v7.n10.2026

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

EFEITO DA APLICAÇÃO DE DIFERENTES FONTES DE SULFATO DE AMÔNIO NO CULTIVO DAS PLANTAS DE MAMONA (*RICINUS COMMUNIS* L.)

EFFECT OF APPLYING DIFFERENT SOURCES OF AMMONIUM SULFATE ON THE CULTIVATION OF CASTOR BEAN PLANTS (RICINUS COMMUNIS L.)

EFECTO DE LA APLICACIÓN DE DIFERENTES FUENTES DE SULFATO DE AMONIO EN EL CULTIVO DE PLANTAS DE RICINO (RICINUS COMMUNIS L.)

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

e7109129
https://doi.org/10.47820/recima21.v7i10.9129

PUBLICADO: 10/2026

RESUMO

Os fertilizantes nitrogenados estão entre os principais insumos agrícolas importados pelo Brasil, tornando o agronegócio brasileiro dependente de insumos externos. Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da produção de fertilizantes nitrogenados utilizando resíduos industriais. O ensaio foi conduzido com a cultura da mamona, utilizando três fontes de sulfato de amônio: uma comercial; uma produzida pela reação entre amônia comercial e ácido sulfúrico residual de baterias automotivas; e outra produzida com amônia residual do processo siderúrgico e ácido sulfúrico residual de baterias automotivas. Os ensaios foram realizados em vasos, com aplicação dos fertilizantes em doses correspondentes a 0, 20, 40, 60, 80, 100 e 120 kg de N/ha. As plantas foram coletadas aos 35 dias após a germinação, sendo avaliados o desenvolvimento da parte aérea e das raízes, a relação parte aérea/raiz, o diâmetro do caule, a altura das plantas e a taxa fotossintética. Os efeitos do sulfato de amônio comercial foram mais intensos no sistema radicular, inibindo acentuadamente seu desenvolvimento. Em relação à parte aérea, o melhor desempenho ocorreu com o sulfato de amônio produzido com amônia comercial, seguido daquele produzido com amônia residual do processo siderúrgico, com sinais de toxidez na dose mais elevada. As plantas apresentaram aumento da atividade fotossintética com os fertilizantes testados até as doses máximas. Os fertilizantes nitrogenados não interferiram no diâmetro do caule e na altura das plantas, provavelmente em razão das condições restritivas dos vasos, que limitaram o desenvolvimento.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos. Siderurgia. Amônia. Sulfato de amônio. Desenvolvimento vegetal.

ABSTRACT

Nitrogen fertilizers are among the main agricultural inputs imported by Brazil, making Brazilian agribusiness dependent on external inputs. This study aimed to evaluate the effects of producing nitrogen fertilizers using industrial waste. The experiment was conducted with castor bean, using three sources of ammonium sulfate: a commercial source; one produced by the reaction between commercial ammonia and residual sulfuric acid from automotive batteries; and another produced using residual ammonia from the steelmaking process and residual sulfuric acid from automotive batteries. The experiments were conducted in pots, with fertilizer application rates corresponding to 0, 20, 40, 60, 80, 100, and 120 kg N/ha. The plants were harvested 35 days after germination, and shoot and root development, shoot-to-root ratio, stem diameter, plant height, and photosynthetic rate were evaluated. The effects of commercial ammonium sulfate were more pronounced in the root system, markedly inhibiting its development. Regarding shoot development, the best performance was observed with ammonium sulfate produced using

[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.

commercial ammonia, followed by that produced using residual ammonia from the steelmaking process, with signs of toxicity at the highest application rate. The plants showed increased photosynthetic activity with the fertilizers tested up to the maximum application rates. The nitrogen fertilizers did not affect stem diameter or plant height, probably due to the restrictive conditions of the pots, which limited plant development.

KEYWORDS: *Waste. Steelmaking. Ammonia. Ammonium sulfate. Plant development.*

RESUMEN

Los fertilizantes nitrogenados se encuentran entre los principales insumos agrícolas importados por Brasil, lo que hace que la agroindustria brasileña dependa de insumos externos. El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de la producción de fertilizantes nitrogenados utilizando residuos industriales. El ensayo se realizó con el cultivo de ricino, utilizando tres fuentes de sulfato de amonio: una fuente comercial; una producida mediante la reacción entre amoníaco comercial y ácido sulfúrico residual procedente de baterías automotrices; y otra producida utilizando amoníaco residual del proceso siderúrgico y ácido sulfúrico residual procedente de baterías automotrices. Los ensayos se realizaron en macetas, con la aplicación de los fertilizantes en dosis correspondientes a 0, 20, 40, 60, 80, 100 y 120 kg de N/ha. Las plantas fueron recolectadas a los 35 días después de la germinación, y se evaluaron el desarrollo de la parte aérea y de las raíces, la relación parte aérea/raíz, el diámetro del tallo, la altura de las plantas y la tasa fotosintética. Los efectos del sulfato de amonio comercial fueron más intensos en el sistema radicular, inhibiendo marcadamente su desarrollo. En cuanto al desarrollo de la parte aérea, el mejor desempeño se observó con el sulfato de amonio producido a partir de amoníaco comercial, seguido del producido con amoníaco residual del proceso siderúrgico, con signos de toxicidad en la dosis más elevada. Las plantas presentaron un aumento de la actividad fotosintética con los fertilizantes evaluados hasta las dosis máximas. Los fertilizantes nitrogenados no afectaron el diámetro del tallo ni la altura de las plantas, probablemente debido a las condiciones restrictivas de las macetas, que limitaron el desarrollo de las plantas.

PALABRAS CLAVE*: Residuos. Siderurgia. Amoníaco. Sulfato de amonio. Desarrollo vegetal.*

INTRODUÇÃO

A busca pela diversificação das fontes renováveis de energia e pela redução da emissão dos gases de efeito estufa coloca a mamona em posição de destaque. A demanda pelo óleo de mamona tem favorecido a expansão do cultivo dessa espécie no Brasil e em outros países (AZEVEDO; LIMA, 2001). Devido à facilidade de cultivo, tolerância à seca e à salinidade, além da adaptabilidade a diferentes condições de cultivo, a mamona constitui uma das culturas não alimentares cultivadas em regiões de reduzida precipitação (NAHAR, 2013). Seu óleo apresenta ampla utilização, abrangendo desde a produção de medicamentos e cosméticos até a fabricação de plásticos, lubrificantes e biodiesel (KEERA et al., 2018).

Essas características tornam a cultura adequada para sistemas de baixa tecnologia e para a agricultura familiar em regiões com limitações edafoclimáticas (ANJANI, 2012). Segundo Saha e Bauddh (2023), a cultura também pode ser cultivada em solos degradados 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.

contaminados, reduzindo a competição pelo uso da terra com a produção de alimentos, além de contribuir para a recuperação do solo e o controle da erosão.

Apesar dos benefícios da cultura nos modelos de produção de energia renovável, o estímulo à sua expansão em sistemas convencionais de cultivo exige análises detalhadas quanto aos impactos sobre os sistemas biogeoquímicos e hidrológicos, especialmente em função do uso dos recursos naturais (BONIN; LAL, 2012).

Para alcançar elevada produtividade, a cultura da mamona demanda manejo adequado da fertilidade do solo e da adubação. Embora apresente boa capacidade de adaptação a diferentes tipos de solos, trata-se de uma cultura exigente em relação à fertilidade do solo (SILVA *et al*., 2011). Entre os macronutrientes, o nitrogênio apresenta papel de destaque, uma vez que sua deficiência foi identificada como a principal restrição à produção de massa seca de plantas de mamona da variedade Iris (LAVRES JUNIOR et al., 2005).

O nitrogênio é um macronutriente essencial às plantas, constituindo componente de diversas estruturas vegetais, como proteínas e aminoácidos, além de participar da fotossíntese e de diversos processos bioquímicos fundamentais ao crescimento e desenvolvimento vegetal (MARSCHNER, 2002; RAMOS, 2020). Dessa forma, a disponibilidade adequada desse elemento exerce influência direta sobre o desenvolvimento e a produtividade das culturas.

Embora a adubação nitrogenada seja fundamental para o desenvolvimento vegetal e para a produtividade agrícola, a intensificação do uso de fertilizantes nitrogenados em solos agrícolas tem gerado impactos econômicos e ambientais negativos (WANG *et al*., 2022). O uso excessivo desses fertilizantes pode promover a eutrofização de ambientes aquáticos, a poluição atmosférica, a acidificação e a degradação dos solos, entre outros impactos (JU *et al*., 2009). Assim, torna-se relevante avaliar fontes de fertilizantes nitrogenados e estratégias de uso que possibilitem atender às exigências nutricionais das culturas, reduzindo potenciais impactos ambientais.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de plantas de mamona na fase inicial de desenvolvimento submetidas à fertilização com diferentes fontes de sulfato de amônio.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

A mamoneira (*Ricinus communis* L.) é uma espécie oleaginosa de origem africana pertencente à família Euphorbiaceae (YEBOAH *et al*., 2020). É uma planta xerófita e heliófita, distribuída em diversas regiões devido à sua elevada capacidade de adaptação (AZEVEDO *et*

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.

al., 2007). Apresenta porte variável, de herbáceo a arbustivo, com ciclo anual a semiperene, produzindo sementes com elevada capacidade de produção de óleo.

Devido às suas características fisiológicas, a mamona é recomendada para cultivo em regiões áridas e semiáridas, caracterizadas por reduzidas precipitações e elevadas taxas de evapotranspiração (SANTOS *et al*., 2016). Sua capacidade de adaptação a condições ambientais adversas contribui para a expansão do cultivo em regiões nas quais outras culturas apresentam maiores limitações de desenvolvimento.

Apesar de sua capacidade de adaptação a diferentes condições edafoclimáticas, a mamoneira apresenta elevada exigência em relação à fertilidade do solo, sendo necessário um manejo adequado da adubação para alcançar níveis satisfatórios de desenvolvimento e produtividade (SILVA *et al*., 2011).

Entre os macronutrientes, o nitrogênio destaca-se como um dos elementos de maior importância para o desenvolvimento da cultura. Lavres Junior et al. (2005), ao avaliarem o cultivo da variedade Iris, verificaram que a deficiência de nitrogênio foi a principal restrição à produção de massa seca das plantas de mamona.

Segundo Nakagawa (1971), a cultura da mamona pode extrair do solo aproximadamente 156 kg ha^{-1} de nitrogênio, evidenciando sua elevada demanda por esse elemento. Koutroubas *et al*. (2020) relatam que, para a produção de 2,0 t ha^{-1} de grãos, a planta absorve aproximadamente 80 kg ha^{-1} de N, reforçando a importância do fornecimento adequado desse nutriente para a cultura.

As plantas de mamona respondem à adubação nitrogenada e apresentam elevada capacidade de translocação do nitrogênio para os tecidos vegetais. A disponibilidade reduzida desse elemento pode comprometer o crescimento e a frutificação das plantas (CAVALCANTE *et al*., 2020; SANTOS *et al*., 2004).

A utilização de fertilizantes químicos foi responsável por importante incremento da produtividade agrícola ao longo do século XX, sendo estimado um aumento de aproximadamente 50% associado ao seu uso (YOUSAF *et al*., 2017). Esses ganhos de produtividade podem ser potencializados pelo aumento da eficiência de absorção dos nutrientes mediante a adoção de técnicas adequadas de manejo da fertilização (ZHOU *et al*., 2021).

O nitrogênio é classificado como um macronutriente essencial para as plantas e constitui componente de diversas estruturas vegetais, incluindo proteínas e aminoácidos. Além disso, participa da fotossíntese e de diversos processos bioquímicos fundamentais, contribuindo para o crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas (MARSCHNER, 2002; RAMOS, 2020).

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.

Apesar dos benefícios proporcionados pelo nitrogênio ao desenvolvimento das culturas, a intensificação do uso de fertilizantes nitrogenados em áreas agrícolas tem provocado impactos econômicos e ambientais negativos (WANG *et al*., 2022). A aplicação excessiva desses fertilizantes pode favorecer processos de eutrofização de ambientes aquáticos, poluição atmosférica, acidificação e degradação dos solos, entre outros impactos (JU *et al*., 2009).

Por outro lado, apesar dos impactos associados ao manejo inadequado, o nitrogênio permanece como um dos principais elementos minerais limitantes ao crescimento e à produtividade das culturas agrícolas (ANAS *et al*., 2020). Dessa forma, o manejo adequado da adubação nitrogenada constitui uma estratégia fundamental para conciliar o fornecimento desse nutriente às necessidades das plantas e a redução dos impactos ambientais associados ao seu uso.

O sulfato de amônio constitui uma das principais fontes de fertilizante nitrogenado utilizadas no Brasil. Além de apresentar menores perdas de nitrogênio por volatilização e lixiviação, possui menor índice salino e constitui importante fonte de enxofre para as plantas. Apesar dessas características favoráveis relacionadas ao fornecimento de nutrientes minerais, a aplicação do sulfato de amônio pode promover a acidificação do solo em decorrência das reações que ocorrem após sua aplicação. Dessa forma, a avaliação do comportamento dessa fonte de nitrogênio sob diferentes condições de cultivo é importante para determinar seus efeitos sobre o desenvolvimento das plantas e subsidiar estratégias mais eficientes de manejo da fertilização.

2. METODOLOGIA

2.1. Preparação dos sulfatos de amônio

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 avaliadas três fontes de sulfato de amônio, aplicadas ao substrato, visando avaliar o desenvolvimento inicial da cultura da mamona (*Ricinus communis* 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 coleta de baterias veiculares usadas que retornam para reciclagem. Devido à elevada contaminação por chumbo, o ácido 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.

filtrado em filtro de celulose, obtendo-se uma solução de 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 à reação do ácido sulfúrico residual com a amônia comercial. Adicionaram-se 200 mL de amônia comercial 5,8% em um béquer de 500 mL, aplicando lentamente o ácido sulfúrico residual. 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 quando ocorreu uma mudança da coloração amarelo-alaranjada para transparente, viragem verificada com a aplicação de 180 mL de ácido sulfúrico. Neste momento, a adição do ácido foi interrompida e a solução de sulfato de amônio foi colocada para secar em estufa a 75 °C por 72 horas.

A preparação do terceiro fertilizante, sulfato de amônio, foi realizada pela reação entre o ácido sulfúrico residual de baterias automotivas, preparado conforme descrito anteriormente, e o licor de amônia gerado na coqueria da siderúrgica Usiminas, localizada no município de Ipatinga, Minas Gerais.

O licor de amônia coletado na empresa apresentou concentração de amônia de 11%. De maneira semelhante à reação descrita anteriormente, foram adicionados, em um béquer com capacidade de 500 mL, 200 mL de licor de amônia. Em seguida, o ácido sulfúrico residual proveniente de baterias automotivas foi adicionado lentamente à solução, totalizando 450 mL até o ponto de viragem. A adição foi realizada de forma gradual, permitindo o acompanhamento visual da evolução da reação química entre os componentes utilizados. A reação foi considerada completa quando a solução apresentou alteração da coloração amarelo-alaranjada inicialmente observada para uma coloração transparente, indicando o término da reação e a formação do sulfato de amônio.

Após a conclusão da reação química, a solução de sulfato de amônio produzida, denominada sulfato de amônio Usiminas (SAU), foi acondicionada para o processo de secagem. O material foi colocado em estufa, mantida à temperatura de 75 °C, onde permaneceu durante 72 horas. Esse procedimento teve como finalidade promover a remoção da água presente na solução e possibilitar a obtenção do fertilizante na forma sólida, facilitando posteriormente seu armazenamento, pesagem e utilização nos ensaios experimentais.

Após o período de secagem, foram formados cristais de coloração branco-transparente, característicos do material obtido ao final do processo. Os cristais formados foram fragmentados manualmente, com o objetivo de reduzir o tamanho das partículas e facilitar o seu manejo durante

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 etapas posteriores de pesagem, preparação e aplicação. Dessa forma, após a secagem e a fragmentação dos sulfatos de amônio produzidos em laboratório, os materiais obtidos foram individualmente pesados em balança de precisão, garantindo maior controle da quantidade utilizada nas etapas subsequentes. Posteriormente, os materiais foram solubilizados em água destilada, sendo preparada uma solução na concentração de 35,0 gramas por litro.

Após a preparação dos materiais e das respectivas soluções, amostras dos sulfatos de amônio produzidos em laboratório foram retiradas para a realização das análises químicas. As análises tiveram como finalidade determinar os teores de enxofre e nitrogênio presentes nos materiais obtidos, além de verificar a presença e os teores de possíveis contaminantes decorrentes das matérias-primas utilizadas no processo de produção. Os resultados obtidos a partir das análises químicas dos sulfatos de amônio produzidos em laboratório e o comercial encontram-se apresentados 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 (SAU)	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.

2.2. Ensaio com a cultura da mamona

No ensaio dos fertilizantes foi utilizada a cultura da mamona (*Ricinus communis* L.). Foram utilizados 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 7,62 g/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).

Os tratamentos utilizados no experimento foram: Testemunha (0 kg/ha) e doses de 20, 40, 60, 80, 100 e 120 kg de N/ha dos fertilizantes nitrogenados à base de sulfato de amônio. Os fertilizantes foram aplicados nos substratos através de soluções preparadas com água destilada. As quantidades das soluções aplicadas nos substratos foram calculadas de acordo com a

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.

concentração da preparação e do volume de substrato nos vasos. Neste caso, a cada 1,0 mL aplicado no substrato da solução com sulfato de amônio correspondeu a 10 kg 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 1,0 hectare, correspondendo ao volume de 2.000 m^3 e o volume dos vasos de 300 cm^3.

Após a aplicação das soluções nos vasos foi semeada a mamona. Foram semeadas sete sementes por vaso seguido da irrigação com 50 mL de água. Após a germinação foi realizado 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 por um período de 35 dias. Após este período, as plantas foram avaliadas para determinação do diâmetro do caule na região do coleto, altura das plantas até a inserção do meristema apical e a taxa fotossintética das plantas avaliadas nas duas folhas adultas totalmente expandidas. Após essas avaliações, as plantas foram coletadas e foi realizado o corte na região do coleto e imediatamente pesadas em balança de precisão para determinação do peso úmido da parte aérea.

As raízes foram retiradas do substrato através de lavagem lenta em água corrente para retirada de todo o agregado de solo. Após a retirada das raízes, elas foram mantidas por seis horas à sombra para perda do excesso de umidade da água da lavagem. Em seguida foram pesadas para determinação do peso úmido.

As variáveis analisadas das plantas foram: peso úmido da parte aérea, peso úmido das raízes, peso úmido total das plantas, relação do peso úmido da parte aérea/raiz, diâmetro do caule, altura das plantas e taxa fotossintética das folhas. O esquema experimental utilizado foi um fatorial 3x7 com o primeiro fator sendo os três fertilizantes nitrogenados (SAC, SAAC e SAU) e o segundo fator as dosagens testadas (0, 20, 40, 60, 80, 100 e 120 kg de N/ha). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com quatro repetições. Foi utilizada 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 obtidos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise dos fatores, fontes de nitrogênio e doses aplicadas, bem como de suas interações, indicam diferenças estatisticamente significativas para algumas variáveis fitotécnicas avaliadas na cultura da mamona, conforme apresentado na Tabela 2.

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.

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

	Altura das Plantas	P. úmido parte aérea	P. úmido raiz	P. úmido total	Taxa fotossintética	Diâmetro do caule	Relação p.aérea/raiz
Fontes de N	22,48ns	1,29ns	0,025**	1,67*	13,60ns	0,090ns	466,35**
Doses	12,79ns	0,63ns	0,025**	0,50ns	189,82**	0,040ns	743,89**
Fontes *x* doses	16,28ns	0,51ns	0,005ns	1,05ns	20,13ns	0,105ns	77,52ns

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

Na Figura 1 são apresentados os resultados obtidos entre cada um dos fatores testados e as tendências de comportamento das plantas de mamona. Na Figura 1A, em relação ao peso úmido da parte aérea das plantas, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre as fontes de sulfato de amônio testadas, independentemente da dose aplicada no substrato. Apesar da não significância, verifica-se uma tendência de as plantas apresentarem melhores resultados com o tratamento utilizando sulfato de amônio produzido em laboratório com amônia comercial (SAAC), aproximadamente 19% superior aos resultados obtidos com o tratamento utilizando sulfato de amônio comercial P.A. (SAC).

O comportamento da parte aérea das plantas apresentou desempenho intermediário em relação ao SAAC e SAC quando foi utilizado o sulfato de amônio desenvolvido com amônia residual da indústria siderúrgica (SAU). Os resultados obtidos na avaliação das doses dos fertilizantes corroboram as informações de Kalhapure *et al*. (2020) e Jat e Desai (2020), indicando que algumas pesquisas demonstraram que adubações com nitrogênio, fósforo e enxofre não promoveram alterações na produtividade de alguns genótipos de mamona. Considerando que cada situação experimental é específica, Silva *et al*. (2007) obtiveram resultados distintos com aumentos significativos nos parâmetros de crescimento e produtividade da mamona com as doses registradas de 120 kg de N/ha.

Quando analisadas as doses dos fertilizantes nitrogenados utilizados, independentemente da fonte de nitrogênio, novamente observa-se tendência de comportamento do desenvolvimento da parte aérea das plantas de mamona com acréscimos de valores nas menores doses aplicadas de fertilizantes e queda na produção de massa úmida nas maiores doses utilizadas.

Na avaliação do peso úmido das raízes (Figura 1B) foram observadas diferenças significativas entre os níveis dos fatores avaliados (fontes de sulfato de amônio e doses aplicadas). Entre as fontes de sulfato de amônio avaliadas, o pior desempenho médio foi obtido com a utilização do SAC em comparação aos tratamentos SAU e SAAC com diferenças 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.

valores da ordem de 30%. Em relação às doses de fertilizantes nitrogenados aplicadas, verificam-se quedas significativas na massa úmida das raízes da mamona à medida que se aumentava a dose aplicada no substrato. Neste caso, o desempenho do desenvolvimento das raízes das plantas foi superior no tratamento testemunha (0 kg de N/ha) em relação às doses aplicadas de sulfato de amônio no substrato a partir da dose de 80 kg de N/ha até a dose máxima (120 kg de N/ha), com quedas na produção de massa úmida das raízes da ordem de 60%.

Em relação ao peso úmido total das plantas (Figura 1C), verificou-se um melhor desempenho total das plantas com a utilização de sulfato de amônio produzido com amônia comercial (SAAC) em relação ao sulfato de amônio comercial (SAC). As plantas desenvolvidas com a utilização de sulfato de amônio produzido com amônia residual da siderurgia (SAU) não diferiram das demais fontes. Quanto às doses aplicadas nos substratos, as plantas apresentaram desempenhos estatisticamente iguais, incluindo o tratamento testemunha (0 kg de N/ha). Este resultado pode ser explicado pelo comportamento das raízes que reduziram a massa vegetativa com o aumento das doses dos fertilizantes nitrogenados aplicados.

Na Figura 1D são apresentados os resultados da relação massa úmida da parte aérea e da raiz das plantas de mamona. Para essa variável, foram observadas diferenças significativas entre os fatores avaliados. O valor da relação parte aérea/raiz no tratamento utilizando o fertilizante SAC foi de aproximadamente 30/1, estatisticamente superior aos dos tratamentos SAU e SAAC, com valores entre 20/1 e 23/1. Conforme observado nas figuras anteriores, estes valores foram obtidos devido à maior redução de produção da massa úmida das raízes, considerando que a massa úmida da parte aérea não apresentou diferenças entre os tratamentos.

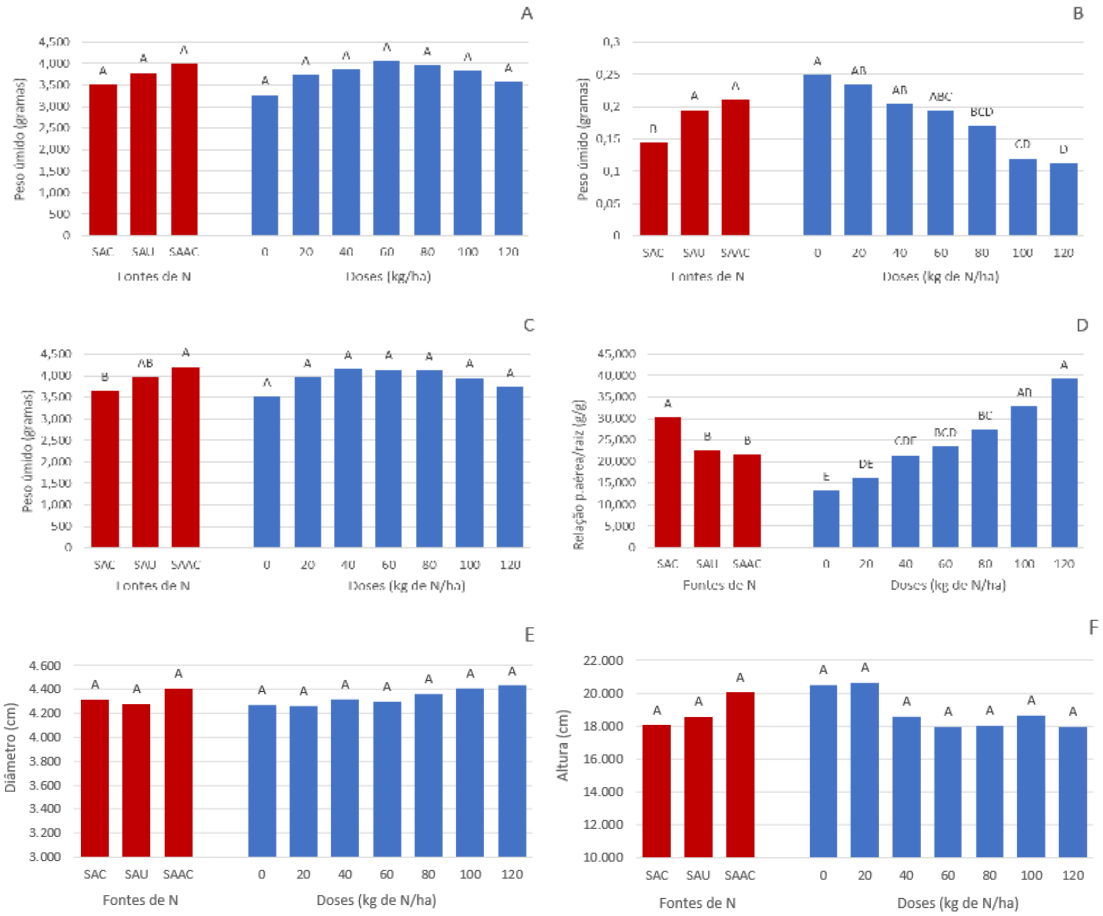
Em relação às doses dos fertilizantes aplicados, a distinção dos resultados da relação parte aérea/raiz fica mais evidente no tratamento testemunha (0 kg de N/ha), onde a relação apresentou valores próximos a 13/1, enquanto na dose mais elevada dos fertilizantes (120 kg de N/ha) os valores da relação atingiram aproximadamente 39/1, correspondendo a um aumento de 200% em relação ao tratamento testemunha, confirmando um efeito mais intenso dos fertilizantes no sistema radicular das plantas em relação à parte aérea observado neste ensaio em ambiente controlado.

Nas variáveis diâmetro do caule e altura das plantas (Figuras 1E e 1F), não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos. Isso provavelmente ocorreu devido ao curto período experimental e ao cultivo em vasos, que restringiu o crescimento vegetativo. Nos ensaios de campo, Cavalcante *et al*. (2020) e Araújo *et al*. (2009) observaram aumentos na altura das plantas de mamona em 10,21% com a variação da dose

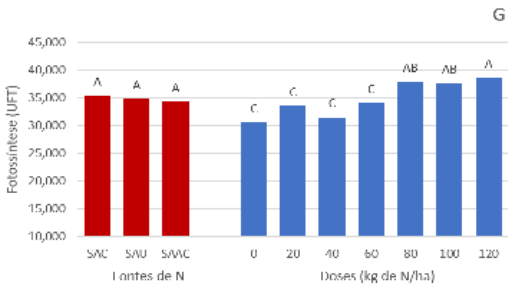
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

de nitrogênio de 50 para 200 kg/ha. Neste ensaio em ambiente controlado, até a dose de 120 kg de N/ha não foram observadas diferenças significativas no desempenho das plantas.

Figura 1. Avaliação fitotécnica das plantas de mamona em relação aos fatores avaliados. A: Peso úmido da parte aérea das plantas; B: Peso úmido das raízes; C: Peso úmido total; D: Relação parte aérea/raiz; E: Diâmetro do caule das plantas; F: Altura das plantas; G: Taxa fotossintética das plantas de mamona.



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.



Em relação à taxa fotossintética das plantas (Figura 1G), novamente não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os fertilizantes nitrogenados utilizados, independentemente das doses. No caso das doses aplicadas no solo, verificou-se um desempenho estatisticamente superior desta variável com a aplicação dos fertilizantes a partir da dose de 80 kg de N/ha até a dose máxima aplicada (120 kg de N/ha), com as menores doses dos fertilizantes não promovendo diferenças estatísticas significativas em relação ao tratamento testemunha (0 kg de N/ha) para a taxa fotossintética das folhas.

Na Figura 2 são apresentados os resultados do comportamento de cada fertilizante nitrogenado em suas respectivas doses avaliadas. Na Figura 2A verifica-se o comportamento das curvas de regressão em relação ao peso úmido da parte aérea das plantas de mamona. O tratamento SAAC promoveu um excelente desempenho das plantas nas doses aplicadas em torno de 40 kg de N/ha com acréscimos na produção das plantas da ordem de 40% em relação ao tratamento testemunha. A partir da aplicação de 60 kg de N/ha, a produtividade da parte aérea das plantas reduz até a dose máxima aplicada no solo de 120 kg de N/ha, mas permanecendo acima dos valores obtidos no tratamento testemunha.

Em relação ao fertilizante nitrogenado SAU, os ganhos da parte aérea das plantas foram contínuos até a dose de 100 kg de N/ha com uma leve queda na aplicação da dose máxima testada. O máximo de produção obtido foi 20% superior ao tratamento testemunha (0 kg de N/ha). Os ganhos com o fertilizante nitrogenado SAC foram reduzidos com ganhos máximos de massa de aproximadamente 10% em relação ao tratamento testemunha com a aplicação de 80 kg de N/ha e quedas significativas na dose máxima aplicada (120 kg de N/ha).

A análise de eficiência de utilização do nitrogênio é um indicador de potencial de aproveitamento do nutriente em ambientes de cultivo, importante na avaliação da produção agrícola (MALINAŞ et al., 2022). Estes índices são determinados pela quantidade de fertilizante utilizada, associada a parâmetros das plantas como biomassa e produtividade (ZHANG *et al.*, 2021). Conforme ocorreu no desenvolvimento da parte aérea das plantas neste ensaio, principalmente com a utilização do fertilizante SAAC, alguns autores citam que a maior eficiência

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.

agronômica dos fertilizantes ocorre em taxas de aplicação mais baixas (DAVIES *et al*., 2020). Severino *et al*. (2006) e Marinho *et al*. (2010) obtiveram resultados específicos onde a aplicação de nitrogênio entre 100 e 130 kg de N/ha não promoveu efeitos significativos no desenvolvimento das plantas de mamona. Severino et al. (2012) descrevem que a fertilização nitrogenada excessiva deve ser evitada, pois estimula o crescimento vegetativo excessivo, atrasando a maturação das plantas.

Em relação ao peso úmido das raízes (Figura 2B), a queda na produtividade foi observada em todos os fertilizantes utilizados com o aumento contínuo das doses, mas de forma mais intensa no tratamento SAC com redução próxima a 70% na maior dose do fertilizante nitrogenado aplicado. Nos tratamentos SAU e SAAC a queda na produção da massa úmida das raízes foi menos intensa nas menores doses dos fertilizantes, mas se intensificando nas maiores doses até os 120 kg de N/ha, onde a redução máxima atingiu proporções entre 40 e 60% em comparação à massa úmida das raízes na dose 0 kg de N/ha. Este comportamento das raízes ocorreu nas doses mais baixas de nitrogênio, provavelmente devido ao ambiente restritivo dos vasos, que tornou o elemento facilmente disponível às raízes das plantas não sendo necessário maior investimento de fotoassimilados nessa estrutura vegetal com a planta focando na distribuição dos fotoassimilados pela parte aérea. Nas doses mais elevadas, como ocorreu também a queda da produção da massa úmida da parte aérea das plantas, pode-se concluir que ocorreu um efeito tóxico.

A modulação da absorção de nitrogênio pelas plantas é influenciada pela morfologia radicular (IGIEHON; BABALOLA, 2018), sendo as perdas reduzidas no campo por plantas que apresentam rápido crescimento radicular (ANAS *et al*., 2020). Como as raízes se desenvolveram em ambiente confinado e o nitrogênio estava totalmente à disposição, as plantas não demandaram um sistema radicular volumoso para a absorção de nutrientes. Isso justifica a redução do crescimento das raízes com o aumento da dose de nitrogênio aplicada ao substrato.

No comportamento do peso úmido total das plantas de mamona (Figura 2C), observa-se um efeito mais significativo da massa total da parte aérea que produziu mais massa úmida em relação às raízes. Novamente, verifica-se o melhor desempenho das plantas fertilizadas com SAAC nas dosagens em torno de 40 kg de N/ha seguido de queda contínua até a dose máxima aplicada no substrato. Com a utilização do fertilizante SAU, os ganhos de massa total das plantas foram menores em relação ao SAAC, mas contínuos com o aumento da dose aplicada. A maior produção de massa das plantas foi atingida nas dosagens entre 60 e 100 kg de N/ha com valores aproximadamente 20% superiores à dosagem de 0 kg de N/ha. Com a utilização do fertilizante nitrogenado SAC praticamente não foram observados ganhos de massa úmida 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.

e com redução de massa a partir da dosagem de 80 kg de N/ha até a dose máxima, inclusive com valores abaixo dos obtidos na dose 0 kg de N/ha, indicando sinais de intoxicação.

Na relação massa úmida da parte aérea/massa úmida do sistema radicular, o comportamento dos tratamentos foi linear para as doses dos fertilizantes nitrogenados testados (Figura 2D). Sem a aplicação dos fertilizantes (0 kg de N/ha) o valor observado estava entre 11/1 e 15/1. No tratamento utilizando fertilizante SAC, a relação aumenta de forma mais intensa com o aumento das doses aplicadas no substrato, atingindo valor de relação próximo a 50/1, que ocorreu devido ao reduzido desenvolvimento da parte aérea e à redução da produção da massa úmida das raízes que, por sua vez, ocorreu de forma intensa com o aumento da dosagem aplicada no solo do SAC. O aumento da relação parte aérea/raiz com a aplicação dos fertilizantes SAU e SAAC também ocorreu, mas de forma menos intensa atingindo, na dose máxima testada dos fertilizantes (120 kg de N/ha) valores próximos a 30/1. Os resultados de menores valores destes tratamentos ocorreram devido às respostas positivas da parte aérea das plantas e ao menor impacto na redução do desenvolvimento das raízes.

Lavres Junior *et al*. (2009), avaliando o desenvolvimento da mamona em solução nutritiva, observaram que a ausência de nitrogênio na solução limitou a produção de massa seca total das plantas em 68%. Também foi observada uma relação parte aérea/raiz próxima a 1/1, enquanto com as doses mais elevadas de nitrogênio na solução esta relação elevou para 1,6/1, indicando os ganhos da parte aérea das plantas com a presença deste elemento. Segundo Andrews *et al*. (1999) e Fageria *et al.* (2006), deve-se considerar o equilíbrio de alocação e partição do nitrogênio e do carbono entre a parte aérea e a raiz, processo que prioriza o desenvolvimento da parte aérea quando as condições são favoráveis ao crescimento vegetal e à atividade fotossintética, conforme ocorreu neste experimento.

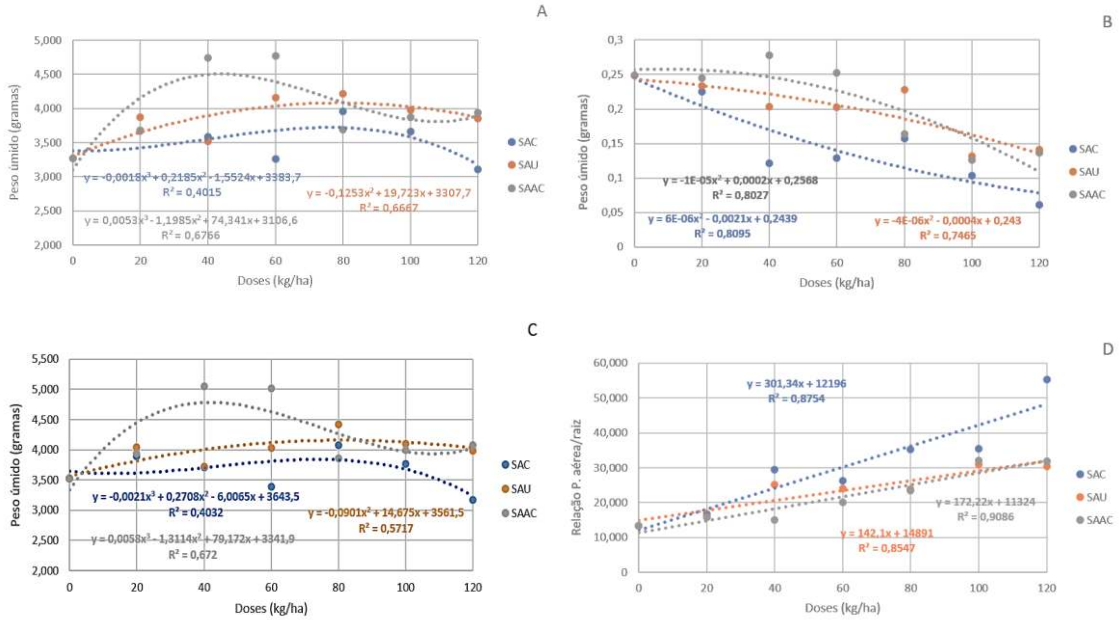
Em relação ao diâmetro do caule das plantas (Figura 2E), as correlações obtidas foram fracas, mas indicaram uma tendência de aumento do diâmetro do caule com o aumento das doses aplicadas dos fertilizantes nitrogenados SAC e SAAC, resultado que não foi observado no tratamento SAU. As plantas também não apresentaram qualquer indício de crescimento em altura em relação aos fertilizantes nitrogenados utilizados com suas respectivas doses. Segundo Nadarajan e Sukumaran (2021), a fertilização excessiva pode prejudicar o crescimento das culturas, sendo as plantas mais susceptíveis ao crescimento excessivo e ao acamamento (PLAZA-WÜTHRICH *et al.*, 2016), fato que não ocorreu neste ensaio provavelmente devido ao ambiente restrito de substrato, que limitou o crescimento mais vigoroso e à iluminação artificial direta, limitando a observação de efeitos no crescimento das plantas (Figura 2F). Considerando

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.

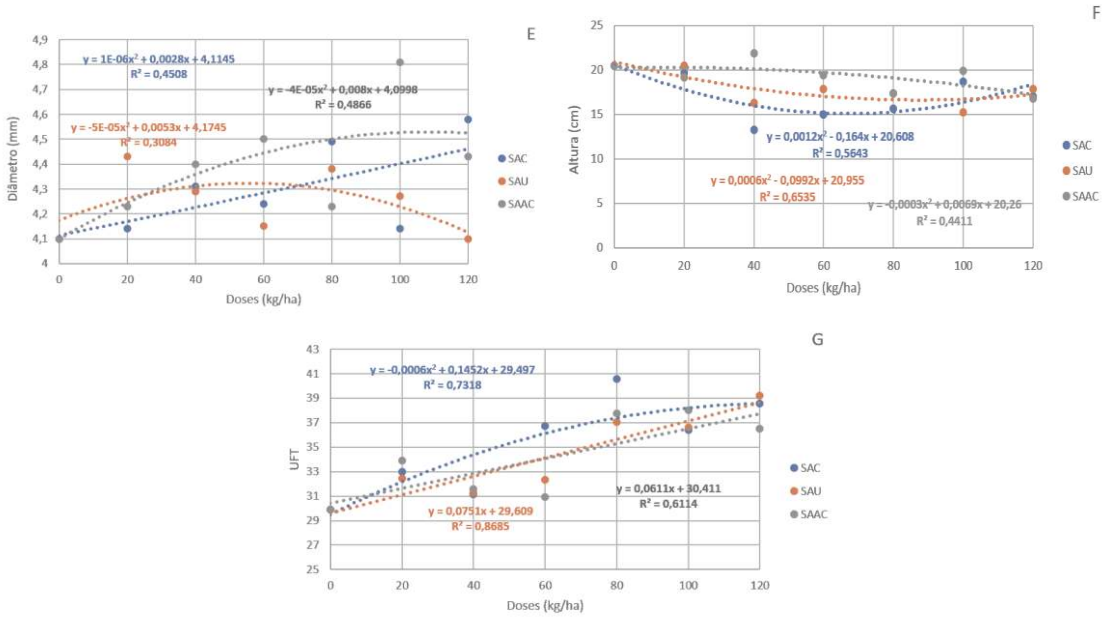
os ensaios de campo, Jamil *et al*. (2017) verificaram que a altura das plantas de mamona foi significativamente maior com o aumento das doses de nitrogênio aplicadas nos sulcos de plantio.

Como esperado, o aumento das doses dos fertilizantes nitrogenados aplicados aos substratos promoveu elevação contínua da taxa fotossintética das folhas, atingindo os maiores valores na dose máxima avaliada (Figura 2G). Na ausência de aplicação de nitrogênio (0 kg de N/ha), os valores da taxa fotossintética foram próximos de 30 unidades. Com o aumento das doses, esses valores se elevaram, atingindo aproximadamente 38 a 39 unidades na dose de 120 kg de N/ha, o que corresponde a um incremento médio de cerca de 30%. Os resultados indicam que o aumento das doses de nitrogênio não comprometeu diretamente o aparato fotossintético das plantas nas condições avaliadas, sugerindo que os efeitos negativos das maiores doses podem ter ocorrido sobre outros processos fisiológicos relacionados ao desenvolvimento vegetal.

Figura 2. Avaliação fitotécnica das plantas de mamona. A: Peso úmido da parte aérea; B: Peso úmido das raízes; C: Peso úmido total das plantas; D: Relação parte aérea/raiz; E: Diâmetro do caule na região do coleto; F: Altura das plantas do coleto ao meristema apical; G: Taxa fotossintética das folhas



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.



Estes resultados são confirmados por Pashazadeh e Başalma (2012), que observaram que o aumento do nível de nitrogênio eleva o teor de clorofila e, consequentemente, a atividade fotossintética da planta e sua biomassa. Apesar dos resultados obtidos neste ensaio, Calcagno *et al*. (2023) obtiveram resultados distintos verificando que a disponibilidade de nitrogênio no solo não afetou a taxa fotossintética das plantas de mamona, provavelmente devido à existência prévia de nitrogênio no solo, diferentemente deste ensaio onde o substrato foi areia lavada sem presença de nitrogênio.

A aplicação desbalanceada e indiscriminada dos fertilizantes compromete o desempenho das culturas, além de elevar os riscos de contaminação ambiental (JAT; DESAI, 2020). Ensaios desenvolvidos em ambientes controlados podem apresentar resultados completamente distintos dos ensaios de campo sob influência direta dos fatores edafoclimáticos. Por exemplo, Glass (2003) obteve resultados distintos dos obtidos neste ensaio. O autor constatou que a aplicação de 90 kg de N/ha melhorou o crescimento vegetativo e o desenvolvimento radicular das plantas de mamona, resultando em uma maior absorção de nutrientes e altura das plantas.

Cavalcante *et al*. (2020) obtiveram resultados positivos no desenvolvimento das plantas de mamona incluindo altura, diâmetro do caule, número de folhas e área foliar até a dose aplicada de 200 kg de N/ha, diferentemente dos resultados obtidos neste ensaio onde a dose de 120 kg de N/ha aplicada no substrato já demonstrava efeito de toxidez nas plantas de mamona. Segundo

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.

Crusciol *et al*. (2007), a eficiência da adubação nitrogenada na cultura da mamona é reduzida, tornando o manejo de aplicação deste elemento na cultura um dos mais complexos (SANTOS *et al*., 2003). Essas informações são corroboradas por outros autores, que descrevem que, na prática, existe uma dificuldade em determinar a quantidade de nitrogênio aplicada e sua época de aplicação na cultura da mamona, principalmente nos períodos de baixa pluviosidade, fato que não ocorreu neste ensaio considerando a irrigação frequente dos vasos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos em ambiente controlado, conclui-se que os efeitos da aplicação dos fertilizantes nitrogenados foram mais intensos sobre o sistema radicular das plantas de mamona, com redução progressiva da massa úmida das raízes à medida que aumentaram as doses aplicadas. Esse efeito foi refletido no aumento da relação parte aérea/raiz, especialmente nas maiores doses, evidenciando maior sensibilidade do sistema radicular à aplicação dos fertilizantes nas condições avaliadas.

Em relação ao desenvolvimento da parte aérea, o sulfato de amônio produzido com amônia comercial e ácido sulfúrico residual de baterias automotivas (SAAC) apresentou o melhor desempenho, com maior produção de massa nas doses intermediárias. O sulfato de amônio produzido com amônia residual da indústria siderúrgica (SAU) também apresentou resposta positiva, enquanto o sulfato de amônio comercial P.A. (SAC) apresentou menor desempenho, com redução da massa úmida nas maiores doses e sinais de toxidez na dose de 120 kg de N/ha. Os resultados indicam, portanto, o potencial das fontes produzidas a partir de resíduos industriais para o fornecimento de nitrogênio à cultura da mamona, embora a resposta seja dependente da dose aplicada.

A aplicação dos fertilizantes nitrogenados promoveu aumento da taxa fotossintética, principalmente a partir de 80 kg de N/ha, enquanto não foram observadas diferenças significativas no diâmetro do caule e na altura das plantas. Esses resultados estão associados, provavelmente, às condições restritivas do cultivo em vasos e ao período reduzido de desenvolvimento. Dessa forma, embora os resultados indiquem comportamento favorável das fontes alternativas avaliadas, são necessários estudos em condições de campo para confirmar sua eficiência agronômica e estabelecer doses adequadas para a cultura da mamona.

REFERÊNCIAS

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.

ANAS, M.; LIAO, F.; VERMA, K. K.; SARWAR, M. A.; MAHMOOD, A.; CHEN, Z-L.; LI, Q.; ZENG, X-P.; LIU, Y.; LI, Y-R. Fate of nitrogen in agriculture and environment: agronomic, eco-physiological and molecular approaches to improve nitrogen use efficiency. Biological Research, v. 53, n. 1, p. 1-20, 2020. https://doi.org/10.1186/s40659-020-00312-4.

ANDREWS, M. Relationships between shoot to root ratio, growth and leaf soluble protein concentration of *Pisum sativum*, *Phaseolus vulgaris* and *Triticum aestivum* under different nutrient deficiencies. Plant, Cell and Environment, v. 22, n. 8, p. 949-958, 1999.

ANJANI, K. Castor genetic resources: a primary gene pool for exploitation. Industrial Crops and Products, v. 35, p. 1-14, 2012.

ARAÚJO, D. L. de; CHAVES, L. H. G.; MESQUITA, E. F. de; FRANÇA, C. P. Crescimento da mamoneira cultivar BRS-149 Nordestina adubada com nitrogênio, fósforo e potássio. Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia, v. 6, p. 685-702, 2009.

AZEVEDO, D. M. P. de; BELTRÃO, N. E. de M.; BATISTA, F. A. S.; LIMA, E. F. Arranjo de fileiras no consórcio de mamona-milho. Campina Grande: EMBRAPA Algodão, 2007. 21 p. (Boletim de Pesquisa, 34).

AZEVEDO, D. M. P. de; LIMA, E. F. (ed.). O agronegócio da mamona no Brasil. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2001. 350 p.

BONIN, C.; LAL, R. Agronomic and ecological implications of biofuels. In: Advances in Agronomy. [S. l.]: Academic, 2012. p. 1-50.

CALCAGNO, S.; PICCITTO, A.; PATANÈ, C.; COSENTINO, S. L.; TESTA, G. Effects of nitrogen fertilization and soil water content on seed and oil yield in perennial castor in a Mediterranean environment. Agronomy, v. 13, p. 1070, 2023. https://doi.org/10.3390/agronomy13041070.

CAVALCANTE, A. R.; LIMA, W. B.; CHAVES, L. H. G.; FERNANDES, J. D.; SOUZA, F. G.; SILVA, S. A. Mineral fertilization with macronutrients in castor bean, lineage UFRB 222. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 24, n. 2, p. 106-114, 2020.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; SILVA, L. M.; LEMOS, L. B. Fontes e doses de nitrogênio para o feijoeiro em sucessão a gramíneas no sistema plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1545-1552, 2007.

DAVIES, B.; COULTER, J. A.; PAGLIARI, P. H. Timing and rate of nitrogen fertilization influence maize yield and nitrogen use efficiency. PLoS One, v. 15, n. 5, e0233674, 2020. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233674.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; CLARK, R. B. Physiology of crop production. New York: Food Products Press, 2006. 345 p.

GLASS, A. D. M. Nitrogen use efficiency of crop plants: physiological constraints upon nitrogen absorption. Critical Reviews in Plant Sciences, v. 22, p. 453-470, 2003.

IGIEHON, N. O.; BABALOLA, O. O. Rhizosphere microbiome modulators: contributions of nitrogen fixing bacteria towards sustainable agriculture. International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 15, n. 4, p. 574, 2018. https://doi.org/10.3390/ijerph15040574.

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.

JAMIL, M.; HUSSAIN, S. S.; QURESHI, M. A.; MEHDI, S. M.; NAWAZ, M. Q. Impact of sowing techniques and nitrogen fertilization on castor bean yield in salt affected soils. The Journal of Animal and Plant Sciences, v. 27, n. 2, p. 451-456, 2017.

JAT, A. L.; DESAI, A. G. Growth, productivity behavior and economics of castor (*Ricinus communis* L.) hybrids as influenced by different fertility levels under north Gujarat agro-climatic region. Annals of Arid Zone, v. 59, n. 3-4, p. 101-105, 2020.

JU, X. T.; XING, G. X.; CHEN, X. P. et al. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 106, p. 3041-3046, 2009.

KALHAPURE, A.; SINGH, V. P.; KUMAR, R.; PANDEY, D. S.; SINGH, S. Influence of tillage and nutrient management on productivity and profitability of wheat (*Triticum aestivum*). Indian Journal of Agronomy, v. 65, n. 1, p. 61-67, 2020.

KEERA, S. T.; EL SABAGH, S. M.; TAMAN, A. R. Castor oil biodiesel production and optimization. Egyptian Journal of Petroleum, v. 27, p. 979-984, 2018.

KOUTROUBAS, S. D.; PAPAKOSTA, D. K.; DOITSINIS, A. Intraspecific variation within castor bean (*Ricinus communis* L.) based on morphological traits and seed yield. Industrial Crops and Products, v. 150, p. 112345, 2020.

LAVRES JUNIOR, J.; BOARETTO, R. M.; SILVA, M. L. S.; CORREIA, D.; CABRAL, C. P.; MALAVOLTA, E. Deficiências de macronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar Íris. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 40, n. 2, p. 145-151, 2005.

LAVRES JUNIOR, J.; NOGUEIRA, T. A. R.; CABRAL, C. P.; MALAVOLTA, E. Deficiências de macronutrientes no crescimento e na produção da mamoneira cultivar Iris. Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 4, n. 4, p. 405-413, 2009. https://doi.org/10.5039/agraria.v4i4a6.

MALINAŞ, A.; VIDICAN, R.; ROTAR, I.; MALINAŞ, C.; MOLDOVAN, C. M.; PROOROCU, M. Current status and future prospective for nitrogen use efficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). Plants, v. 11, n. 2, p. 217, 2022. https://doi.org/10.3390/plants11020217.

MARINHO, A. B.; MOREIRA, L. G.; VIANA, T. V. A.; ALBUQUERQUE, A. H. P.; OLIVEIRA, C. W.; AZEVEDO, B. M. Influência da fertirrigação nitrogenada na produtividade da cultura da mamoneira. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v. 4, p. 31-42, 2010. https://doi.org/10.7127/rbai.v4n100024.

MARSCHNER, H. Nutrição mineral de plantas superiores. San Diego: Academic Press, 2002. 889 p.

NADARAJAN, S.; SUKUMARAN, S. Chemistry and toxicology behind chemical fertilizers. In: Controlled Release Fertilizers for Sustainable Agriculture. [S. l.]: Elsevier, 2021. p. 195-229.

NAHAR, K. Castor bean (*Ricinus communis* L.) - a biofuel plant: morphological and physiological parameters propagated from seeds in Bangladesh. Asian Business, v. 2, p. 64-66, 2013.

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.

NAKAGAWA, J. Marcha de absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio e efeitos da adubação NPK na mamoneira (*Ricinus communis* L.), cultivada em Latossolo Vermelho Amarelo fase arenosa. Tese (Doutorado em Ciências Agrotecnia e Geologia) - Faculdade de Ciências Médicas e Biológicas de Botucatu, Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, 1971.

PASHAZADEH, M.; BAŞALMA, D. The effects of different nitrogen doses on yield and some agricultural characteristics of castor bean plant (*Ricinus communis* L.). Iğdır University Journal of the Institute of Science and Technology, v. 2, n. 2, p. 83-92, 2012.

PLAZA-WÜTHRICH, S.; BLÖSCH, R.; RINDISBACHER, A.; CANNAROZZI, G.; TADELE, Z. Gibberellin deficiency confers both lodging and drought tolerance in small cereals. Frontiers in Plant Science, v. 7, p. 643, 2016. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00643.

RAMOS, M. P. Estudo da cadeia produtiva de fertilizantes no Brasil. Monografia (Monografia em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2020.

SAHA, L.; BAUDDH, K. Phytomanagement of iron mine soil by *Ricinus communis* L. and garden soil. Chemosphere, v. 313, p. 137534, 2023.

SANTOS, A. B.; FAGERIA, N. K.; SILVA, O. F.; MELO, M. L. B. Resposta do feijoeiro ao manejo de nitrogênio em várzeas tropicais. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v. 38, n. 11, p. 1265-1271, 2003.

SANTOS, A. C. M.; FERREIRA, G. B.; XAVIER, R. M.; FERREIRA, M. M. M.; SEVERINO, L. V.; BELTRÃO, N. E. M.; DANTAS, J. P.; MORAES, C. R. A. Deficiência de nitrogênio na mamona (*Ricinus communis* L.): descrição e efeito sobre o crescimento e a produção da cultura. Congresso Brasileiro de Mamona, 1. Embrapa. Campina Grande, 2004.

SANTOS, J. B.; GHEYI, H. R.; BRITO, K. S.; XAVIER, D. A.; DE LIMA, G. S.; CENTENO, C. R. M.; DA SILVA, M. M. Efeitos da salinidade da água e adubação nitrogenada sobre o crescimento e produção da mamoneira 'BRS Gabriela'. Ciências Agrárias, v. 37, n. 5, p. 2911-2922, 2016.

SEVERINO, L. S.; FERREIRA, G. B.; MORAES, C. R. de A.; GONDIM, T. M. de S.; FREIRE, W. S. de A.; CASTRO, D. A. de; CARDOSO, G. D.; BELTRÃO, N. E. de M. Crescimento e produtividade da mamoneira adubada com macronutrientes e micronutrientes. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 41, p. 563-568, 2006. http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2006000400003.

SEVERINO, L. S.; AULD, D. L.; BALDANZI, M.; CÂNDIDO, M. J. D.; CHEN, G.; CROSBY, W.; TAN, D.; HE, X.; LAKSHMAMMA, P.; LAVANYA, C.; et al. A review on the challenges for increased production of castor. Agronomy Journal, v. 104, p. 853-880, 2012.

SILVA, D. F.; TRINDADE, R. C. P.; OLIVEIRA, M. W.; FERRO, J. H. A.; CALHEIROS, A. S. Matéria seca, concentração e acúmulo de nutrientes em mamoneira, influenciados pelas doses de fósforo. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 6, n. 2, p. 273-279, 2011.

SILVA, T. R. B.; LEITE, V. E.; SILVA, A. R. B.; VIANA, L. H. Adubação nitrogenada em cobertura na cultura da mamona em plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 42, p. 1357-1359, 2007.

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.

WANG, H.; XIANG, Y.; ZHANG, F.; TANG, Z.; GUO, J.; ZHANG, X.; HOU, X.; WANG, H.; CHENG, M.; LI, Z. Responses of yield, quality and water-nitrogen use efficiency of greenhouse sweet pepper to different drip fertigation regimes in Northwest China. Agricultural Water Management, v. 260, p. 107279, 2022. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107279.

YEBOAH, A.; YING, S.; LU, J.; XIE, I.; AMOANIMAA-DEDE, H.; BOATENG, K. G. A.; CHEN, M.; YIN, X. Castor oil (*Ricinus communis*): a review on the chemical composition and physicochemical properties. Food Science and Technology, v. 41, p. 399-413, 2020.

YOUSAF, M.; LI, J.; LU, J.; REN, T.; CONG, R.; FAHAD, S.; LI, X. Efeitos da fertilização na produção agrícola e na capacidade de fornecimento de nutrientes em sistema de rotação arroz-colza. Scientific Reports, v. 7, p. 1270, 2017. https://doi.org/10.1038/s41598-017-01412-0.

ZHANG, K.; LIU, X.; MA, Y.; WANG, Y.; CAO, Q.; ZHU, Y.; CAO, W.; TIAN, Y. A new canopy chlorophyll index-based paddy rice critical nitrogen dilution curve in eastern China. Field Crops Research, v. 266, p. 108139, 2021. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108139.

ZHOU, X. B.; YANG, L.; WANG, G. Y.; ZHAO, Y. X.; WU, H. Y. Effect of deficit irrigation scheduling and planting pattern on leaf water status and radiation use efficiency of winter wheat. Journal of Agronomy and Crop Science, v. 207, p. 437-449, 2021. https://doi.org/10.1111/jac.12466.

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.