em relação ao acúmulo de massa úmida da parte aérea das plantas. Com a aplicação no solo do fertilizante SAC nas menores doses, não foram observadas evoluções no desempenho das plantas, iniciando esta resposta nas dosagens entre 20 e 40 kg de N/ha atingindo o pico de massa úmida na dosagem próxima de 100 kg de N/ha, um acréscimo de aproximadamente 70% em relação ao tratamento 0 kg de N/ha. A partir do máximo de produção, registra-se queda, mas ainda superior à produção das plantas sem aplicação do fertilizante (0 kg de N/ha) em aproximadamente 45%.

Com a utilização do fertilizante SAU, produzido com a amônia residual gerada pela coqueria da siderúrgica, até a dose de 60 kg/ha o comportamento da evolução das plantas foi

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

semelhante ao tratamento utilizando o fertilizante SAC. A partir desta dosagem o desenvolvimento da parte aérea das plantas reduz a taxa de crescimento até atingir o máximo de produção também próximo a aplicação de 100 kg de N/ha, mas com taxa de ganho de massa úmida inferior ao tratamento com fertilizante SAC, com acréscimos de valores da ordem de 55% em relação a dosagem 0 kg de N/ha. A partir desta dosagem verifica-se uma queda até a dose máxima testada de 120 kg de N/ha, mas ainda superior em 40% ao tratamento testemunha (0 kg de N/ha).

Figura 2. Análise de modelos de regressão do peso das plantas de girassol após desenvolvimento com diferentes fontes e doses de sulfato de amônio. A: peso úmido da parte aérea; B: peso seco da parte aérea; C:peso seco das raízes; D: peso seco total das plantas



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Com a utilização do fertilizante SAAC, as plantas de girassol apresentaram ganhos de massa úmida da parte aérea já nas primeiras dosagens testadas evoluindo até o máximo de produção em torno de 80 kg de N/ha, com valores de produção 40% acima em relação à dose de 0 kg de N/ha, mas abaixo quando comparado aos demais tratamentos. A partir desta dosagem as plantas apresentaram queda gradativa de produção até a dosagem aplicada de 120 kg de N/ha, onde o valor da massa úmida foi apenas 20% superior em relação a tratamento 0 kg de N/ha. Este mesmo comportamento das plantas foi observado na avaliação do peso seco da parte aérea das plantas (Figura 2B), confirmando as informações obtidas na avaliação do peso úmido da parte aérea.

Na avaliação do peso seco das raízes (Figura 2C), verifica-se que os efeitos prováveis da toxidez do elemento nitrogênio em sistema fechado (vasos), mostrou-se de grande intensidade. Em relação ao fertilizante SAC, o ajuste do modelo de regressão mostrou uma ação mais intensa no desenvolvimento das raízes a partir da aplicação da dose de 20 kg de N/ha evoluindo até a produção máxima na dosagem próximo a 80 kg de N/ha, 62% superior ao desenvolvimento radicular no tratamento 0 kg de N/ha. A partir desta dosagem observou-se queda abrupta na produção da massa radicular até a dose máxima do fertilizante aplicado (120 kg de N/ha), com valores 55% abaixo em relação ao tratamento 0 kg de N/ha, indicando possível toxidez do excesso de nitrogênio ou menor necessidade do desenvolvimento das raízes para obtenção deste elemento mineral considerando sua elevada concentração no substrato.

Em relação ao fertilizante SAU, o ajuste dos dados foi quadrático indicando aumento contínuo de produção de massa radicular até a dosagem entre 40 e 60 kg de N/ha, evolução de aproximadamente 50% em relação ao tratamento 0 kg de N/ha. A partir desta faixa de dosagem as quedas foram intensas no desenvolvimento das raízes até a dose máxima do fertilizante utilizado, atingindo valores semelhantes ao tratamento com fertilizante SAC, com redução de 55% em relação ao tratamento testemunha. No tratamento utilizando o fertilizante nitrogenado SAAC, o comportamento inicial do desenvolvimento das raízes de girassol até o pico de produção entre as dosagens utilizadas de 60 e 80 kg de N/ha foi semelhante ao tratamento com fertilizante SAU, com acréscimos da ordem de 50% em relação à dose 0 kg de N/ha. A partir desta faixa, a queda de produção da massa das raízes mostrou-se mais intensa até atingir valores da ordem de 80% de redução em comparação à dosagem de 0 kg de N/ha na maior dose aplicada do fertilizante (120 kg de N/ha). Estes resultados reforçam a questão da utilização correta deste tipo de fertilizante que apresenta características salinas.

O manejo adequado dos nutrientes no solo promove o desenvolvimento radicular, aumenta a eficiência da absorção de água e nutrientes, melhorando o crescimento e o

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

rendimento das culturas (LI *et al*., 2016; LIU *et al*., 2022). A aplicação de fertilizantes nitrogenados tem demonstrado influenciar positivamente a densidade radicular e no seu desenvolvimento estrutural (JIA *et al*., 2020; MA *et al*., 2021; OLMO *et al*., 2015). Estas afirmações estão de acordo com os resultados obtidos neste ensaio com as plantas de girassol até determinada dosagem onde, a partir de 50 até 80 kg/ha, dependendo da fonte de sulfato de amônio, os efeitos tornaram-se deletérios para o sistema radicular das plantas.

Na Figura 2D são apresentados os resultados do peso seco total (parte aérea+raiz) das plantas de girassol. Os ajustes dos modelos de regressão indicam comportamento semelhante quando se analisa a parte aérea e as raízes em separado. No tratamento com fertilizante SAC, a resposta das plantas inicia-se a partir da dose de 20 kg de N/ha, evoluindo até o máximo de produção entre 80 e 100 kg de N/ha onde os acréscimos de massa seca total das plantas foram da ordem de 70% com queda abrupta até a dose máxima do fertilizante aplicado, mas mantendo os valores superiores a dose de 0 kg de N/ha em aproximadamente 17%. Com o fertilizante SAU as plantas apresentaram ganhos contínuos de massa seca até as doses próximas a 80 kg de N/ha, sendo estes valores 65% superiores ao tratamento 0 kg de N/ha, seguido por quedas de produção menos intensas quando comparado ao tratamento SAC, atingindo, na dose máxima aplicada (120 kg de N/ha) valores 26% acima dos valores obtidos na dosagem de 0 kg de N/ha.

No geral as plantas de girassol responderam com menos intensidade a utilização do fertilizante SAAC. Apesar da evolução contínua a partir das menores doses, o pico de produção da massa seca total ficou próximo a dosagem de 60 kg de N/ha, com acréscimos da ordem de 54% e quedas de produção mais intensas a partir da utilização desta dosagem do fertilizante até a dosagem máxima avaliada (120 kg de N/ha), atingindo valores de produção de massa seca das plantas muito reduzido, abaixo dos valores obtidos no tratamento 0 kg de N/ha.

Os resultados obtidos neste ensaio demonstram que os fertilizantes sulfato de amônio produzidos com diferentes matérias prima apresentaram, de modo geral, tendências semelhantes com pequenas respostas iniciais das plantas de girassol, seguido de pico de produtividade e queda de desenvolvimento nas maiores doses indicando possível comprometimento metabólico das plantas. Estes resultados corroboram com os obtidos por Lozanovic e Stanojevic (1988) onde a produção do girassol aumentou até a aplicação de 90 kg/ha de nitrogênio com quedas de produção de 17 e 21% nas dosagens de 120 e 150 kg/ha de nitrogênio, respectivamente, concluindo que a ação inibitória das elevadas doses de nitrogênio ocorreu, provavelmente, devido o subdesenvolvimento das raízes. O máximo da produtividade das plantas com dosagens de nitrogênio em torno de 90 kg/ha também foi observado por Sharma e Gaur (1998). Schatz *et al.* (1999) sugeriram aplicação de nitrato no solo na dose de 90 kg/ha

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

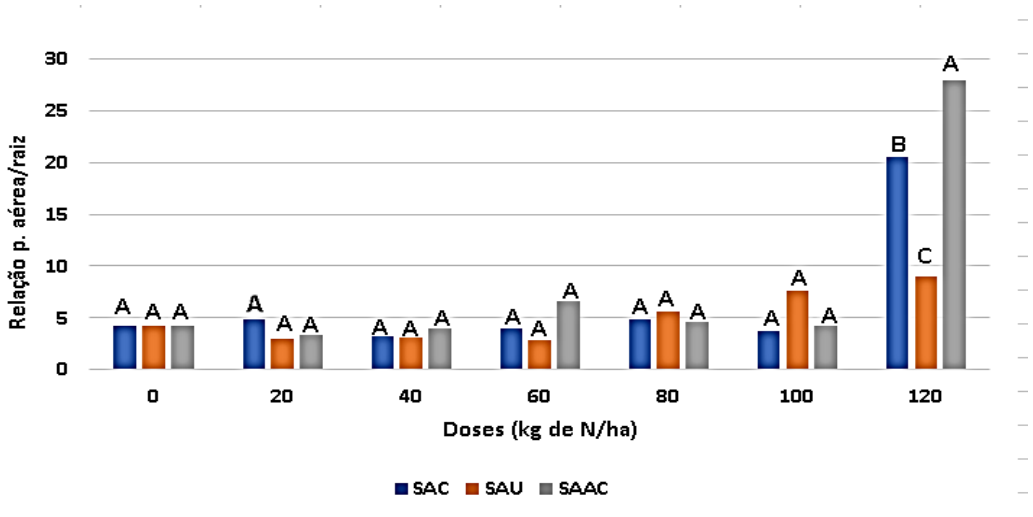
de nitrogênio confirmando também que a aplicação excessiva deste nutriente no solo pode acarretar problemas no desenvolvimento vegetativo do girassol.

Devido à grande diversidade de fatores que interferem nos modelos de produção das plantas como o clima, tipo de solo, sistema de manejo, dentre outros, os resultados da adubação nitrogenada podem apresentar diferenças das respostas das plantas de girassol. Carvalho e Pissaia (2002), por exemplo, aplicando nitrogênio em cobertura na cultura do girassol observaram um aumento no peso de 1000 sementes quando se aplicou 125 kg de nitrogênio por hectare. Conforme obtido neste ensaio, a aplicação de nitrogênio no solo abaixo ou acima da faixa ideal reduz a produtividade e a eficiência com que este nutriente é utilizado pela planta (TEI *et al*., 2020).

As oscilações nas respostas das plantas de girassol em relação à utilização do fertilizante nitrogenado também ocorrem em função da variedade utilizada. Schwerz *et al.* (2016) avaliaram o efeito da fertilização nitrogenada em diferentes cultivares de girassol verificando que a cultivar Olisum3 apresentou maior produtividade e área foliar com as doses variando entre 80 e 120 kg/ha de nitrogênio e maior eficiência da cultura na utilização do nutriente.

Na avaliação da relação do peso seco da parte aérea/raiz (Figura 3), verifica-se que em todos os fertilizantes utilizados nas dosagens até 100 kg de N/ha, não foram observadas quaisquer alterações, com pequenas oscilações.

Figura 3. Relação peso seco da parte aérea/peso seco raiz das plantas de girassol cultivadas em substratos com diferentes fontes e doses de sulfato de amônio



*As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Na dose máxima aplicada dos fertilizantes (120 kg de N/ha), observa-se um comportamento diferenciado entre os tratamentos com o maior valor da relação sendo obtido no tratamento SAAC (relação 27/1), estatisticamente superior aos demais tratamentos. Nesta dosagem, o menor índice da relação foi obtido com o tratamento SAU, onde o valor foi próximo a 8/1. No tratamento com fertilizante SAAC, na dose máxima aplicada no solo, o efeito negativo nas raízes foi mais intenso quando comparado a parte aérea, promovendo maior valor da relação. No tratamento com o fertilizante SAU, os efeitos do excesso de nitrogênio no solo foram menos intensos para as raízes e a parte aérea e, consequentemente, promovendo menor alteração da relação em comparação as demais doses do fertilizante aplicado no substrato. O tratamento com fertilizante SAC apresentou o mesmo comportamento da relação em relação aos demais tratamentos até a dose de 100 kg de N/ha. Na dose de 120 kg de N/ha a relação elevou significativamente para valores próximos a 20/1, indicando uma mudança intensa no comportamento da planta.

Os valores da relação parte aérea/raiz constante para todos os fertilizantes testados até a dose de 100 kg/ha de nitrogênio indicam que o desenvolvimento das raízes acompanhou o desenvolvimento da parte aérea. Estes resultados corroboram com outros artigos descrevendo a maior biomassa radicular melhorando o desempenho da planta e sua capacidade de explorar um volume maior de solo para melhor aquisição de recursos, incluindo água e nutrientes minerais (GAO *et al*., 2023; YANG *et al*., 2021). Considerando que o ambiente era restrito (vasos), a eficiência de exploração aumentou significativamente. Neste caso, os resultados elevados da relação parte aérea/raiz obtidos nas maiores doses corroboram com outros trabalhos afirmando que no "consumo de luxo" de nutrientes como no caso do nitrogênio, as raízes podem absorver rapidamente este elemento em excesso, gerando uma estrutura radicular deficiente com desequilíbrios nutricionais a longo prazo na planta (LI *et al*., 2013; NAZ; SULAIMAN, 2016).

A utilização e distribuição do nitrogênio nas plantas de girassol está associado a eficiência de absorção e assimilação deste elemento, assim como seu fator genético que associa a diferenciação em relação a biomassa da parte aérea e da raiz (FAGERIA *et al*. 2013; FAGERIA *et al*., 2014).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste ensaio demonstraram que as plantas de girassol responderam positivamente as diferentes fontes de sulfato de amônio, tanto no desenvolvimento

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

da parte aérea quanto das raízes com picos de produtividade da parte aérea nas doses entre 80 e 100 kg de N/ha, diferentemente das raízes onde o pico de produção ficou entre as dosagens de 50 e 80 kg de N/ha. O excesso de aplicação dos fertilizantes nos solos prejudicou de forma mais intensa o sistema radicular em relação à parte aérea. O fertilizante sulfato de amônio desenvolvido com amônia residual proveniente do processo siderúrgico promoveu aumentos de produção da parte aérea da ordem de 60%. As doses mais elevadas dos fertilizantes promoveram quedas de produção das plantas, mas de forma mais intensa nos sistemas radiculares com resultados abaixo da dose 0 kg de N/ha. Estes resultados indicam que o sulfato de amônio produzido com amônia residual da coqueria de usinas siderúrgicas pode ser utilizado como matéria prima na produção de fertilizantes nitrogenados com desempenho similar ao uso do sulfato de amônio comercial.

REFERÊNCIAS

BISCARO, G. A.; MACHADO, J. R.; TOSTA, M. D. S.; MENDONÇA, V.; SORATTO, R. P.; CARVALHO, L. A. D. Adubação nitrogenada em cobertura no girassol irrigado nas condições de Cassilândia-MS. Ciência e Agrotecnologia, v. 32, p.1366-1373, 2008. https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000500002.

CARVALHO, D. B.; PISSAIA, A. Cobertura nitrogenada em girassol sob plantio direto na palha. Scientia Agrária, Piracicaba, v. 1/2, p.41-45, 2002.

CASTRO, C.; LEITE, R.M.V.B.C. Main aspects of sunflower production in Brazil. Oilseeds and Fats, Crops and Lipids, v.25, n.1, p.104, 2018. https://doi.org/10.1051/ocl/2017056.

CASTEEL, S. N., CHIEN, S. H., GEARHART, M. M. Field evaluation of ammonium sulfate versus two fertilizer products containing ammonium sulfate and elemental sulfur on soybeans. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v.50, n.22, p.2941-2947, 2019. https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1689257

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v. 11, safra 2023/24, n.11 levantamento, 2024.

COOKE, I.J. Toxic effect of urea on plants: damage to plant roots caused by urea and anhydrous ammonia. Nature, n.194, p.1262–1263, 1962. https://doi.org/10.1038/ 1941262.

DE SOUZA, H.C.; REZENDE, R.; LORENZONI, M. Z.; SERON, C.D.C.; SANTOS, F.A.S. Agronomic Efficiency and Growth of Eggplant Crop under Different Potassium and Nitrogen Doses. Rev. Caatinga, n.31, p.737–747, 2018. https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n324rc

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

FAGERIA, N. K.; MELO, L. C.; DE OLIVEIRA, J. Nitrogen use efficiency in dry bean genotypes. J. Plant Nutr., n.36, p.2179–2190, 2013. https://doi.org/10.1080/01904167.2013.836225

FAGERIA, NK., FERREIRA, E., MELO, LC., KNUPP, AM. Genotypic Differences in dry bean yield and yield components as influenced by nitrogen fertilization and rhizobia.. Commun. Soil Sci. Plant Anal., n.45, p.1583–1604, 2014. https://doi.org/10.1080/00103624.2013.875204

FERRAZ-ALMEIDA, R.; SPOKAS, K. A.; DE OLIVEIRA, R.C. Columns and Detectors Recommended in Gas Chromatography to Measure Greenhouse Emission and O2 Uptake in Soil: A Review. Commun. Soil Sci. Plant Anal., n.51, p.582–594, 2020. https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1729370

GAO, Q., LI, C., FENG, G., WANG, J., CUI, Z., CHEN, X., ZHANG, F. Understanding Yield Response to Nitrogen to Achieve High Yield and High Nitrogen Use Efficiency in Rainfed Corn. Agron. J., n.104, p.165–168, 2012. https://doi.org/10.2134/agronj2011.0215

GAO, J.; ZHAO, Y.; ZHAO, Z. Z. W.; JIANG, C.; LI, J.; ZHANG, Z.; ZHANG, H.; ZHANG, Y.; WANG, X.; SUN, X.; LI, Z. RRS1 shapes robust root system to enhance drought resistance in rice. N. Phytol., n. 238, p.1146–1162, 2023. https://doi.org/10.1111/nph.18775.

HACHIYA, T.; INABA, J.; WAKAZAKI, M.; SATO, M.; TOYOOKA, K.; MIYAGI, A.; KAWAI-YAMADA, M.; SUGIURA, D.; NAKAGAWA, T.; KIBA, T.; GOJON, A.; SAKAKIBARA, H. Excessive ammonium assimilation by plastidic glutamine synthetase causes ammonium toxicity in *Arabidopsis thaliana*. *Nat. Commun*., n.12, p.4944, 2021. https://doi.org/10.1038/s41467-021-25238-7

JIA, Q.; YANG, L.; AN, H.; DONG, S.; CHANG, S.; ZHANG, C.; LIU, Y.; HOU, F. Nitrogen fertilization and planting models regulate maize productivity, nitrate and root distributions in semi-arid regions. Soil Tillage Res., n.200, p.104636, 2020. https://doi.org/ 10.1016/j.still.2020.104636.

KONG, L.; ZHANG, Y.; ZHANG, B.; LI, H.; WANG, Z.; SI, J.; FAN, S.; FENG, B. Does energy cost constitute the primary cause of ammonium toxicity in plants. Planta, n.256, p.62, 2022. https://doi.org/10.1007/s00425-022-03971-7

LI, X.; ZENG, R.; LIAO, H. Improving crop nutrient efficiency through root architecture modifications. J. Integr. Plant Biol., n.58, p.193–202, 2016. https://doi.org/ 10.1111/jipb.

LI, W. P.; SHI, H. B.; ZHU, K.; ZENG, Q.; XU, Z. The Quality of Sunflower Seed Oil Changes in Response to Nitrogen Fertilizer. Agronomy Journal, v. 109, n. 6, p. 2499–2507, 2017. https://doi.org/10.2134/agronj2017.01.0046

LI, H.; MA, Q.; LI, H.; ZHANG, F.; RENGEL, Z.; SHEN, J. Root morphological responses to localized nutrient supply differ among crop species with contrasting root traits. Plant Soil, n.376, p.151–163, 2013. https://doi.org/10.1007/s11104-013-1965-9.

LIU, Y.; LI, Y.; TIAN, Z.; HU, J. I.; ADKINS, S.; DAI, T. Changes of oxidative metabolism in the roots of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings in response to elevated ammonium concentrations. J. Integr. Agric. n.20, p.1216–1228, 2021. https://doi.org/10.1016/s2095-3119(20)63216-6.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

LI, B.; LI, G.; KRONZUCKER, H.; BALUSKA, F.; SHI, W. Ammonium stress in Arabidopsis: Signaling, genetic loci, and physiological targets. Trends Plant Sci., n.19, p.107–114, 2014. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.09.004

LIU, X.; ZHANG, L.; Yu, Y.; QIAN, C.; LI, C.; WEI, S.; LI, C.; GU, W. Nitrogen and chemical control management improve yield and quality in high-density planting of maize by promoting root-bleeding sap and nutrient absorption. Front Plant Sci. n.13, p.754232, 2022. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.754232.

LOZANOVIC, M.; STANOJEVIC, D. Effect of increasing nitrogen doses on important sunflower quantitative, biological, and morphological traits of sunflower. In: INTERNATIONAL SUNFLOWER CONFERENCE, 12., 1988, Novi Sad. Proceedings. Novi Sadi: [s.n.], v. 1, p. 274-275, 1988.

MA, T.; ZENG, W.; LEI, G.; WU, J.; HUANG, J. Predicting the rooting depth, dynamic root distribution and the yield of sunflower under different soil salinity and nitrogen applications. Ind. Crops Prod., n.170, P.113749, 2021. https://doi.org/10.1016/j. indcrop.2021.113749.

MELLO P.; RENATO D.; MOREIRA L., DESORDENS NUTRICIONAIS POR DEFICIÊNCIA EM GIRASSOL var. CATISSOL-01 Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 36, n.3, p.187-193, 2006.

NASIM, W.; AHMAD, A.; AHMAD, S.; NADEEM, M.; MASOOD, N.; SHAHID, M.; MUBEEN, M.; HOOGENBOOM, G.; FAHAD, S. Response of sunflower hybrids to nitrogen application grown under different agro-environments. J. Plant Nutr., n.40, p.82–92, 2016. https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1201492

NAZ, M.Y.; SULAIMAN, S.A. Slow-release coating remedy for nitrogen loss from conventional urea: a review. J. Control Release, n.225, p.109–120, 2016. https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2016.01.037

OLMO, M.; VILLAR, R.; SALAZAR, P.; ALBURQUERQUE, J. A. Changes in soil nutrient availability explain biochar's impact on wheat root development. Plant Soil, n.399, p.333–343, 2015. https://doi.org/10.1007/s11104-015-2700-5.

PENUELAS, J.; SARDANS, J. The global nitrogen-phosphorus imbalance. Science, n.375, p.266–267, 2022. https://doi: 10.1126/science.abl4827.

POWLSON, D. S.; DAWSON, C. J. Use of ammonium sulphate as a sulphur fertilizer: Implications for ammonia volatilization. Soil use and Management, v. 38, n. 1, p. 622-634, 2022. https://doi.org/10.1111/sum.12733

SANT'ANA, E.V.P.; SANTOS, A.B.; SILVEIRA, P.M. Eficiência de uso de nitrogênio em cobertura pelo feijoeiro irrigado. Rev. Bras. Eng. Agric. Ambient., n.15, p.458–462, 2011. https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000500004.

SHARMA, S. K.; GAUR, B. L. Effect of level and methods of nitrogen application on seed yield and quality of sunflower. Indian Journal Agronomy, New Delhi, v.33, p.330-331, 1988.

SCHATZ, B.; MILLER, B.; ZWINGER, S.; HENSON, B. Sunflower Response to Nitrogen Fertilizer. In Proceedings of the 21st Sunflower Research Workshop, Fargo, ND, USA, 14–15, 1999.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

SCHWERZ, F.; CARON, B.O.; ELLI, E.F.; DE OLIVEIRA, D.M.; MONTEIRO, G.C.; DE SOUZA, V.Q. Avaliação do efeito de doses e fontes de nitrogênio sobre variáveis morfológicas, interceptação de radiação e produtividade do girassol. Rev. Ceres, n.63, p.380–386, 2016.

STRAUB, T., LUDEWIG, U., AND NEUHAUSER, B. The kinase cipk23 inhibits ammonium transport in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell*, n.29, p.409–422, 2017. https://doi.org/10.1105/tpc.16.00806

TEI, F.; NEVE, S.; HAAN, J.; KRISTENSEN, H.L. Nitrogen management of vegetable crops. Agric. Water Manag, n.240, p.106316, 2020.

VASCONCELOS, D. Métodos de aplicação e doses de nitrogênio para a cultura do girassol. Botucatu-SP, n., v.20, 2015. https://doi.org/10.15809/irriga.2015v20n4p667

YANG, W.; FENG, G.; ADELI, A.; TEWOLDE, H.; QU, Z. Simulated long-term effect of wheat cover crop on soil nitrogen losses from no-till corn-soybean rotation under different rainfall patterns. J. Clean. Prod., n.280, p.124255, 2021. https://doi.org/10.1016/j. jclepro.2020.124255.

ZHAO, J.; YANG, J.; XIE, H.; QIN, X.; HUANG, R. Sustainable management strategies for balancing crop yield, water use efficiency and greenhouse gas emissions. Agric. Syst., n.217, p.103944, 2024. https://doi: 10.1016/j.agsy.2024.103944.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.