

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

PEDRO HENRIQUE MENDES QUEIROZ

APLICAÇÃO EXÓGENA DE MELATONINA ASSOCIADA A ENXOFRE E SEUS EFEITOS  
NO METABOLISMO NA PRODUÇÃO DA SOJA

Monte Carmelo  
2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
PEDRO HENRIQUE MENDES QUEIROZ

APLICAÇÃO EXÓGENA DE MELATONINA ASSOCIADA A ENXOFRE E SEUS EFEITOS  
NO METABOLISMO NA PRODUÇÃO DA SOJA

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, como requisito necessário para a obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Douglas José Marques

Monte Carmelo  
2021

PEDRO HENRIQUE MENDES QUEIROZ

APLICAÇÃO EXÓGENA DE MELATONINA ASSOCIADA A ENXOFRE E SEUS EFEITOS  
NO METABOLISMO NA PRODUÇÃO DA SOJA

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, como requisito necessário para a obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Monte Carmelo, 17 de dezembro de 2021

Banca Examinadora

---

Prof. Dr. Douglas José Marques  
Orientador

---

Prof. Dra. Ana Carolina Silva Siquieroli  
Membro da Banca

---

Prof. Dr. Edson Aparecido dos Santos  
Membro da Banca

Monte Carmelo  
2021

## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer primeiramente a Deus que abriu as portas para tudo isso ser possível na minha vida.

Aos meus familiares, amigos e minha namorada que sempre me apoiam nas iniciativas dos meus sonhos.

A todos os professores e colaboradores da faculdade Universidade Federal de Uberlândia – Campus Monte Carmelo, que se tornaram amigos de verdade durante essa caminhada de aproximadamente cinco anos.

Agradecer também ao Sr José que trabalha na horta do GENHORT e sempre me ajudou com maior satisfação no que precisava.

Por fim, ao meu Professor/orientador Douglas José Marques que me auxiliou no desenvolvimento das atividades necessárias e que se tornou um grande parceiro.

## RESUMO

A utilização de melatonina, cuja concentração nas plantas varia nos diferentes tecidos e de acordo com o estágio desenvolvimento, podem promover o aumento de produtividade na soja. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a aplicação no solo de melatonina na presença enxofre e seus efeitos sobre fotossíntese, transpiração e produtividade da soja. Foi utilizado um fatorial de 2x2 com quatro repetições: o primeiro fator é a melatonina (presença e ausência de Si), o segundo fator é a aplicação de S (presença e ausência), com quatro repetições. Foi conduzida uma planta em vasos com 12 dm<sup>3</sup>. Foram avaliados o teor de clorofila total, trocas gasosas e produtividade da cultura. Concluiu-se com a pesquisa que a presença de S e melatonina aumentaram os teores de clorofila total, fotossíntese, transpiração e produtividade da soja.

**Palavras-chave:** pigmentos, produção, trocas gasosas.

## ABSTRACT

The use of melatonin, whose concentration in plants varies in different tissues and according to the development stage, can promote increased productivity in soybean. The present work aims to evaluate the soil application of melatonin in the presence of sulfur and its effects on photosynthesis, transpiration, and soybean yield. A 2x2 factorial with four repetitions was used: the first factor is melatonin (presence and absence of Si), the second factor is the application of S (presence and absence), with four repetitions. A plant in pots with 12 dm<sup>3</sup> was conducted. Total chlorophyll content, gas exchange, and crop yield were evaluated. The research concluded that the presence of S and melatonin increased the levels of total chlorophyll, photosynthesis, transpiration, and soybean yield.

**Keywords:** pigments, production, gas exchange.

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO.....</b>	<b>7</b>
<b>2. OBJETIVO (S).....</b>	<b>8</b>
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>8</b>
3.1. Importância econômica da soja.....	8
3.2. Uso de enxofre na cultura da soja.....	9
3.3. Uso de melatonina na agricultura .....	10
3.4. Metabolismo da soja .....	10
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>11</b>
<b>5. RESULTADO E DISCUSSÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>18</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>19</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A cultura da soja possui grande representatividade devido a áreas que ocupa para plantio e destaque na movimentação financeira, com as exportações dos grãos. Além de promover bons resultados financeiros aos produtores espalhados pelo Brasil, no entanto a cultura ainda sofre muito com os estresses abióticos causados durante seu desenvolvimento, o que ocasiona perdas produtivas.

A melatonina (N-acetil-5-metoxitriptamina) é uma molécula sinalizadora de baixo peso molecular onipresente. Está presente em todos os organismos vivos, de animais a plantas (ARNAO; HERNÁNDEZ-RUIZ, 2018). Em plantas, atua como um promotor de resistência ao estresse e inibe a ação oxidativa danos ao regular positivamente a expressão de genes responsivos ao estresse, induzindo a atividade de enzimas antioxidantes e mantendo redox estado das células (CAMPOS *et al.*, 2019). Além disso, desempenha papéis importantes em vários processos fisiológicos, como fotossíntese, senescência e vegetativo e reprodutivo desenvolvimento em plantas (DEBNATH *et al.*, 2018). Portanto, entende-se que a partir de sua aplicação a planta é capaz de responder de forma positiva ao estresse hídrico, salino e de temperatura. Além de promover melhor qualidade e rendimento de grãos.

Entre os nutrientes, o enxofre se aproxima funcionalmente do nitrogênio. Embora a quantidade de enxofre nas plantas seja de 3 a 5% da quantidade encontrada de nitrogênio, esses nutrientes compartilham grande versatilidade em reações de oxidação-redução, atributo esse que os torna fundamentais no metabolismo das plantas, além do mais, o enxofre é constituinte de alguns aminoácidos e de várias coenzimas. As assimilações de N e S são bem coordenadas, ou seja, a deficiência de um elemento reprime a via assimilatória do outro (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

A deficiência de enxofre ocorre em algumas regiões do Brasil devido aos seguintes fatores: baixa fertilidade do solo associada à pequena quantidade de matéria orgânica, aumento de exportação dos nutrientes pelos grãos causados por produtividades elevadas, uso de fertilizantes que contêm pouco ou nenhum S em sua composição, lixiviação de sulfato e a redução do uso de produtos fitossanitários que apresentam enxofre (TISDALE *et al.*, 1995). Em relação a sua disponibilidade nos solos, a forma orgânica constitui importante reserva de S do solo,

representando mais de 90% do total desse nutriente na maioria dos solos (SOLOMONS *et al.*, 2005).

A absorção de nutrientes pela soja é influenciada por diferentes fatores, dentre elas as condições climáticas, como chuva e temperatura, as diferenças genéticas entre as variedades, o teor de nutrientes no solo e os diversos tratos culturais.

Entre as práticas culturais que visam aumentar a eficiência de uso da água pelas culturas, o fornecimento adequado de nutrientes tem um papel relevante, em especial o S e a melatonina pelas funções que desempenha no metabolismo vegetal, estimulando a planta a aumentar sua produção em condições de estresses causados pelo ambiente tropical.

## **2. OBJETIVOS**

Avaliar a aplicação no solo de melatonina na presença de enxofre e seus efeitos sobre a fotossíntese, transpiração e produtividade da soja.

## **3. REVISÃO DE LITERATURA**

### **3.1 Importância econômica da soja**

A cultura da soja é uma realidade no agronegócio brasileiro, gerando renda e empregos diretos e indiretos para o Brasil. A estimativa da safra de grãos total foi de 135 milhões de toneladas em 2021-22. A soja ocupou a maior área, sendo cultivados 38,4 milhões de hectares com crescimento de 4,1%, produção de 135,5 milhões de toneladas, seguida do milho que ocupou uma área de 19,7 milhões de hectares alcançando 109 milhões de toneladas. A cultura aumentou 11% de área plantada, totalizando 3.061,3 mil hectares, no sudeste brasileiro (CONAB, 2021).

A cultura é a principal commodity agrícola produzida no país, devido aos grandes avanços tecnológicos empregados na cultura, o que permite sua produção em todo país (EMBRAPA, 2011). Além disso, o mercado aquecido favorece para o forte crescimento e expansão territorial da cultura que ocupa a região tradicional do cerrado e centro oeste. As regiões em que a implantação ainda é

considerada nova, como regiões do norte do país e nordeste, região do MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) vem se fortalecendo.

No Brasil, tradicionalmente, o uso e consumo da soja in natura não é comum, apenas parte dos produtos derivados da soja são reconhecidos pela maior parte da população como shoyo, tofú e proteínas texturizadas de soja. A grande maioria da soja produzida no país tem como fim a comercialização de grãos secos (soja commodity), sendo destinadas a produção de ração animal e óleo vegetal (ESPOLADOR *et al.*, 2017).

### **3.2. Uso de enxofre na cultura da soja**

O enxofre dentre os nutrientes é o que mais se aproxima funcionalmente do nitrogênio, embora a quantidade encontrada nas plantas seja pequena, de 3 a 5% a quantidade de nitrogênio, ele apresenta uma grande versatilidade em relação de oxido-redução o tornando fundamental no metabolismo da planta, o enxofre é constituinte de aminoácidos (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

As exigências de enxofre variam de acordo com a necessidade de cada espécie e com que se espera na produção. As leguminosas se enquadram no grupo de média/alta exigência, sendo mais exigentes que as gramíneas devido ao seu elevado teor de proteínas, sendo assim, a cultura da soja é uma cultura exigente deste nutriente (ALVAREZ *et al.*, 2007; RHEINHEIMER *et al.*, 2005).

A deficiência de S pode ser observada em algumas regiões do Brasil, especialmente em solos sob cerrado, em razão da baixa fertilidade do solo. Uma das alternativas de aplicação do enxofre é usar gesso agrícola, fertilizantes formulados e aumentar o teor de matéria orgânica. A absorção de S pelas folhas e raízes nas formas de  $SO_2$ , S-cisteína, S e como ânion  $SO_4^{-2}$ , forma presente na solução do solo e predominantemente absorvida pelas culturas (EPSTEIN; BLOOM, 2006). O sulfato é translocado tanto no xilema quanto no floema, sendo prontamente trocável entre essas vias (LARSON *et al.*, 1991), chegando até as folhas, onde é incorporado os esqueletos carbônicos. Segundo Hartmann e colaboradores (2006), compostos contendo S reduzido podem ser transportados tanto na direção acrópeta para as folhas em desenvolvimento, quanto na basípeta para o caule e as raízes.

A dose ideal do nutriente ainda não existe. Para a soja a recomendação é de 15 kg para cada 1000 kg de grão produzidos (EMBRAPA, 2000; 2020). Nesse caso, a substância se faz necessária para o crescimento na parte de pesquisas.

### **3.3. Uso de melatonina na agricultura**

A melatonina tem apresentado efeitos benéficos na tolerância de sal nas plantas, ela é um indol hormônio que se apresenta amplamente em plantas e animais (BARRATT *et al.*, 1977; DUBBELS *et al.*, 1995; NAWAZ *et al.*, 2015; REITER *et al.*, 2011; SHI *et al.*, 2016). Em estudos realizados por Li e colaboradores (2012), foi descoberto que o pré-tratamento com melatonina faz com que a planta apresente efeito inibitório do sal, interferindo de forma positiva no crescimento da planta, além de retardar a degradação e perda de clorofila, o que faz com que se tenha uma alta eficiência fotossintética e redução da oxidação da planta, causados pela salinização.

Além disso, com o uso de melatonina a planta responde de forma positiva a estresse hídrico, o que proporciona a germinação das sementes e crescimento de plântulas, retardando ainda a senescência causada pela seca, sendo comprovados por estudos realizados em pepinos (ZHANG *et al.*, 2013; WANG *et al.*, 2013).

Há evidências de que a melatonina aplicada de forma exógena melhora o crescimento e rendimentos das plantas, podendo ainda melhorar a qualidade dos frutos e promover o amadurecimento pós-colheita (REITER *et al.*, 2015). Dessa forma, mostra-se ainda que ela alivie os efeitos adversos do estresse abiótico nas plantas, servindo principalmente como a primeira linha de defesa contra os desafios ambientais em extremos de temperatura, salinidade (LI *et al.*, 2012), radiação UV (AFREEN *et al.*, 2006), metais pesados (POSMYK *et al.*, 2008), estresse alcalino (GONG *et al.*, 2017) e deficiências nutricionais (LI *et al.*, 2016).

### **3.4 Metabolismo da soja**

A soja é uma planta dicotiledônia, formada por seu conjunto de raízes e parte aérea, com desenvolvimento dividido em período vegetativo e reprodutivo. As folhas são emitidas nos nós

presentes no caule, onde se desenvolve gemas que dão origem a ramos e ou flores, podendo ou não originar legumes. A nutrição dele é principalmente através dos carboidratos originados da folha inserida no caule junto ao legume. A relação exercitada entre o local de síntese e utilização do carboidrato é chama de relação fonte-dreno (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005).

A cultivar suporta um determinado nível de redução em sua área foliar sem que haja uma perda significativa no rendimento de grãos. Esta tolerância depende do índice de área foliar, da taxa de fotossíntese, da quantidade de luz interceptada, distribuição de luz interceptada e da partição de fotossintatos entre estrutura vegetativa e reprodutiva (HAILE *et al.*, 1998).

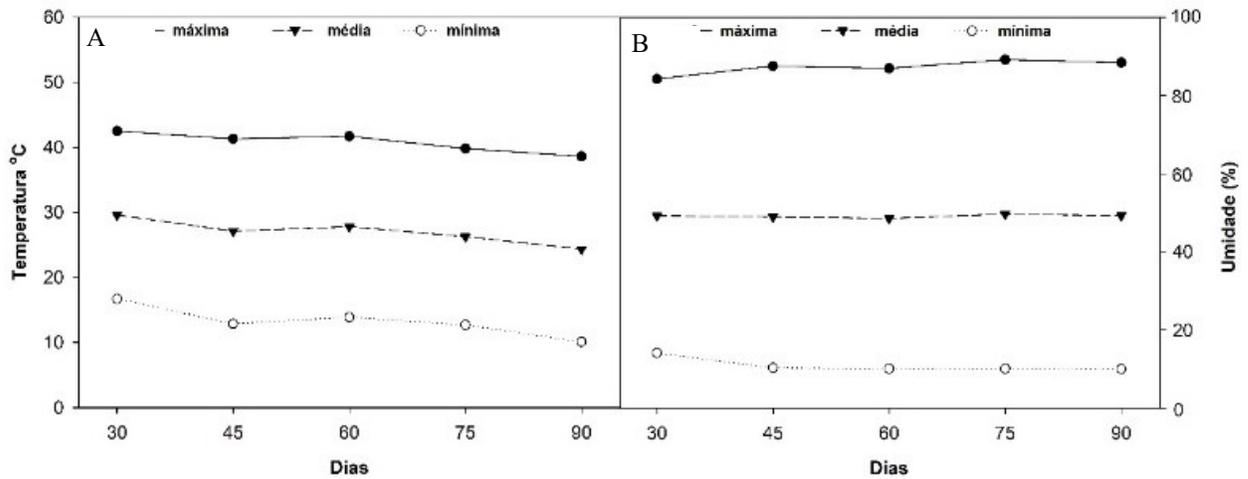
A absorção de nutrientes pela soja é influenciada por diferentes fatores, dentre elas as condições climáticas, como chuva e temperatura, as diferenças genéticas entre as variedades, o teor de nutrientes no solo e os diversos tratos culturais. Contudo, é possível estimar as quantidades médias de nutrientes que estão presentes nos restos culturais e nos grãos da soja para cada tonelada de produção de grãos.

O elemento mais requerido pela soja é o nitrogênio. Portanto, para uma produção de 3.000 kg/ha, há a necessidade de 246 kg de nitrogênio, que são obtidos, em pequena parte, do solo (25% a 35%) e, na maior parte, pela fixação simbiótica do nitrogênio (65% a 85%). Na sequência, os mais exigidos são o potássio, o enxofre e o fósforo. Em relação aos micronutrientes, é importante observar as pequenas quantidades necessárias para suprir a cultura da soja, porém, não se deve deixar faltar nenhum deles, pois todos são essenciais. Com a falta de apenas um deles não haverá bom desenvolvimento e rendimento de grãos (BORKERT *et al.*, 1994).

#### **4. MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi realizado na Estação Experimental de Hortaliças da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Campus Monte Carmelo, MG (18°42'43,19" S, 47°29'55,8" W e altitude de 873 m). As plantas foram cultivadas em casa de vegetação do tipo arco (7 x 21 m), com pé direito de 4 metros, coberta com filme de polietileno transparente de 150 micra aditivado contra raios ultravioleta e cortinas laterais de tela branca anti-afideio. Foi monitorado a temperatura e umidade usando Termohigrômetro modelo-Taylor 1732 (FIGURA 1) durante o período do experimento.

**FIGURA 1** - A) Temperatura máxima, média e mínima e (B) umidade avaliadas no período de 30 a 90 dias após a semeadura.



Foi utilizada a cultura da soja, cultivar NS 5700 IPRO, a semeadura foi realizada dia 17 de março de 2021, onde foram semeadas 5 sementes por vaso circular de plástico, aos 21 dias após a emergência foi realizado o desbaste, deixando apenas uma planta por vaso, sendo as demais descartadas, para esse procedimento selecionou a planta mais uniforme e vigorosa de cada vaso.

O solo foi coletado no Campus da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, sendo classificado como Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 2018) de classe textural argilosa. O solo foi submetido à tamisagem, utilizando peneira com malha de 5 mm, em seguida submetido às análises de caracterização física e química no laboratório (LABRAS), localizado em Monte Carmelo-MG. A composição química e física do solo utilizada neste estudo foi: pH da água = 5,2; nível de matéria orgânica (MO) = 2,6 (dag kg<sup>-1</sup>); P e K por extração com Mehlich I = 72,5 e 107 (mg dm<sup>-3</sup>); Mg, Ca e Al extraíveis por solução 1 M de KCl = 0,82; 3,21 e 0,10 (cmol dm<sup>-3</sup>); Si = NS (mg dm<sup>-3</sup>); Zn = 7,7 (mg dm<sup>-3</sup>); Cu = 5,3 (mg dm<sup>-3</sup>); S = NS (mg dm<sup>-3</sup>); B = 0,14 (mg dm<sup>-3</sup>); Fe = 31 (mg dm<sup>-3</sup>); T = capacidade de troca catiônica em pH 7,0 (6,60); t = capacidade de troca catiônica efetiva (4,40); m = índice de saturação de alumínio (2%); V = Índice de saturação de base (65%). A granulometria do solo foi à composição física do solo utilizada neste estudo, determinada pelo método da pipeta (areia, silte e argila = 25,5%, 10% e 64,5%).

Foi utilizado um fatorial de 2x2 com quatro repetições: o primeiro fator é a melatonina (presença e ausência de Si), o segundo fator é a aplicação de S (presença e ausência), com quatro

repetições. Os tratamentos foram, assim, constituídos: presença (4,8 g S em 12 dm<sup>3</sup> de solo) e ausência (0 g S em 12 dm<sup>3</sup> de solo) e presença (3 mg g em 12 dm<sup>3</sup> de solo) e ausência (0 mg g em 12 dm<sup>3</sup> de solo) de melatonina. Foi usado uma fonte de enxofre com 15% S e a 3 mg de melatonina, sendo adicionados durante a semeadura do experimento.

Foi aplicado 10 gramas de calcário dolomítico, o solo permaneceu incubado por 360 dias. A aplicação de S (15% S) foi realizada seguindo a recomendação de Alvarez e colaboradores (2007). Para a adubação básica com os macronutrientes e micronutrientes foi baseada nas recomendações de Novais e colaboradores (1991), adaptada por Marques e colaboradores (2021) para a cultura da soja.

O manejo da irrigação foi feito com o uso de um recipiente plástico de 2 litros, cortado ao fundo, com a tampa furada ao centro e colocação de um tubete de cotonete para controle de vazão de gotejo de 600 ml hora e presa a uma estaca de madeira de 80 cm de altura com auxílio de uma presilha presa a garrafa. Foi instalado o equipamento no canto de cada vaso para irrigação diária com média de 1200 ml, a altura de instalação da garrafa pet foi de 25 cm acima do solo do vaso. (FIGURA 2).

**FIGURA 2** - Imagem do sistema de irrigação utilizado na pesquisa.



A avaliação das trocas gasosas foi realizada na folha do quarto trifólio (sem pecíolo), a partir do ápice, na haste principal no início do florescimento (estádio R1), utilizando o medidor, utilizando o medidor portátil LC pro- SD câmara LI-6400-02B com fonte de luz onde a intensidade de radiação fotossinteticamente ativa foi fixada em  $1000 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  no período da manhã, entre as 8 e 9 horas. Foram avaliadas a taxa fotossintética líquida e taxas transpiratória foliar (FIGURA 3).

**FIGURA 3** - Imagem das análises das trocas gasosas (fotossíntese e transpiração).



O teor de clorofila total foi avaliado usando três folhas das quatro plantas centrais de cada

vaso. A clorofila total, foi adicionada uma solução de éter de petróleo e acetona (1:1). Após 24 horas de reação no escuro, foi feita a leitura da absorbância do extrato sobrenadante em espectrofotômetro digital UV-5100. Foram usados os seguintes comprimentos de onda: 663 nm (clorofila total). Os teores de pigmento foliar ( $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  de tecido fresco) foram calculados a partir das absorbâncias (CASSETARI *et al.*, 2015). No final da pesquisa, foram quantificados a produtividade e peso de 100 grãos/planta.

Os dados foram submetidos a uma análise de variância e diferenças entre as médias foram determinadas usando o teste de Scott-Knott a um nível de probabilidade de 5% (STEEL *et al.*, 2006). Além disso, os desvios padrões foram calculados e aplicados os estimadores de regressão e de correlação quando pertinentes (Pearson ou Spearman) usando o no programa Sisvar (FERREIRA, 2011).

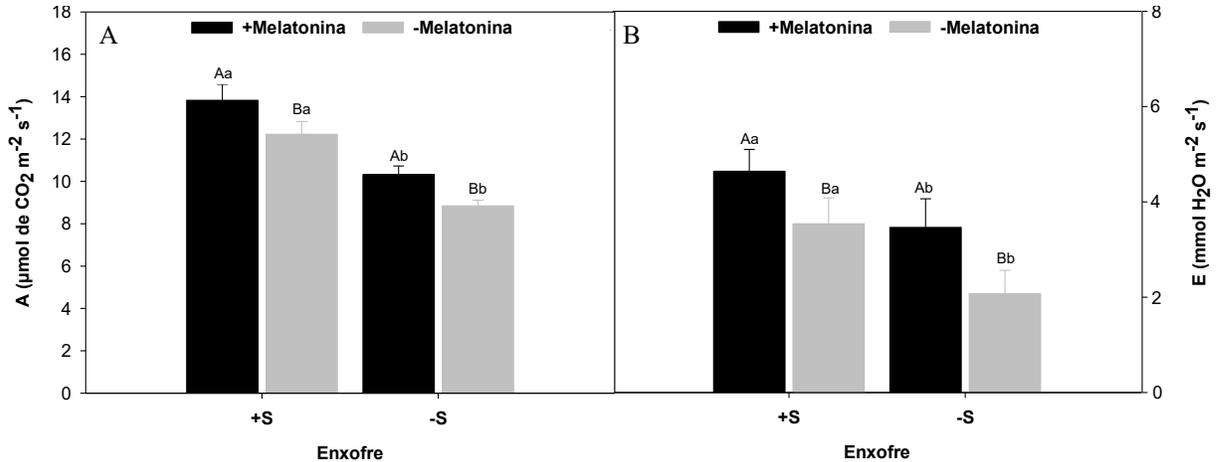
## 5. RESULTADO E DISCUSSÃO

A taxa fotossintética aumentou 8% na presença de S e melatonina. Para a ausência de S a taxa fotossintética foi superior 9% na presença de melatonina.

Quando comparado à presença de S e melatonina a fotossíntese foi 64% superior, em relação a ausência de melatonina e S (FIGURA 4). A transpiração nas folhas da soja foi 50% superior na presença de melatonina e presença de S. Esses resultados corroboram com Zhang e colaboradores (2015), onde a melatonina atua exatamente na manutenção do equilíbrio celular.

Pré-tratamentos com melatonina previnem consideravelmente a inibição à fotossíntese e germinação, causadas pela salinidade e estresse hídrico respectivamente, além de proteger contra os danos causados pela baixa temperatura, evitando alterações na estrutura das células, bem como, evitando a apoptose, como observado em feijão mungo sob baixas temperaturas (SZAFANĀKA *et al.*, 2012) e sementes de pepino sob estresse osmótico e sob baixas temperaturas (ZHANG *et al.*, 2013).

**Figura 4.** Fotossíntese (A) e transpiração (B) em folhas de soja na presença e ausência de S e melatonina. Coluna com diferentes letras maiúsculas compara a presença de S e letras minúsculas a melatonina, indicando diferenças significativas do teste de Scott-Knott ( $P < 0,05$ ). Colunas correspondentes às médias de quatro repetições e desvios-padrão.



A melhoria na performance das plantas expostas a condições adversas em virtude da aplicação de melatonina se deve às funções metabólicas que esse composto apresenta. O balanço entre a atividade de hormônios promotores e inibidores é importante para o desenvolvimento reprodutivo de plantas. A citocinina e o ácido abscísico são considerados os hormônios mais determinantes para o desenvolvimento reprodutivo, em condições normais e de estresse ambiental (LIU *et al.*, 2004).

O teor da clorofila total foi superior 66% na presença de S e melatonina. Para a ausência de S a presença de melatonina incrementou 20% superior a clorofila total (FIGURA 5).

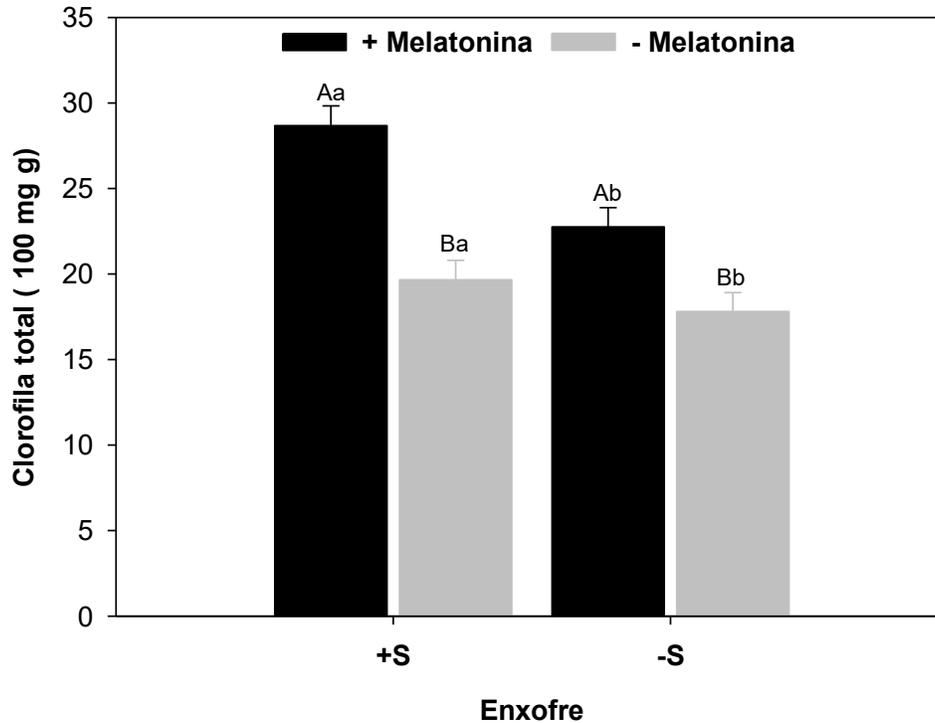
É relatado também, que a aplicação de melatonina suprime a expressão de genes relacionados à senescência, impede a ocorrência da degradação da clorofila (ZHAO *et al.*, 2015), e da redução da eficiência do FSII, evitando consequentemente a redução da fotossíntese.

Evidências apontam que a suplementação com melatonina aumenta a taxa de sobrevivência das plantas sobre estresses, uma vez que, plantas que receberam aplicação de melatonina no solo aumentaram seus níveis de clorofila, melhorando sua altura e biomassa (REITER *et al.*, 2015).

Condições de estresse induzem a síntese de melatonina em plantas, aliviando os efeitos nocivos dos estresses, particularmente o estresse oxidativo. Em plantas sob seca, a melatonina tem

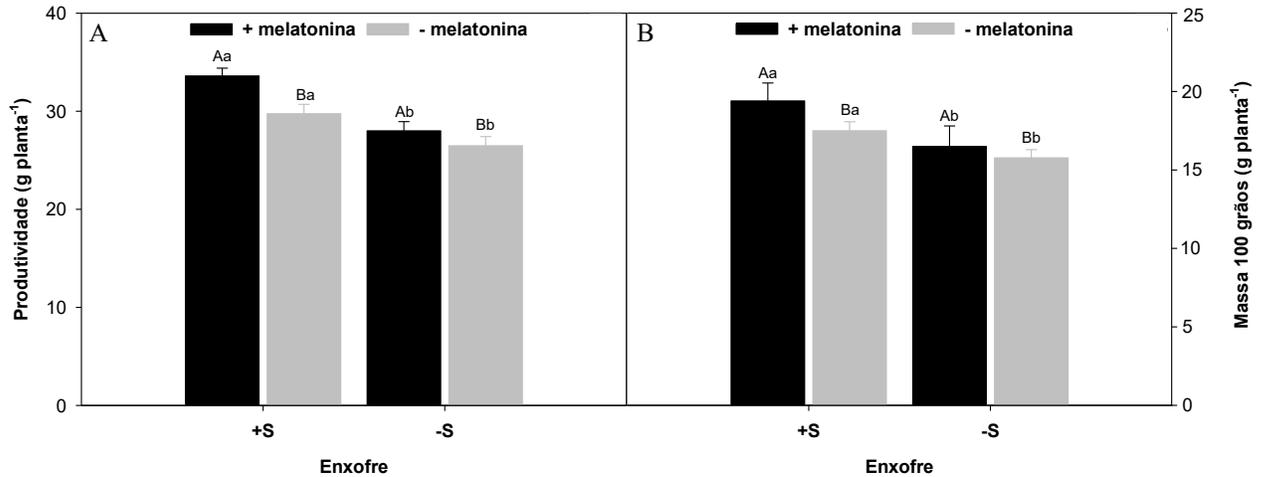
elevada eficiência em anular as respostas adversas aos derivados tóxicos do oxigênio, devido à sua capacidade de neutralizá-los (ALLEGRA *et al.*, 2003).

**FIGURA 5** - Clorofila total em folhas de soja na presença e ausência de S e melatonina. Colunas com diferentes letras maiúsculas comparam a presença de S e letras minúsculas a melatonina indicando diferenças significativas do teste de Scott-Knott ( $P < 0,05$ ). Colunas correspondentes às médias de quatro repetições e desvio-padrão.



Na presença de S e melatonina, a planta de soja incrementou em 25% a produtividade, quando comparado com ausência de S e melatonina. Na presença de S e melatonina a massa de 100 grãos (g planta) foi 20% maior quando comparado com ausência de S e melatonina na planta de soja. Esses resultados podem estar relacionados à aplicação de melatonina que induziu o desenvolvimento das plantas (FIGURA 6).

**FIGURA 6** - Produtividade (A) e massa de 100 grãos (B) em plantas de soja na presença e ausência de S e melatonina. Colunas com diferentes letras maiúsculas comparam a presença de S e letras minúsculas a melatonina, apontando diferenças significativas do teste de Scott-Knott ( $P < 0,05$ ). Colunas correspondentes às médias de quatro repetições e desvios-padrão.



Visando a melhor produção de diferentes culturas, o uso de substâncias que melhorem a performance dessas plantas sob déficit hídrico, se torna cada dia mais comum. Dentre essas moléculas destaca-se a melatonina (N-acetil-5-metoxitriptamina), cuja concentração nas plantas varia nos diferentes tecidos de acordo com o estágio de desenvolvimento (REITER *et al.*, 2015).

## 6. CONCLUSÃO

A adição de enxofre e melatonina aumentaram os teores de clorofila total, fotossíntese, transpiração e produtividade da soja.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFREEN, F., ZOBAYED, S.M.A., KOZAI, T. Melatonin in *Glycyrrhiza uralensis*: response of plant roots to spectral quality of light and UV-B radiation. **Journal of Pineal Research**, v. 41, p. 108-115, 2006.
- ALLEGRA, M. *et al.* The chemistry of melatonin's interaction with reactive species. **Journal of pineal research**, v. 34, p. 1-10, 2003.
- ALVAREZ, V. H. *et al.* Enxofre. In: NOVAIS, R. F. *et al.* (Ed). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 595-644.
- ARNAO, M. B.; HERNÁNDEZ-RUIZ, J. Melatonin and its relationship to plant hormones. **Annals of Botany**, v. 121, p. 195-207, 2018.
- BARRATT, G. F.; NADAKAVUKAREN, M. J.; FREHN, J. L. Effect of melatonin implants on gonadal weights and pineal gland fine structure of the golden hamster. **Tissue and Cell**, v. 9, p. 335-345, 1977.
- BORKERT, C. M. *et al.* **Seja o doutor da sua soja**. Informações Agronômicas, n. 66, 16 p. jun. 1994. Disponível em: Seja o doutor soja (npct.com.br). Acesso: 5 out. 2021.
- CAMPOS, C. N. *et al.* Melatonin reduces oxidative stress and promotes drought tolerance in young *Coffea arabica* L. plants. **Agricultural Water Management**, v. 211, p. 37-47, 2019.
- CASSETARI, L. S. *et al.* 2015.  $\beta$ -Carotene and chlorophyll levels in cultivars and breeding lines of lettuce. **Acta Horticulturae**, v. 1083, 469-473, 2015.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira – Grãos**. Safra 2021/22 3º Levantamento, v. 9, n. 3, Brasília: Conab, 2021, 100 p. Disponível em: Conab - Safras. Acesso: 1 set. 2021.
- DEBNATH, B. *et al.*, 2018. Exogenous melatonin mitigates acid rain stress to tomato plants through modulation of leaf ultrastructure, photosynthesis and antioxidant potential. **Molecules**, v. 23, 388.
- DUBBELS, R. *et al.* Melatonin in edible plants identified by radioimmunoassay and by high performance liquid chromatography-mass spectrometry. **Journal of Pineal Research**, v. 18, p. 28-31, 1995.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos 5ª edição revista e ampliada. 356– Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de produção de soja - Região Central do Brasil 2012 e 2013**. Sistemas de Produção, n. 15, Londrina: Embrapa Soja, 2011. 261 p.

EMBRAPA - - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil 2000/01**. Londrina: Embrapa Soja/Fundação MT, 2000. 245 p. Disponível em: C00ger.p65 (embrapa.br). Acesso: 5 set. 2021.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de Produção de Soja Região Central do Brasil 2003. Sistema de Produção, n. 1** Londrina: Embrapa Soja, 2003. 199 p. Disponível em: C02 Ger (embrapa.br). Acesso em: 10 jan. 2020.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Planta, 2006. 404 p.

ESPOLADOR, F. G. *et al.* **Soja hortaliça**. Série Produtor Rural, n. 65, Piracicaba: ESALQ-Divisão de Biblioteca, 2017. 57 p. Disponível em: [https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwisv8Lgp\\_n0AhU5IrkGHbtIBdsQFnoECAgQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.esalq.usp.br%2Fbiblioteca%2Ffile%2F3678%2Fdownload%3Ftoken%3DUnn3189r&usg=AOvVaw3yEwiTvhSY9xzgmFzAx\\_Y2](https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwisv8Lgp_n0AhU5IrkGHbtIBdsQFnoECAgQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.esalq.usp.br%2Fbiblioteca%2Ffile%2F3678%2Fdownload%3Ftoken%3DUnn3189r&usg=AOvVaw3yEwiTvhSY9xzgmFzAx_Y2). Acesso em: 22 jan. 2020.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

GONG, X. Q. *et al.* Exogenous melatonin alleviates alkaline stress in *Malus hupehensis* Rehd. By regulating the biosynthesis of polyamines. **Molecules**, v. 22, p. 1542, 2017.

HAILE, F. J. *et al.* Soybean leaf morphology and defoliation tolerance. **Agronomy Journal**, Madison, v. 90, p. 353-362, 1998.

HARTMANN, T. *et al.* Leaf adent differences in sulfur assimilation and allocation in poplar (*Populus tremula* x *P. Alba*). **Journal of Experimental Botany**, v. 51, p. 1077-1088, 2006.

LARSON, M.; PUERVES, J. V.; CLARCKSON, D. T. Translocation and cycling through roots of recently absorbed nitrogen and sulfúro i wheat (*Triticum aestivum*) during vegetative and generative growth. **Physiologia Plntarum**, v. 82, p. 345-352, 1991.

LI, C. *et al.* The mitigation effects of exogenous melatonin on salinity-induced stress in *Malus hupehensis*. **Journal of Pineal Research**, v. 53, p. 298–306, 2012.

LI, C. *et al.* Exogenous melatonin improved potassium content in *Malus* under different stress conditions. **Journal of Pineal Research**, v. 61, p. 218–229, 2016.

LIU, F.; JENSEN, C. R.; ANDERSEN, M. N. Pod set related to photosynthetic rate and endogenous ABA in soybeans subjected to different water regimes and exogenous ABA and BA at early reproductive stages. **Annals of Botany**, v. 94, p. 405-411, 2004.

MARQUES, D. J. *et al.* Morphophysiological changes resulting from the application of silicon in corn plants under water stress. **Journal of Plant Growth Regulation**, 2021. DOI: 10.1007/s00344-021-10322-5.

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. Soja: **fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos**. Porto Alegre: Departamento de Plantas de Lavoura - UFRGS, 2005. 31 p.

NAWAZ, M. A. *et al.* 2015. Melatonin: Current status and future perspectives in plant science. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, 1230, 2015. DOI: 10.3389/fpls.2015.01230

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**, v. 1, p. 89-253, 1991.

POSMYK, M. M.; KURAN, H.; MARCINIAK, K.; JANAS, K. M. Presowing seed treatment with melatonin protects red cabbage seedlings against toxic copper ion concentrations. **Journal of Pineal Research**, v. 45, p. 24–31, 2008.

PRATES, H. S.; LAVRES-JÚNIOR, J.; MORAES, M. F. O enxofre como nutriente e agente contra pragas e doenças. **Informações Agrônomicas**, n. 115, p. 8-9, 2006. Disponível em: [Jornal 115.p65 \(ipni.net\)](http://jornal115.ipni.net). Acesso em: 10 jan. 2020.

REITER, R. J. *et al.* Melatonin: New applications in clinical and veterinary medicine, plant physiology and industry. **Neuroendocrinology Letters**, v. 32, p. 575–587, 2011.

REITER, R. J. *et al.* Phytomelatonin: assisting plants to survive and thrive. **Molecules**, v. 20, p. 7396-7437, 2015.

RHEINHEIMER, D. S. *et al.* Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfato num solo de textura arenosa sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 35, p. 562-569, 2005.

SHI, H. T. *et al.* Fundamental issues of melatonin-mediated stress signaling in plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, 1124, 2016. DOI: 10.3389/fpls.2016.01124.

SOLOMONS, D. *et al.* Sulphur speciation and biogeochemical cycling in long-term arable cropping of subtropical soils: evidence from wet-chemical reduction and SK-edge XANES spectroscopy. **European Journal of Soils Science**, v. 56, p. 621-634, 2005.

SZAFÁŃKA, K.; GLIŃKA, S.; JANAS, K. M. Changes in the nature of phenolic deposits after re-warming as a result of melatonin pre-sowing treatment of *Vigna radiata* seeds. **Journal of plant physiology**, v. 169, p. 34-40, 2012.

STEEL, R. G. D., TORRIE, J. H., DICKEY, D. A. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**. 3<sup>rd</sup> Moorpark: Academic Internet Publishers, 2006, 145 p.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. 5<sup>th</sup>. New York: Macmilillan, 1995. 684 p.

WANG, P. *et al.* Long-term exogenous application of melatonin delays drought-induced leaf senescence in apple. **Journal of Pineal Research**, v. 54, p. 292-302, 2013.

ZHANG, N. *et al.* Roles of melatonin in abiotic stress resistance in plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, p. 647-656, 2015.

ZHANG, N. *et al.* Melatonin promotes water-stress tolerance, lateral root formation, and seed germination in cucumber (*Cucumis sativus* L.). **Journal of Pineal Research**, v. 54, n. 1, p. 15-23, 2013.

ZHAO, H. *et al.* Unveiling the mechanism of melatonin impacts on maize seedling growth: sugar metabolism as a case. **Journal of Pineal Research**, v. 59, n. 2, p. 255-266, 2015.