

Potássio na Agricultura

Potassium in Agriculture

Magna Maria Macedo Nunes Costa

Embrapa Algodão

RESUMO:

O potássio (K) é um nutriente essencial às plantas e desempenha um papel crucial em muitos processos fisiológicos vitais para o crescimento, a produção, a qualidade e a resistência a estresses em todas as culturas. A maior parte do K no solo não está disponível para a absorção pela planta. O elemento é geralmente classificado em quatro grupos de acordo com a sua disponibilidade: solúvel em água, trocável, não trocável e formas estruturais. O K solúvel em água está diretamente disponível às plantas e aos micróbios, e potencialmente sujeito à lixiviação. O K trocável está eletrostaticamente ligado às superfícies dos minerais de argila e das substâncias húmicas. Essas duas frações são consideradas facilmente disponíveis às culturas. Entretanto, o tamanho de ambos os “pools” é muito pequeno. As formas não trocável e estrutural são consideradas fontes de K lentas ou não disponíveis às plantas. Para a recomendação de adubação potássica, é fundamental a análise química do solo. O K exerce nas plantas as seguintes funções: ativação enzimática, síntese de proteínas, fotossíntese, osmorregulação, transporte no floema, transferência de energia e balanço cátion-ânion. É muito importante o desenvolvimento de plantas mais eficientes em termos de nutrição mineral com K para o desenvolvimento de uma agricultura de baixo insumo, a minimização dos gastos com fertilizantes potássicos e a sustentabilidade. Este trabalho tem como objetivo descrever a dinâmica do K na agricultura com ênfase nas culturas do algodão, do amendoim, do gergelim, da mamona e do sisal.

Palavras-chave: Algodão. Amendoim. Gergelim. Mamona. Sisal

ABSTRACT:

Potassium (K) is an essential plant nutrient and plays a crucial role in many physiological processes vital to growth, production, quality, and stress resistance in all crops. Most of the K in the soil is not available for plant uptake. The element is generally classified into four groups according to its availability: water-soluble, exchangeable, non-exchangeable, and structural forms. Water-soluble K is directly available to plants and microbes and potentially subject to leaching. Exchangeable K is electrostatically bound to the surfaces of clay minerals and humic substances. These two fractions are considered readily available to crops. However, the size of both pools is very small. The non-exchangeable and structural forms are considered slow-release or unavailable K sources for plants. A chemical analysis of the soil is essential for recommending potassium fertilization. K plays the following roles in plants: enzyme activation, protein synthesis, photosynthesis, osmoregulation, phloem transport, energy transfer, and cation-anion balance. Developing plants that are more efficient in terms of K mineral nutrition is crucial for the development of low-input agriculture, minimizing potassium fertilizer costs, and achieving sustainability. This paper aims to describe the dynamics of K in agriculture, with an emphasis on cotton, peanuts, sesame, castor beans, and sisal.

Keywords: Cotton. Peanut. Sesame. Castor bean. Sisal

1. INTRODUÇÃO

Desde a década de 1960 que a população mundial quase triplicou, passando de três para mais de oito bilhões de pessoas, e essa tendência persistirá nas próximas décadas. Devido a essa rápida expansão, faz-se necessário um aumento massivo na produção de alimentos, fibras e energia, para atender às demandas das gerações futuras e, ao mesmo tempo, preservar os recursos ecológicos e energéticos do nosso planeta. Adicionalmente, os modelos climáticos atuais predizem que as incidências e a duração dos períodos de estresses por seca e calor estão aumentando em muitas regiões, afetando negativamente nossas principais culturas agrícolas e, desse modo, nossa segurança alimentar. Portanto, os principais desafios para a agricultura são aumentar a produtividade das culturas com sistemas de produção mais eficientes em termos de recursos e estabilizar o desenvolvimento e a produtividade sob condições de estresses biótico e abiótico (Janni et al., 2024). Nesse contexto, entre os nutrientes essenciais às plantas, o potássio (K) desempenha um papel crucial em muitos processos fisiológicos vitais para o crescimento, a produção, a qualidade e a resistência a estresses em todas as culturas.

O K constitui cerca de 2,1% a 2,3% da crosta terrestre, sendo o sétimo ou oitavo elemento mais abundante. Dessa forma, as reservas de K no solo são geralmente grandes. Entretanto, o K é considerado indisponível em muitas áreas agrícolas ao redor do mundo, incluindo $\frac{3}{4}$ dos solos cultivados com arroz na China e $\frac{2}{3}$ do cinturão de trigo no sul da Austrália (Römheld e Kirkby, 2010). Os solos que são naturalmente pobres em K são os arenosos, os alagados, os salinos ou os ácidos. Além disso, em sistemas agrícolas de produção intensiva, o K torna-se um nutriente limitante, particularmente naqueles de textura grosseira ou orgânicos. Em muitos casos, quando se aplica baixas taxas de fertilizantes potássicos, no contexto de uma fertilização desbalanceada, pode resultar em um esgotamento significativo das reservas de K disponíveis no solo e, portanto, na diminuição da fertilidade (Zörb et al., 2014). Em relação aos fertilizantes que contêm nitrogênio (N) e fósforo (P), os potássicos são aplicados numa taxa bem mais baixa, e menos de 50% do K removido pelas culturas é repostado pela adubação (Shao e He, 2010).

2 MARCO TEÓRICO

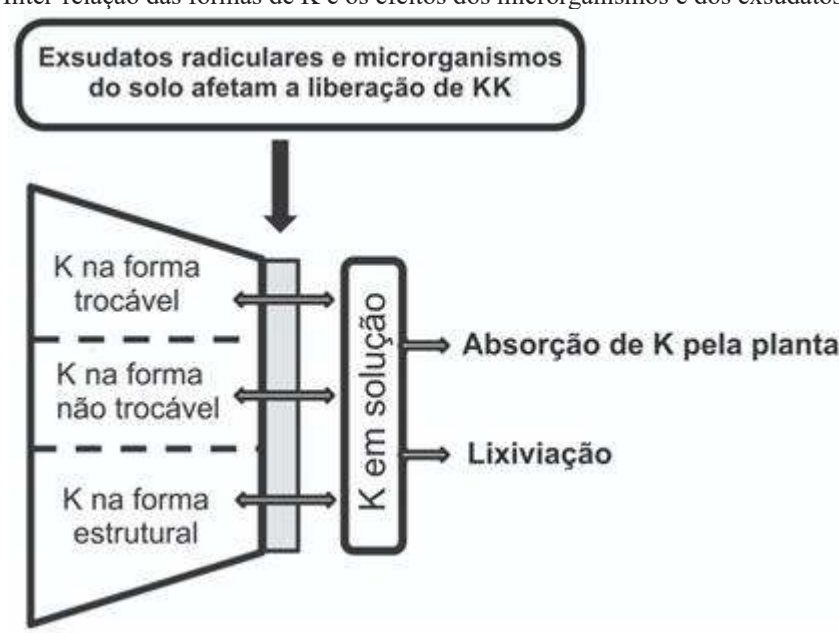
2.1 POTÁSSIO NO SOLO

Como os solos minerais contêm entre 0,04% e 3,00% de K total, o teor desse elemento na camada de 0 cm a 20 cm de profundidade da maior parte dos solos agrícolas varia geralmente entre 10 g kg^{-1} e 20 g kg^{-1} . Entretanto, a maior parte do K no solo (90% a 98%) está incorporada

à estrutura cristalina dos metais e, desse modo, não diretamente disponível para a absorção pela planta. A disponibilidade de K difere grandemente entre os diferentes tipos de solos e é afetada pelas suas propriedades físico-químicas. Simplificando a complexa dinâmica de K no solo, o elemento é geralmente classificado em quatro grupos de acordo com a sua disponibilidade para as plantas: solúvel em água, trocável, não trocável e formas estruturais (Figura 1).

O K solúvel em água está diretamente disponível para as plantas e os micróbios, e potencialmente sujeito à lixiviação. O K trocável está eletrostaticamente ligado, como um complexo de esferas externas, às superfícies dos minerais de argila e das substâncias húmicas. Essas duas frações são muitas vezes consideradas facilmente disponíveis para as culturas. Entretanto, o tamanho de ambos os “pools” é muito pequeno. Juntos, eles perfazem somente cerca de 0,1% a 0,2% e 1,0% a 2,0%, respectivamente, do K total no solo. As formas não trocável e estrutural são consideradas fontes de K lentas ou não disponíveis para as plantas. Entretanto, esses “pools” podem também contribuir significativamente para o suprimento das plantas a longo prazo. As quantidades de K no solo, disponível e não disponível às plantas, variam grandemente entre os tipos de solos e as reações de equilíbrio dinâmico existentes entre os diferentes “pools” desse elemento. Assim, as propriedades físicas e químicas do solo, as interações planta-solo e a atividade biológica afetam a fixação e a liberação de K (Zörb et al., 2014).

Figura 1 - Inter-relação das formas de K e os efeitos dos microrganismos e dos exsudatos radiculares



Fonte: Zörb et al. (2014)
Diagramação: Sérgio Cobel da Silva

A maior parte do K no solo está na forma estrutural, composta principalmente por minerais primários que contêm o elemento, tais como muscovita, biotita e feldspatos. Os feldspatos podem liberar K diretamente para a solução do solo, enquanto que o K contido entre as camadas de micas é mantido firmemente ligado por forças eletrostáticas. O intemperismo dos feldspatos e das micas provenientes dos materiais de origem do solo produzem minerais secundários que representam a fonte potencial de K disponível às plantas. O K nas micas trioctaédricas (como biotita e flogopita) é o mais facilmente liberado pelo intemperismo. Dessa forma, a aplicação de biotita a solos deficientes em K pode aumentar o teor desse nutriente disponível às plantas (Öborn et al., 2005).

A formação de minerais expansíveis dioctaédricos 2:1 a partir da biotita é uma forma de aumentar a quantidade de K na solução do solo. Entretanto, o intemperismo de minerais primários contendo K é muito lento. Daí, aplicar apenas biotita como fonte de K pode prejudicar o crescimento da planta, especialmente quando comparada aos fertilizantes solúveis. Entretanto, a adição de pó-de-rocha potássico (minerais primários contendo K) pode aumentar a fertilidade do solo a longo prazo em relação ao potássio, pois aumenta o K depositado no sistema. Espécies de plantas eficazes na absorção de K e populações microbianas solubilizadoras desse elemento podem ser dois outros fatores-chave a controlarem a liberação de K dos minerais do solo (Zörb et al., 2014).

A Figura 2, a seguir, ilustra o ciclo do K no solo.

Figura 2 – Ciclo do potássio no solo



Fonte: Duarte (2024)

Alguns microrganismos do solo (por exemplo, *Pseudomonas* spp., *Burkholderia* spp., *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Bacillus mucilaginosus*, *Bacillus edaphicus*, *Bacillus*

megaterium) são capazes de liberar K dos minerais que os contêm pela excreção de ácidos orgânicos. Esses ácidos dissolvem diretamente o K da rocha (minerais primários contendo K) ou quelam os íons de silício do mineral primário para trazer o K para a solução. Portanto, a inoculação de microrganismos solubilizadores de K juntamente com a aplicação de pó-de-rocha potássico ao solo têm ganhado recentemente muita atenção. Os exsudatos desses microrganismos podem aumentar de forma efetiva a liberação de K dos minerais de argila. A aplicação ao solo de micas e/ou feldspatos inoculados com microrganismos solubilizadores de K podem aumentar a solubilidade do elemento na solução bem como a sua absorção pelas raízes das plantas (Sharma et al., 2024).

A utilização de fontes não trocáveis de K é um importante fator para a eficiência da absorção do nutriente pelas plantas. Espécies vegetais ou genótipos dentro de espécies diferem entre si em relação à sua capacidade de usar essas fontes. A diferença entre as culturas na absorção de potássio é geralmente atribuída não somente à eficiência na absorção, mas também à mobilização de K não trocável pelos exsudatos radiculares. Os principais compostos liberados são os ácidos orgânicos tais como os ácidos cítrico, oxálico, tartárico e málico. Também, os aminoácidos encontrados nos exsudatos radiculares aumentam a liberação de K dos minerais de argila. Quando a depleção do K na rizosfera cai abaixo de um nível limite ($10\mu\text{M} - 20\mu\text{M}$), ocorre um sinal-chave para ativar os mecanismos moleculares que culminam com a produção de exsudatos radiculares (Schneider et al., 2013).

Os ácidos orgânicos são conhecidos por facilitar o intemperismo dos minerais do solo por meio da formação de complexos metal-composto orgânico e por aumentar a troca de H^+ por K^+ . Um melhor entendimento dos mecanismos envolvidos na liberação de K dos minerais do solo é a chave para o desenvolvimento de novas abordagens para uma agricultura sustentável. No entanto, a origem do K absorvido pelas culturas e a contribuição do K não trocável são extremamente difíceis de se estimar devido à falta de métodos adequados em condições de campo ou mesmo em experimentos de laboratório. Mas, podemos concluir que as culturas têm diferenças entre si na transformação de K não trocável em formas solúveis. Dessa forma, em áreas onde o K é limitado, a seleção de espécies e variedades que sejam eficientes em solubilizar o K via exsudatos tem um grande potencial para aumentar a eficiência no uso desse nutriente (Zörb et al., 2014).

Além de liberarem K, os minerais do solo podem também fixá-lo, afetando significativamente a sua disponibilidade. A fixação está relacionada à adsorção dos íons K^+ nas camadas intermediárias entre lâminas intemperizadas de silicato, como a illita e a vermiculita. O grau de fixação de K nos solos depende do tipo de mineral de argila e da sua densidade de

cargas, da umidade do solo, da competição entre os íons e do pH do solo. Montmorilonita, vermiculita de micas intemperizadas são os principais minerais de argila que tendem a fixar o K. Além disso, a umidificação e a secagem do solo também afetam significativamente a fixação do K, por expandir e contrair, respectivamente, as argilas. O processo de fixação desse elemento é relativamente rápido, ao passo que a liberação do K fixado é muito lenta devido à forte força de ligação entre K e minerais de argila. A fixação ou a liberação desse nutriente no solo é altamente dependente da concentração de K na solução. Em adição aos ácidos orgânicos, a concentração de H^+ na solução do solo (via pH do solo) parece desempenhar um papel chave na liberação de K dos minerais de argila. Portanto, a otimização do pH do solo pode ser uma maneira de aumentar a liberação de K. Para otimizar as práticas de manejo de fertilizantes potássicos, é crucial entender os fatores que regulam a liberação de K do “pool” não trocável do solo (Portela et al., 2019).

Não há dúvidas sobre a capacidade do K de impactar a estrutura do solo bem como de aumentar a retenção de água. A aplicação de fertilizantes minerais potássicos melhora a estabilidade estrutural dos solos arenosos em particular. Esse efeito é devido a um aumento na concentração de eletrólitos na solução do solo, causando floculação e precipitação de sais cristalizados. Também, uma maior concentração de K na solução do solo pode causar um aumento na resistência ao microcisalhamento, o que pode explicar a mudança na retenção de água. Entretanto, Mg^{2+} e Ca^{2+} são cátions mais efetivos para estabilizar a estrutura do solo, uma vez que os poderes floculantes de K^+ , Mg^{2+} e Ca^{2+} são, respectivamente, 1,7; 27,0 e 43,0, respectivamente. Maior retenção de água significa uma garantia da produtividade do solo em áreas com limitação hídrica. Portanto, mais informações são necessárias para entender o efeito da fertilização com K nas propriedades físicas e na capacidade de retenção de água do solo (Raghavendra et al., 2021).

2.2 ADUBAÇÃO POTÁSSICA

Na produção agrícola, a adubação é feita não apenas para assegurar, mas também para sustentar um suprimento adequado de K solúvel às culturas. No entanto, as taxas e os períodos de aplicação de adubos orgânicos e inorgânicos são muitas vezes baseados no suprimento ótimo de N e não nos requerimentos de K. Isso pode levar a um excesso ou a um abaixamento de K, dependendo da cultura e das características do solo (Xu et al., 2020).

Portanto, o monitoramento das reservas de K do solo é extremamente importante para tornar as recomendações de adubação potássica precisas.

Para a recomendação de adubação potássica, é fundamental a análise química do solo, sendo de grande importância o processo de amostragem, que deve garantir a representatividade da condição geral de K da área. Um erro nesse processo pode comprometer as etapas seguintes para a definição das quantidades de adubo aplicadas na cultura. A profundidade da amostragem, para a maioria das plantas cultivadas, deve ser feita, pelo menos, de 0 a 20 cm. No cultivo de frutíferas e silvícolas, a camada de 20 a 40 cm de profundidade também deve ser amostrada. A área a ser amostrada deve ser dividida em estratos, glebas ou talhões de, no máximo, 10 hectares, homogêneos em relação aos seguintes aspectos: cor, topografia, textura, drenagem, grau de erosão, tipo de vegetação ou cultura anterior, histórico de uso, manejo e produtividade agrícola. Para cada talhão homogêneo e profundidade, deverá ser formada uma amostra composta (Figura 3), constituída de amostras simples coletadas separadamente, caminhando-se ao acaso em ziguezague (Figura 4). Posteriormente, devem ser misturadas para formar a amostra composta, que será encaminhada ao laboratório. O número de amostras simples não deve ser inferior a 10 pontos por talhão homogêneo. Vale lembrar que quanto maior o número de amostras simples, maior será a representatividade da amostra composta (Borges e Accioly, 2020).

Figura 3 – Divisão da área heterogênea em três talhões homogêneos



Foto: Luciano da Silva Souza
Fonte: Borges e Accioly (2020)

Figura 4 – Coleta de amostras simples em ziguezague em dois talhões homogêneos

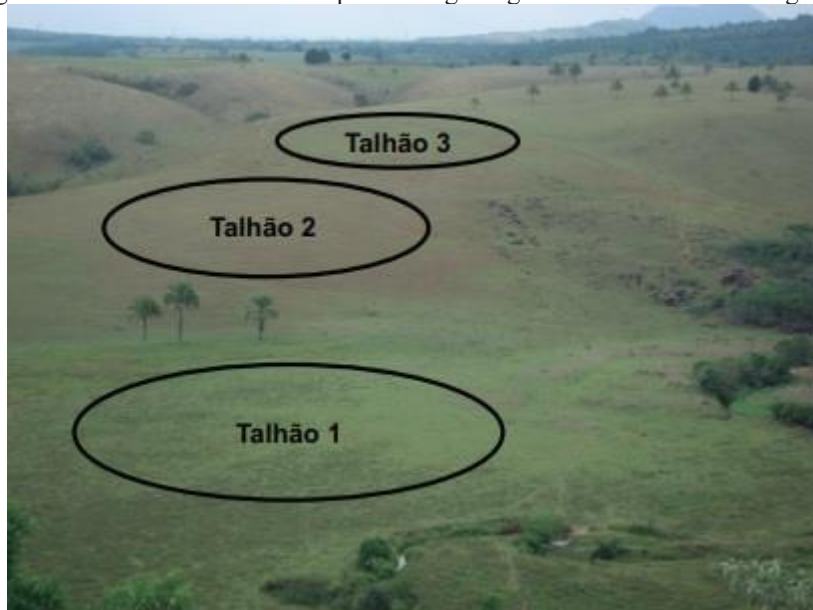


Foto: Luciano da Silva Souza
Fonte: Borges e Accioly (2020)

A precisão e a exatidão da amostragem devem ser de modo a, subsequentemente, podermos afirmar, com o mínimo de dúvidas possível, o quanto de adubo potássico é necessário para aplicar.

Métodos simples de extração de solo para medição de K trocável são amplamente usados para estimar a demanda de adubos potássicos de uma cultura. A estimativa de K trocável do solo, com acetato de amônio, cloreto de amônio, cloreto de cálcio ou fluoreto de amônio (Mehlich 3), de amostras de solo secas ao ar ou em estufa é o teste de solo mais amplamente usado para K e fornece a base para a maioria das recomendações de adubação potássica ao redor do mundo (Zörb et al., 2014).

Nesse caso, o procedimento de preparação inclui a secagem de amostras de solo a um máximo de 40°C e a trituração para que possa passar em uma peneira de 2 mm a fim de fornecer uma mistura homogênea para análise. Entretanto, é amplamente reconhecido que a secagem de amostras de solo pode influenciar a quantidade de K extraída pelos extratores tradicionais. Pode haver um aumento no K extraível após a secagem (Zebec et al., 2017).

Também, é postulado que solos com altos teores de K trocável tendem a fixar o elemento e solos com baixos teores de K trocável tendem a liberá-lo após a secagem (Steiner et al., 2015). O impacto da secagem da amostra sobre o K extraído pelos testes que estimam o K trocável depende da mudança da concentração do elemento em equilíbrio no momento da amostragem e da mineralogia do solo. Solos ricos em ilita tendem a liberar K durante a secagem enquanto solos ricos em vermiculita e montmorilonita tendem a fixá-lo (Zörb et al., 2014).

Outro método de extração de K, chamado de método de extração úmida (extração com acetato de amônio em solos de campos úmidos), apresenta uma melhor correlação entre a produção e o K absorvido pela cultura do que os métodos de extração de K de solos secos ao

ar. Os testes de K com extração úmida têm uma capacidade superior em predizer as respostas das culturas à adubação potássica quando comparado ao método comumente usados de extração seca. No entanto, poucos laboratórios têm adotado os métodos de extração úmida devido aos procedimentos impraticáveis, tais como o de peneirar solos úmidos (Barbagelata e Mallarino, 2012).

Os métodos de extração discutidos acima fornecem informação suficiente para recomendações de adubação em solos de textura leve, que não contêm minerais de argila do tipo 2:1. Em solos que contêm esses minerais, no entanto, o “*pool*” de K não trocável geralmente contribui amplamente, às vezes em mais de 50%, para o suprimento de K às culturas (Mengel e Kirkby, 2001).

A medida do K do solo disponível às plantas, que é liberado das reservas não trocáveis, é muito difícil devido à complexidade do equilíbrio dinâmico entre as várias formas do elemento durante o ciclo das plantas. Dessa forma, não há métodos de rotina disponíveis para medir essa variável. No entanto, vários métodos foram estabelecidos para avaliar o K no solo lentamente ou potencialmente disponível. Por exemplo: extração com HCl 1 M, fervura em HNO₃ 0,5 M ou 1,0 M, eletro-ultrafiltração, resinas de troca, teste de Jackson (tetrafenilborato de sódio, NaTPB) e balanços de campo (Zörb et al., 2014).

No entanto, os métodos comuns de extração ácida removem somente uma proporção das reservas de K no “*pool*” não trocável. Em solos de textura leve, a fervura do solo com HNO₃ 0,5 M prediz melhor o K disponível para a absorção pelas raízes das plantas do que outros métodos de extração ácida. Por outro lado, a fervura com HNO₃ 1,0 M extrai mais K do que aquele disponível para as culturas (Øgaard and Krogstad, 2005).

Os fertilizantes potássicos são formados de depósitos geológicos salinos, sendo materiais com alta concentração de K₂O, solúvel em água e de ação rápida (Reetz, 2017).

- Cloreto de potássio (KCl) ou muriato de potássio (MOP): A maioria dos depósitos de K ocorre como KCl (silvita) ou misturado com NaCl (halita) no mineral silvinita, geralmente em antigos depósitos marinhos enterrados profundamente abaixo da superfície da Terra. No processamento, o mineral, é moído e KCl mais NaCl são separados. O KCl tem 60% a 63% de K₂O (50% a 52% de K e 45% a 47% de Cl). É usualmente aplicado na superfície à lanço antes da aração, ou aplicado em sulcos, próximo à linha das sementes. Por causa do alto teor de sal, o KCl não deve ser colocado em contato direto com a semente. Ele se dissolve prontamente na solução do solo liberando K⁺ e Cl⁻. O K⁺ se liga aos locais de troca de cátions das argilas e da matéria orgânica. A maior parte do fertilizante KCl é branca, mas alguns materiais podem ser avermelhados devido à presença de pequenas quantidades de óxido de ferro; mas ambos são

idênticos para uso agrícola. Formas puras de KCl podem ser dissolvidas para uso como fertilizante líquido ou aplicação na água de irrigação.

- Sulfato de potássio (K_2SO_4) ou sulfato de potassa (SOP): Tem 48% a 53% de K_2O e 17% a 18% de S. O sulfato de potássio é encontrado em depósitos minerais misturado com outras substâncias. Os componentes são separados pela lavagem com água. O K do sulfato de potássio funciona de modo semelhante ao KCl, mas é também uma fonte importante de enxofre onde o solo é deficiente nesse nutriente. O sulfato de potássio é menos solúvel do que o cloreto de potássio. Desse modo, não é comumente usado na água de irrigação. Mas o sulfato de potássio é algumas vezes aplicado na forma de pulverização foliar se ambos, K e S, são necessários. É também usado para fornecer K às plantas sensíveis ao Cl.

- Sulfato de potássio e magnésio ($K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$): É também chamado de langbeinita, sulfato de potássio e magnésia ou comercialmente de sulpomag. A langbeinita é um mineral encontrado em poucos locais no mundo. Ele vem de minas abaixo do solo próximo a Carlsbad (Alemanha) e Novo México (EUA). A langbeinita tem 21% a 22% de K_2O , 10% a 11% de Mg e 21% a 22% de S. É um fertilizante popular onde os três nutrientes são necessários. Ele é solúvel em água, mas se dissolve lentamente, de modo diferente de outros fertilizantes contendo Mg e S. Tem um efeito neutro no pH do solo.

- Nitrato de potássio (KNO_3) ou salitre potássico: É um fertilizante popular para culturas de alto valor que necessitam de N na forma de nitrato e também do K. É especialmente popular como fonte de K para culturas que são sensíveis ao Cl. Tem 13% de N e 44% a 46% de K_2O . Pode ser aplicado ao solo ou como tratamento foliar para estimular o desenvolvimento dos frutos quando a atividade radicular está declinando. É também uma fonte comum de nutrientes para fertirrigação.

- Vários resíduos industriais contendo K (por exemplo, poeira de filtros) têm sido desenvolvidos para uso como formas de ação lenta, especialmente onde se deseja evitar perdas por lixiviação.

Os fertilizantes potássicos devem ser, geralmente, aplicados na época do plantio. Os íons de K^+ são adsorvidos no solo, permanecendo disponíveis, largamente protegidos contra a lixiviação. Entretanto, dividir as aplicações é recomendável para algumas culturas em solos e climas onde são esperadas altas taxas de perdas por lixiviação. Alguma imobilização dentro das camadas da estrutura de certas argilas reduz a disponibilidade, mas fixação forte para formas completamente indisponíveis é restrita a uns poucos tipos especiais de solos. A taxa de utilização de K nos fertilizantes é cerca de 50% a 60% (Reetz, 2017).

2.3 POTÁSSIO NAS PLANTAS

As concentrações de K nas plantas variam amplamente com o local, o ano, a espécie plantada e o tipo de fertilizante usado. São encontradas numa faixa que vai de 0,4% a 4,3% (Askegaard et al., 2004). A concentração de K no citoplasma é mantida relativamente constante na faixa de 50 mM a 150 mM, enquanto que a concentração no vacúolo varia amplamente de acordo com o “*status*” da planta em K. Juntamente com os ânions acompanhantes (NO_3^- , Cl^- , malato, citrato), o K vacuolar determina grandemente o potencial osmótico da seiva celular. Altas concentrações de K nas culturas têm sido muitas vezes relacionadas a “consumo de luxo”. Entretanto, conforme será visto, a acumulação de K pelas culturas durante o crescimento da planta pode ser considerada como uma “estratégia de segurança” para habilitá-la a sobreviver melhor durante um estresse ambiental repentino (Zörb et al., 2014).

As espécies de plantas diferem em seus requerimentos por K e em suas habilidades para absorver esse elemento. As diferenças na absorção de K entre as diferentes espécies de plantas são atribuídas a variações na estrutura da raiz, tais como densidade radicular, profundidade de enraizamento e comprimento dos pelos radiculares. Existem correlações positivas entre eficiência de absorção de K e comprimento dos pelos radiculares ou sistemas radiculares mais densos. Essas duas variáveis morfológicas podem esgotar o K em volumes maiores de solução do solo, e essa depleção pode iniciar a liberação do K não trocável (Shin, 2014).

O K exerce na planta as seguintes funções (Rengel et al., 2023):

Ativação Enzimática: O K é considerado essencial ao funcionamento de mais de 50 enzimas, atuando como cofator ou efector alostérico. Enzimas como sintetases e quinases dependem do K para sua atividade normal. O K está relacionado às mudanças na conformação das moléculas, a qual aumenta a exposição dos sítios ativos para ligação com o substrato. Em geral, as mudanças de conformação induzidas pelo K^+ nas enzimas aumentam a taxa das reações catalíticas (V_{max}) e/ou a afinidade pelo substrato (K_m).

Síntese de Proteínas: O K é crítico para a estrutura e o funcionamento dos ribossomos. O RNA ribossômico (rRNA), que catalisa e regula a síntese de proteínas, depende de íons metálicos, incluindo o K, para o seu funcionamento adequado. Declínios na concentração de K citossólico devido a deficiência desse elemento no solo pode inibir significativamente a síntese de proteínas. Em folhas verdes, o cloroplasto contém cerca da metade de todo RNA e de toda proteína da célula. Nas espécies C3, a maior parte das proteínas dos cloroplastos é a rubisco. Consequentemente, a síntese dessa enzima é particularmente prejudicada sob deficiência de K, respondendo rapidamente ao seu restabelecimento. Sob deficiência de K, os tecidos vegetais acumulam compostos solúveis nitrogenados (aminoácidos, amidas e nitrato).

Fotossíntese: O K influencia a fotossíntese anatomicamente, fisiologicamente e bioquimicamente. Ele desempenha papel fundamental na condutância do CO_2 no mesófilo, na estrutura do cloroplasto, na atividade da rubisco e no transporte de fotoassimilados via floema. O efeito do K na fixação do CO_2 foi inicialmente demonstrado em cloroplastos isolados, onde um aumento na concentração externa desse elemento até 100 mM estimulou a fixação do CO_2 três vezes. Sob iluminação, influxo adicional de K do citosol é requerido para manter um alto pH no estroma, necessário para a atividade ótima da rubisco.

Como principal osmólito inorgânico da célula, o K é crítico para a regulação do turgor das células-guarda e, dessa forma, para o movimento estomático e a difusão do CO₂. A deficiência de K resulta muitas vezes no decréscimo da condutância estomática, o que pode ter um efeito negativo sobre a fotossíntese. Essas mudanças estão comumente associadas com mudanças na anatomia foliar, tais como decréscimo na espessura da folha, células do mesófilo menores e redução do espaço aéreo interno da folha

A fotorrespiração decresce em resposta à deficiência de K. Isso pode ser devido à depleção de CO₂ nos sítios catalíticos da rubisco. Por outro lado, a respiração escura aumenta sob deficiência desse nutriente, podendo refletir em maior disponibilidade de substrato (açúcar).

A atividade fotossintética é influenciada pelo transporte e pela utilização de fotoassimilados. O aumento no acúmulo de sacarose em folhas de plantas deficientes em K pode exercer um “*feedback*” negativo sobre a assimilação de CO₂ por limitar a sua absorção pelas células do mesófilo e decrescer a atividade da rubisco.

A elevação no teor de CO₂ atmosférica melhora a atividade fotossintética das plantas, principalmente as C₃. Entretanto, quando as plantas sofrem de deficiência de K, o impacto positivo esperado na elevação do CO₂ atmosférico fica significativamente prejudicado.

Osmorregulação: Um alto potencial osmótico no estelo da raiz é um pré-requisito para o transporte de solutos dirigido pela pressão de turgor no xilema e para o balanço hídrico das plantas, sendo o K um elemento fundamental nesses processos.

- **Extensão Celular:** A extensão celular envolve a formação de um grande vacúolo central ocupando entre 80% e 90% do volume da célula. Há três requisitos principais para a extensão da célula: (1) extensibilidade celular (reorganização ou afrouxamento da parede celular), (2) síntese e deposição dos componentes da parede celular recém-formada) e (3) acumulação de solutos para criar o potencial osmótico interno necessário para a pressão de turgor. Na maior parte dos casos, a extensão celular é devido ao acúmulo de K nas células, o qual é requerido para estabilizar o pH no apoplasto e no citoplasma e para abaixar o potencial osmótico nos vacúolos. Um decréscimo no pH apoplástico é necessário para ativar as enzimas envolvidas no afrouxamento da parede celular.

A extensão celular nas folhas e nas raízes está correlacionada positivamente com o teor de K. A deficiência desse nutriente reduz o turgor, o tamanho da célula e a área foliar. Além disso, uma taxa reduzida de expansão foliar é um indicador altamente sensível de deficiência de K nas plantas cultivadas. Açúcares e outros solutos orgânicos de baixo peso molecular também contribuem para o potencial osmótico e a expansão celular dirigida pelo turgor. Entretanto, essa contribuição depende do estado nutricional da planta em K. Após finalizada a expansão celular, o K⁺ pode ser substituído, para a manutenção do turgor nos vacúolos, por outros solutos tais como Na⁺ ou açúcares redutores.

- **Movimento Estomático:** Na maior parte das espécies de plantas, o K⁺ e os seus contra-íons acompanhantes desempenham um papel fundamental nas mudanças de turgor das células-guarda durante o movimento de abertura e fechamento dos estômatos. Um aumento na concentração de K nas células-guarda resulta num decréscimo do potencial osmótico e, dessa forma, na absorção de água das células adjacentes, resultando em um aumento do turgor dessas células e, conseqüentemente, na abertura dos estômatos.

O fechamento dos estômatos é induzido pelo escuro, pela desidratação da planta e pelo fitormônio ABA, e está associado com o rápido efluxo de K e seus ânions acompanhantes das células-guarda. Ao contrário da abertura estomática que é feita por transporte ativo, o fechamento dos estômatos é devido a liberação de solutos ao longo de um gradiente de concentração. O fechamento estomático está associado com um forte aumento nas concentrações de K e Cl no apoplasto das células-guarda.

- **Movimentos Fotonásticos e Seismonásticos:** Nas folhas de muitas plantas, particularmente nas fabáceas, as folhas reorientam sua lâmina fotonasticamente em resposta a um sinal luminoso, seja não direcional (ritmo circadiano; por exemplo, lâminas foliares que se dobram no escuro e se desdobram na luz) ou direcional (por exemplo, reorientação em direção a uma fonte de luz). Essas respostas fotonásticas aumentam a interceptação de luz ou previnem danos por excesso de luz. Os

movimentos de folhas e folíolos são provocados por mudanças reversíveis no turgor de tecidos especializados (órgãos motores ou pulvini). As mudanças de turgor causam encolhimento e inchaço nas células (extensor e flexor, respectivamente) do órgão motor. Os principais solutos envolvidos na osmorregulação são K^+ , Cl^- e malato, induzindo o fluxo de água através da membrana plasmática, e particularmente pelas aquaporinas, seguido pela mudança de volume e pelo movimento do folíolo. Os princípios do mecanismo responsáveis pelo movimento estomático também se aplicam ao movimento nas folhas e nos folíolos.

Embora mecanismos similares sejam responsáveis pelo movimento de folhas e outras partes das plantas em resposta à luz e estímulos mecânicos, há diferenças na velocidade de resposta aos sinais sismonásticos. Em *Mimosa pudica*, os folíolos se dobram em poucos segundos e reabrem depois de cerca de 30 minutos. Essa resposta regulada pelo turgor está correlacionada com a redistribuição de K dentro do órgão motor e a liberação repentina da sacarose do floema. Em reações sismonásticas, também ocorre um rápido transporte de longa distância do “sinal” do folíolo tocado para outros folíolos. Esse “sinal” é um potencial de ação, que é carregado no floema para os órgãos motores a uma alta velocidade, induzindo a descarga de sacarose do floema para o órgão motor.

Transporte no Floema: O K tem importantes funções no carregamento de sacarose e na taxa de transporte de solutos dirigido por fluxo de massa nos tubos crivados do floema. Essas funções do K estão relacionadas a (1) necessidade de manutenção de um alto pH nos tubos crivados para o carregamento da sacarose e (2) contribuição do K para o potencial osmótico nos tubos crivados e, portanto, para a taxa de transporte de fotoassimilados da fonte para o dreno. O papel do K no carregamento do floema e na partição de fotoassimilados fica evidente pela comparação da distribuição relativa de carboidratos entre a parte aérea e as raízes de plantas suficientes e deficientes em K. O transporte de fotoassimilados para as raízes é fortemente reduzido em plantas deficientes em K.

Um menor transporte de assimilados para os drenos resulta em raízes com crescimento reduzido em plantas deficientes de K. Em comparação com plantas deficientes nesse elemento, os nódulos radiculares das leguminosas com suprimento adequado em K têm mais açúcares, o que aumenta a sua taxa de fixação de N_2 e a exportação de compostos nitrogenados.

O transporte de aminoácidos no floema é afetado tanto pelo processo de carregamento da sacarose como pela pressão osmótica (fluxo de massa) nos tubos crivados. Dessa forma, qualquer comprometimento no carregamento da sacarose ou no fluxo de massa no floema devido a deficiência de K causa um correspondente declínio no transporte de aminoácidos pelo floema. Assim, um dos efeitos positivos da nutrição potássica adequada na planta é o aumento do teor de proteínas nas sementes, o que está relacionado ao aumento no transporte de aminoácidos.

Transferência de Energia: Além do seu papel no transporte de assimilados, a circulação de K no floema pode servir como um estoque de energia descentralizada que pode ser usado em um local específico na planta onde haja necessidade, como por exemplo em uma área sombreada. Nesse caso, há uma captação de K e sua consequente liberação para dentro do floema, seguida do carregamento e descarregamento sob condições limitantes de energia.

Balanco Cátion-Ânion: O K desempenha um papel fundamental no balanço de cargas aniônicas em diferentes organelas tais como cloroplastos e vacúolos, bem como no xilema e no floema. O papel do K^+ no balanço cátion-ânion é importante no metabolismo do nitrato (NO_3^-), onde o K^+ é muitas vezes o contra-íon dominante para esse ânion no transporte à longa distância no xilema, bem como para o seu armazenamento nos vacúolos. À medida em que o NO_3^- é reduzido nas folhas, o K^+ remanescente requer a síntese estequiométrica de ânions de ácidos orgânicos para o balanço de cargas; assim, K^+ e malato podem ser transportados para as raízes para subsequente utilização de K^+ como um contra-íon para o NO_3^- para o transporte pelo xilema. Em leguminosas noduladas, essa recirculação de K^+ pode ter uma função similar no transporte de amonoácidos no xilema.

2.4 SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA DE POTÁSSIO

A Figura 5 a seguir mostra sintomas de deficiência de K em milho.

Figura 5 – Sintomas de deficiência de potássio (K) em plantas de milho: detalhe da necrose da ponta e margem das folhas mais velhas



Fotos: Magna Maria Macedo Nunes Costa
Fonte: Adaptado de Ferreira (2012)

Os sintomas de deficiência de K no milho começam a aparecer quando as plantas ainda são jovens e ocorrem inicialmente nas folhas mais velhas porque o K é um nutriente facilmente móvel no floema (Ferreira, 2012). O sintoma característico é uma necrose que aparece nas pontas das folhas evoluindo para baixo, nas bordas do limbo (Figura 5). Como nas pontas e nas bordas do limbo foliar encontram-se as terminações dos vasos do xilema, a planta deficiente em K vai sofrer falta desse elemento nessa parte da folha, deixando o K de realizar normalmente suas funções como ativação enzimática, síntese de proteína, fotossíntese e osmorregulação, ficando ressecada (morta). Essa necrose pode evoluir para a nervura central.

A Figura 6 a seguir mostra sintomas de deficiência de K em feijão-caupi.

Figura 6 – Sintomas de deficiência de potássio (K) em plantas de feijão-caupi: manchas pardas espalhadas por todo o limbo foliar



Fotos: Magna Maria Macedo Nunes Costa

Os sintomas de deficiência de K no feijão-caupi ocorrem inicialmente nas folhas mais velhas porque o K é um nutriente facilmente móvel no floema (Ferreira, 2012). O sintoma

característico são manchas pardas que se espalham por todo o limbo foliar. À medida em que as folhas envelhecem, essas manchas evoluem para necrose. Esses sintomas estão relacionados com as funções já discutidas que o K exerce nas plantas – ativação enzimática, síntese de proteínas, osmorregulação, transporte no floema, transferência de energia e balanço cátion-ânion.

A Figura 7 a seguir mostra sintomas de deficiência de K em sorgo-sacarino.

Figura 7 – Sintomas de deficiência de potássio (K) em folhas de sorgo-sacarino. Manchas escuras avermelhadas e necrose de formato retilíneo



Fotos: Oscar Fontão de Lima Filho
Fonte: Lima Filho (2014)

Inicialmente, nas folhas mais velhas, há ocorrência de manchas escuras avermelhadas e necrose de formato retilíneo ao longo das nervuras secundárias e das bordas, começando das extremidades para a nervura principal, além de secamento da ponta da folha. Ocorre, também, enrolamento parcial da borda para o centro no terço superior da folha e paralisação do crescimento dos internódios, dando à planta a aparência de um leque, com as bainhas das folhas sobrepostas (Figura 7).

Na Figura 8, observam-se os sintomas de deficiência de K em pinhão manso.

Figura 8 – Sintomas de deficiência de potássio (K) em plantas de pinhão manso. Manchas e pontuações, inicialmente cloróticas e depois necróticas, começando nas margens de folhas mais velhas



Fotos: Oscar Fontão de Lima Filho
Fonte: Lima Filho (2014)

Os sintomas de deficiência de K no pinhão manso ocorrem inicialmente nas folhas mais velhas porque o K é um nutriente facilmente móvel no floema (Ferreira, 2012). Os sintomas característicos são manchas e pontuações, inicialmente cloróticas e depois necróticas (Figura 8). Posteriormente, pode ocorrer murchamento (Lima Filho, 2020).

A Figura 9 a seguir mostra sintomas de deficiência de K em algodão (Borin et al., 2013).

Figura 9 – Sintomas de deficiência de potássio (K) em plantas de algodoeiro. Foto à esquerda: Evolução dos sintomas de deficiência de potássio nas folhas de algodoeiro (da esquerda para a direita). Foto à direita: Sintoma tradicional de deficiência de potássio nas folhas mais velhas do “baixeiro” em algodoeiro



Fotos: Gilvan Barbosa Ferreira
Fonte: Adaptado de Borin et al. (2013)

2.5 SINTOMAS DE EXCESSO DE POTÁSSIO

Apesar das plantas cultivadas terem consumo de luxo de potássio (Kaminski et al., 2007), não há um sintoma característico de excesso desse nutriente.

Algumas vezes, a sintomatologia de excesso confunde-se com danos causados por salinidade do solo devido à solubilidade dos fertilizantes potássicos. Altos teores de K no solo pode induzir nas plantas sintomas de deficiência de cálcio e magnésio (Mengel e Kirkby, 2001).

2.6 EFEITO DO POTÁSSIO SOBRE AS CULTURAS DO ALGODÃO, DO AMENDOIM, DO GERGELIM, DA MAMONA E DO SISAL

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) é a cultura de maior importância no mercado internacional de *commodities*. O desempenho da safra 2023/2024 de algodão, com uma colheita de mais de 3,7 milhões de toneladas, elevou o Brasil ao posto de maior produtor do mundo. O país também se tornou, oficialmente, e pela primeira vez na história, o maior exportador de algodão do mundo, superando os Estados Unidos (Silva, 2024).

Esse resultado se deu graças às pesquisas e inovações nas áreas de melhoramento genético, controle biológico, biotecnologia, mecanização agrícola, sanidade vegetal e sistemas de produção, possibilitando o aumento da produtividade de algodão ao nível de pequenos, médios e grandes cotonicultores do Brasil.

Uma das etapas mais importantes do sistema produtivo é a adubação. Plantas bem nutridas quantitativamente e proporcionalmente têm maior potencial para enfrentar estresses bióticos e abióticos. O K é o segundo nutriente mais exigido em quantidade pela cultura do algodoeiro, ficando atrás apenas do N. Ele é essencial para garantir altas produtividades, boa qualidade da fibra e resistência a pragas e doenças. Participando de diversas funções nas plantas, como ativação enzimática, síntese proteica, transporte no floema e osmorregulação, o K é muito importante na amenização de estresses bióticos e abióticos. Em ambientes onde há estresse hídrico, o K auxilia o algodoeiro a reduzir a perda de água por transpiração. Isso é particularmente importante em regiões semiáridas, onde o algodoeiro é muitas vezes cultivado. O K aumenta a deposição de celulose nas paredes internas das fibras, melhorando o índice Micronaire, principal indicador do tamanho, da resistência e da qualidade da fibra. Também tem efeito positivo na uniformidade da fibra, aumentando o seu valor comercial na indústria têxtil, que exige matéria-prima de alta qualidade. Dessa forma, é importante que o cotonicultor priorize a adubação potássica (Borin et al., 2013).

O algodoeiro é uma cultura muito responsiva ao K em termos de produtividade e qualidade de fibra, especialmente sob condições adequadas de umidade do solo, altas temperaturas e alta intensidade luminosa. Apesar disso, é uma cultura que apresenta uma taxa diária de consumo hídrico relativamente baixa (cerca de 6,5 mm dia⁻¹, na fase de maior demanda transpiratória), mesmo em climas quentes e com suprimento adequado de água no solo. No caso de variedades precoces, o consumo hídrico durante o ciclo vegetativo não ultrapassa 450 mm. Nas variedades modernas, no final do ciclo, é comum ocorrer deficiência de K, pois coincide com épocas de menor precipitação pluviométrica. Como a maior parte do K depende da água para ser transportado para perto das raízes, pode ocorrer uma deficiência do nutriente no final do ciclo da planta (Oliveira et al., 2004).

No geral, o algodoeiro não se destaca como uma planta com alta densidade de raízes quando comparada, por exemplo, ao milho, à soja e ao amendoim. A taxa de depleção de K na rizosfera está em torno de 30% e geralmente não ultrapassa 5 a 10 mm da raiz, uma distância muito pequena quando comparada a outras plantas cultivadas. A taxa de absorção de K pelas raízes do algodoeiro depende da densidade, do comprimento e da área superficial das raízes, características fortemente influenciadas pelo teor do nutriente no meio e suas interações com a estrutura, o pH e a umidade do solo. Esses fatores tornam-se especialmente importante na época de enchimento das maçãs (Rosolem et al., 2003).

O algodoeiro extrai K do solo a taxas que vão até 5,6 kg ha⁻¹ dia⁻¹ durante as fases de florescimento e frutificação. Para cada quilograma de fibra produzida é necessária a absorção de 0,13 kg de K, de modo que uma lavoura de algodão de alta produtividade pode retirar mais de 250 kg ha⁻¹ de K do solo. O fruto, incluindo sua casca, é o dreno

dominante de K na planta. A deficiência de K causa perdas na produção e na qualidade da fibra. A planta tem ciclo mais curto, com maturação antecipada e decréscimo na produção de frutos, fibras e sementes. À medida que a deficiência se torna mais severa, há redução na retenção de botões florais e frutos, além da queda prematura das folhas (Rosolem e Witacker, 2007).

Uma pesquisa foi conduzida por El-Gayed e Bashandy (2018) para estudar a resposta do algodoeiro à fertilização com K no solo e foliar. Os resultados mostraram que esse nutriente aumentou a altura das plantas, o número de ramos reprodutivos por planta, o número de flores por planta, o rendimento de algodão em caroço, a precocidade, o peso das sementes e os teores foliares de N, K, clorofilas *a* e *b*, especialmente sob condição adequada de umidade no solo.

Sarhan e El Gayed (2022) demonstraram que o algodoeiro, quando submetido a estresse hídrico, diminui significativamente a absorção de nutrientes, a formação de pigmentos foliares, o crescimento vegetativo e as variáveis relacionadas à produção de algodão. Entretanto, esse efeito negativo pode ser recompensado com a aplicação de K, ou seja, esse nutriente aumenta a tolerância à seca do algodoeiro, provavelmente devido ao seu efeito na continuação da abertura estomática quando as plantas são submetidas a essa condição adversa.

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.) pertence à família Fabaceae, sendo considerada uma importante planta leguminosa consumida em todo mundo devido a sua riqueza em calorias, óleos, proteínas e vitaminas. É originária da América do Sul, sendo já cultivada pelas populações indígenas antes da chegada dos colonizadores europeus. É consumido *in natura*, torrado, cozido ou industrializado. Seus subprodutos, óleo, farinha e farelo, são amplamente utilizados por possuírem alto teor de proteína (Sousa e Ferrarezi Junior, 2022).

No Brasil, a produtividade de amendoim na safra 2021/2022 foi de 744 mil toneladas, 24,6% a mais do que na safra anterior, tendo São Paulo como o estado de maior área cultivada, com 179 mil hectares (CONAB, 2022).

Uma das etapas mais importantes do sistema produtivo é a adubação. Plantas bem nutridas quantitativamente e proporcionalmente têm maior potencial para enfrentar estresses bióticos e abióticos. O K é o segundo nutriente mais exigido em quantidade pela cultura do amendoim, ficando atrás apenas do N. Sendo importante na condutância estomática e no transporte de carboidratos, quando bem supridas com K, as plantas de amendoim são mais tolerantes à seca, usam mais eficientemente a água e são mais produtivas.

No Brasil, segundo Cordeiro et al. (2023), a recomendação de K para o amendoim tipo runner é de 116 kg ha⁻¹, em solo com baixo teor do elemento, mas os agricultores aplicam 25 kg ha⁻¹ de K no plantio e não realizam adubação de cobertura.

O amendoim remove muito K do solo por ocasião da colheita, resultando em depleção desse nutriente, o que leva à necessidade de estar sempre renovando as adubações potássicas. Além disso, em solos arenosos, que são os mais usados para o plantio dessa cultura, ocorre lixiviação, principalmente sob irrigação ou em áreas com alta precipitação.

Segundo Meneghette et al. (2017), a adubação e a nutrição potássica do amendoim são assuntos discutíveis, uma vez que, apesar da grande capacidade de extração de K do solo apresentada por esta espécie vegetal, as respostas a critérios de fertilização a ela aplicados não podem ainda ser generalizados, principalmente devido ao grande poder de aproveitamento das adubações anteriores.

Uma pesquisa foi realizada por Almeida et al. (2015) para avaliar o efeito do K sobre o estado nutricional e a produtividade de grãos de amendoim. Os tratamentos consistiram da aplicação de 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹ de K₂O e uma testemunha (sem

K) na variedade Runner. O K resultou em aumento significativo no número de folhas e altura, teores de K ($50 - 70 \text{ g kg}^{-1}$) e produtividade de grãos, obtendo-se 2.790 kg ha^{-1} na dose de 120 kg ha^{-1} .

Um outro experimento foi realizado por Zoz et al. (2018) com o intuito de maximizar o rendimento do amendoim através da adubação potássica. Foram testadas as doses 0, 30 e 60 kg ha^{-1} de K_2O na semeadura da variedade Runner. A adubação com K promoveu aumento de cerca de 38% e 49%, respectivamente, no rendimento de vagens e grãos.

O gergelim (*Sesamum indicum* L.) é uma planta anual herbácea originária do continente africano, pertencente à família das pedaliáceas. O seu cultivo ocorre em cerca de 71 países, especialmente dos continentes asiático e africano, sendo Índia e China responsáveis por 70% da produção mundial de sementes dessa oleaginosa, que é estimada em 3,6 milhões de toneladas, obtidas em 7,5 milhões de hectares e com produtividade média de $478,2 \text{ kg ha}^{-1}$. O Brasil produz cerca de 16 mil toneladas, produzidas em 25 mil hectares e com rendimento em torno de 650 kg ha^{-1} (Pontes et al., 2021).

O K é um elemento essencial para o crescimento, o desenvolvimento e a qualidade das cápsulas nas plantas de gergelim. Entretanto, se aplicado em excesso, pode interferir negativamente na absorção de Ca e Mg, tornando a planta deficiente nesses elementos.

Arriel et al. (2007), a extração de K do solo pelo gergelim depende da produção, do estado nutricional e da variedade utilizada. Em geral a planta precisa de 60 kg ha^{-1} de K_2O para produzir 1.000 kg ha^{-1} de sementes. Desse total, os frutos podem responder por até 60% do K extraído. Para garantir a produtividade de plantios posteriores, essa quantidade precisa ser repostada pela adubação potássica.

As plantas de gergelim absorvem pouco K até o trigésimo dia após o plantio. A partir dessa data, a exigência da planta por esse nutriente cresce rapidamente até o final do ciclo (Arriel et al., 2007).

A adubação potássica pode ser feita por ocasião do plantio junto à fosfatada ou parcelada em duas vezes junto à nitrogenada, de acordo com a capacidade de lixiviação do solo.

Anjos et al. (2024), estudando a resposta de três cultivares de gergelim (BRS Anahí, BRS Morena e BRS Seda) a doses crescentes de K_2O (40, 60, 80 e 100 kg ha^{-1}), encontraram que as doses de 60 a 80 kg ha^{-1} foram as que proporcionaram os melhores resultados.

A mamona (*Ricinus communis* L.) é uma espécie pertencente à família Euphorbiaceae, sendo considerada como uma planta tóxica. Originária da Etiópia, se espalhou pelos países do Oriente Médio, Índia e China. Os principais países produtores são Índia, Moçambique, China, Brasil, Mianmar e Etiópia, correspondendo a 97% do cultivo mundial. A mamona possui grande potencial para uso em diferentes condições ecológicas. Na maior parte das vezes o seu cultivo tem como objetivo a produção de óleo (Ergun, 2022).

A nutrição e a adubação da mamoneira exercem grande importância no processo produtivo. Dessa forma, se por um lado há grande necessidade de fertilizantes, por outro, os custos financeiros com adubação são elevados, fazendo-se necessário otimizar cada vez mais o uso desses insumos, com a finalidade de se obter maior rendimento com o menor custo possível. Com os aumentos de produtividades esperados, é possível pagar o financiamento do investimento tecnológico com a cultura e aumentar a renda líquida do produtor. A adubação mineral com 120 kg ha^{-1} de fósforo incrementa a produtividade de sementes em 62,5% (Sofiatti et al., 2010).

A adubação mineral com 150 kg ha^{-1} de K_2O aumentou significativamente o peso de sementes por planta na mamoneira BRS Nordestina (Mesquita et al., 2011).

Estudando a influência do K sobre a mamoneira linhagem UFRB 222, Cavalcante et al. (2020) constataram que a aplicação desse nutriente aumentou a área foliar, o número de sementes e a produção de óleo, e a melhor dose foi de 300 kg ha⁻¹. Hussien et al. (2012) verificaram que a adubação foliar com K aumentou as concentrações foliares de K, Ca, Mg, Zn, Fe e Mn, além de aumentar as massas secas do caule, das folhas e da planta inteira; a altura das plantas; o número de folhas e a produtividade.

Agave sisalana Perrine, popularmente conhecida como sisal, é uma planta herbácea monocotiledônea pertencente ao gênero *Agave*. Esse gênero é originário da América Central e do Norte e, atualmente, possui ocorrência em países tropicais e subtropicais como Brasil, Tanzânia, Quênia, Madagascar, China e México. A fibra de suas folhas é usada para produzir tapetes, cordas e fios, enquanto outras partes da planta abastecem a produção de celulose, ração animal e até fibra de vidro. O sisal possui alta capacidade de suportar condições ambientais secas devido à sua propriedade de conservar água em suas folhas. Por isso, a agavecultura ocupa uma extensa área na região semiárida do Nordeste. O Brasil lidera a produção e exportação mundial de sisal, e cerca de 80% da produção brasileira é direcionada ao mercado externo. O plantio está concentrado no Estado da Bahia, responsável por 94,2% da área cultivada no país (Leite et al., 2023).

Os agaves são plantas perenes que têm um seu ciclo produtivo entre 08 e 12 anos, sendo xerófitas; sua anatomia e metabolismo estão adaptados para utilizar eficientemente a água e, portanto, estão capacitadas para viver em condições áridas e semiáridas (Queiroga, 2021). Para produzir uma tonelada de fibra, o agave necessita retirar do solo 70 kg ha⁻¹ de K₂O (Miranda, 2011).

2.6 MELHORAMENTO GENÉTICO PARA AUMENTAR O USO EFICIENTE DE POTÁSSIO

É muito importante o desenvolvimento de plantas mais eficientes em termos de nutrição mineral para o desenvolvimento de uma agricultura de baixo insumo, a minimização dos gastos com fertilizantes e a sustentabilidade. Genótipos com eficiência nutricional em K podem ter mecanismos fisiológicos ou características específicas para adquirir quantidades suficientes desse nutriente (eficiência de absorção) e/ou para utilizar mais efetivamente as quantidades de K absorvidas (eficiência de utilização). Numa perspectiva futura, usar genótipos eficientes em K em combinação com fertilização otimizada do solo é a estratégia perfeita para o desenvolvimento de sistemas agrícolas estáveis e sustentáveis (Zörb et al., 2014). Existem oito áreas nas quais os melhoristas podem intervir: morfologia da raiz, formação de pelos radiculares, exsudatos radiculares, capacidade de liberar K dos “pools” não trocáveis, cinética de absorção de K, translocação de K, substituição de K e colheita. As cinco primeiras características estão relacionadas à eficiência de absorção de K, enquanto as três últimas determinam a eficiência de utilização do nutriente (Rengel e Damon, 2008).

O efeito do K sobre o crescimento celular é o fator que justifica o melhoramento genético vegetal buscar o aumento da absorção desse nutriente. O K é a força motriz para aumentar o volume celular porque controla as relações hídricas da planta. Por exemplo, o melhoramento para aumentar a atividade dos canais de K contribui para o aumento do turgor da célula, levando ao alongamento celular durante o crescimento dos pelos radiculares, o que melhora a performance das culturas sob estresse hídrico ou salinidade do solo (Taiz e Zeiger, 2016).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando que o K é um macronutriente que exerce importantes funções nas plantas, como ativação enzimática, síntese de proteínas, fotossíntese, osmorregulação, transporte no floema, transferência de energia e balanço cátion-ânion, é importante que instituições de pesquisa agropecuária deem ênfase às investigações científicas relacionadas a esse nutriente nos sistemas agrícolas. Há uma ampla variedade de temas a serem desenvolvidos para aumentar a eficiência nutricional das fontes de K. Nesse contexto, temas como melhores métodos de aplicação para as mais diversas culturas, interação do K com outros nutrientes no solo, bioinsumos como fontes de K, nutrição fosfatada e resistência de plantas a fitopatógenos, utilização do melhoramento convencional e da biotecnologia para o desenvolvimento de materiais que tenham maior eficiência nutricional para esse elemento e manejo de K em sistemas de produção de base ecológica e/ou familiar são pertinentes na atualidade para as sustentabilidades ambiental, social e econômica.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, H. J.; PANCELLI, M. A.; PRADO, R. M.; CAVALCANTE, V. S.; CRUZ, F. J. R. Effect of Potassium on Nutritional Status and Productivity of Peanuts in Succession with Sugar Cane. **Journal Of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 15, p. 1-10, 2015. DOI: 10.4067/S0718-95162015005000001. Disponível em: <https://scispace.com/papers/effect-of-potassium-on-nutritional-status-and-productivity-3vh68i3ebs>. Acesso em: 11 ago 2025.

DOS ANJOS, P. M.; DE LIMA, V. L. A.; DE AZEVEDO, C. A. V.; DA SILVA, A. A. R.; DE LIMA, G. S.; ZONTA, J. H.; SANTOS, L. F. S.; DA SILVA, J. V. B.; JOAQUIM, A. A. Morfofisiologia De Cultivares De Gergelim Submetidos A Adubação Potássica Orgânica E Mineral. **Revista Caderno Pedagógico**, v. 21, p. 1-21, 2024. DOI: 10.54033/cadpedv21n9-051.

ARRIEL, Nair Helena Castro; FIRMINO, Paulo de Tarso; BELTRÃO, Napoleão Esberard de Macêdo; SOARES, José Janduí; DE ARAÚJO, Alderi Emídio; SILVA, Ayce Chaves; FERREIRA, Gilvan Barbosa. **A Cultura do Gergelim**. Brasília: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2007.

ASKEGAARD, M.; ERIKSEN, J.; JOHNSTON, A. E. Sustainable Management of Potassium. In P Schjorring; S. Elmholt; B. T. Christensen (Eds), **Managing Soil Quality: Challenges in Modern Agriculture**. Wallingford: CABI Publishing, 2004. p. 85-102.

BARBAGELATA, P. A. & MALLARINO, A. P. Field Correlation of Potassium Soil Test Methods Based on Dried and Field-Moist Soil Samples for Corn and Soybean. **Nutrient Management & Soil & Plant Analysis**, v. 77, p. 318-327, 2012. DOI: 10.2136/sssaj2012.0253.

BORGES, Ana Lúcia & ACCIOLY, Adriana Maria de Aguiar **Amostragem de Solo para Recomendação de Calagem e Adubação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2020.

BORIN, Ana Luiza Dias Coelho; FERREIRA, Gilvan Barbosa; CARVALHO, Maria da Conceição Santana; FERREIRA, Alexandre Cunha de Barcellos; BOGIANI, Júlio César **Diagnose Visual de Deficiências Nutricionais do Algodoeiro**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2013.

CAVALCANTE, A. R.; DE LIMA, W. B.; CHAVES, L. H. G.; FERNANDES, J. D.; DE SOUZA, F. G.; SILVA, S. A. Mineral Fertilization With Macronutrients In Castor Bean, Lineage Ufrb 222. **Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental**, v. 24, p. 106-114, 2020. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v24n2p106-114.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra de Grãos**. Brasília: **Nono Levantamento**, 2022.

CORDEIRO, C. F. dos S.; PILON, C.; ECHER, F. R.; ALBAS, R.; TUBBS, R. S.; HARRIS, G. H.; ROSOLEM, C. A. Adjusting Peanut Plant Density and Potassium Fertilization For different Production Environments. **Agronomy Journal**, v. 115, p. 817-832, 2023. DOI: 10.1002/agj2.21271. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/agj2.21271>. Acesso em: 11 ago 2025.

DUARTE, Giuliana Rayane Barbosa. **Potássio nas Plantas: Tudo que Você Precisa Saber para Fazer Melhor Uso Dele**. Porto Alegre: **Aegro**, 2024.

EL GAYED, A. & BASHANDY, S. O. Effect of Reduced Irrigation and Potassium Fertilization on Quantity and Quality of Giza 95 Cotton Plants. **Egyptian Journal Of Agronomy**, v. 40, p. 71-84, 2018. DOI: 10.21608/agro.2018.5683.1122.

ERGUN, Z. The Effects of Plant Growth Substances on The Oil Content and Fatty Acid Composition of Ricinus Communis L.: An In Vitro Study. **Molecular Biology Reports**, v. 49, p. 5241-5249, 2022. DOI: 10.1007/s11033-021-06686-2. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34472005/>. Acesso em: 11 ago 2025.

FERREIRA, M. M. M. Sintomas De Deficiência De Macro E Micronutrientes De Plantas De Milho Híbrido Brs 1010. **Revista Agro@Mambiente On-Line**, v. 6, p. 74-83, 2012. DOI: 10.18227/1982-8470ragro.v6i1.569.

HUSSIEN, M. M.; REZK, A. I.; MEHANNA, H. M.; EL-NASHARTY, A. Response of Castor Bean Plants to Potassium Foliar Application and Treated Sewage Water. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 6, p. 611-616, 2012. Disponível em: <https://www.ajbasweb.com/old/ajbas/2012/July/611-616.pdf>. Acesso em: 11 ago 2025.

JANNI, M.; MAESTRI, E.; GULLI, M.; MARMIROLLI, M.; MARMIROLI, N. Plant Responses to Climate Change, How Global Warming May Impact on Food Security: A Critical Review. **Frontiers In Plant Science**, v. 14, e1297569, 2024. DOI: 10.3389/fpls.2023.1297569.

KAMINSKI, J.; BRUNETTO, G.; MOTERLE, D. F.; RHEINHEIMER, D. dos S. Depleção De Formas De Potássio No Solo Afetada Por Cultivos Sucessivos. **Revista Brasileira De Ciência Do Solo**, v. 31, p. 1003-1010, 2007. DOI: 10.1590/S0100-06832007000500017.

LEITE, A. C. N.; GOMES, J. P.; DA SILVA, F. L. H.; DA SILVA JUNIOR, J. M. Prospecção Tecnológica E Mapeamento Do Sisal E Seus Subprodutos (1889-2022). **Cadernos De Prospecção**, v. 16, p. 1700-1714, 2023. DOI: 10.9771/cp.v16i5.53480.

DE LIMA FILHO, Oscar Fontão. **Desordens Nutricionais em Plantas**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2020.

DE LIMA FILHO, Oscar Fontão. **Guia de Diagnose Visual de Deficiências Nutricionais em Sorgo-Sacarino**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2014.

MENEGHETTI, H. H. A.; LAZARINI, E.; BOSSOLANI, J. W.; PARRA, L. F.; HAYASHI, F. K. Doses De Fósforo E Potássio Em Plantas De Amendoim Na Presença E Ausência De Adubação Foliar. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 11, p. 125-134, 2017. DOI: 10.18011/bioeng2017v11n2p125-134.

MENGEL, Konrad & KIRKBY, Ernest A. **Principles of Plant Nutrition**. 5ª Ed. Dordrecht: **Kluwer Academic Publishers**, 2001.

DE MESQUITA, E. F.; CHAVES, L. H. G.; GUERRA, H. O. C. Fitomassa e Componentes Da Produção Da Mamona Fertilizada Com Nitrogênio, Fósforo E Potássio. **Revista Agrarian**, v. 4, p. 344-351, 2011. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/agrarian/article/view/1246>. Acesso em: 11 ago 2025.

MIRANDA, G. P. M. Agave sisalana, o ouro verde do sertão: o mundo do trabalho e os espaços de resistência narrados pela memória dos velhos sisaleiros do semiárido paraibano. In **Anais do Simpósio Nacional de História**, 26, p. 1-12, julho. 2011.

ÖBORN, I.; ANDRIST-RANGEL, Y.; ASKEKAARD, M.; GRANT, C. A.; WATSON, C. A.; EDWARDS, A. C. Critical Aspects of Potassium Management in Agricultural Systems. **Soil Use and Management**, v. 21, p. 102-112, 2005. DOI: 10.1111/j.1475-2743.2005.tb00114.x.

OLIVEIRA, R. H.; ROSOLEN, C. A.; TRIGUEIRO, R. M. Importância Do Fluxo De Massa E Difusão No Suprimento De Potássio Ao Algodoeiro Como Variável De Água E Potássio No Solo. **Revista Brasileira De Ciência Do Solo**, v. 28, p. 439-445, 2004. DOI: 10.1590/S0100-06832004000300005.

ØRGAAD, A. F. & KROGSTAD, T. Ability of Different Soil Extraction Methods to Predict Potassium Release from Soil in Ley Over Three Consecutive Years. **Journal Of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 168, p. 186-192, 2005. DOI: 10.1002/j.pin.200421501.

PONTES, S. F.; MATOS, R. R. S. S.; CORDEIRO, K. V.; SOUSA, M. O.; CARDOSO, J. P. S.; OLIVEIRA, P. S. T.; SILVA, T. F.; SANTOS, J. F.; SILVA, I. A. Utilização De Substratos Alternativos E Substâncias Húmicas Para Produção De Mudanças De Gergelim. **Revista Ibero Americana De Ciências Ambientais**, v. 12, p. 35-45, 2021. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.002.0005.

PORTELA, E.; MONTEIRO, F.; FONSECA, M.; ABREU, M. M. Effect of Soil Mineralogy on Potassium Fixation in Soils Developed on Different Parent Material. **Geoderma**, v. 343, p. 226-234, 2019. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.02.040.

QUEIROGA, Vicente de Paula. **Sisal (*Agave sisalana*, Perrine): Tecnologias de Plantio e Utilização**. 1 Ed. Campina Grande: AREPB, 2021.

RAGHAVENDRA, M.; SINGH, Y. V.; MEENA, M. C.; DAS, T. K.; GAIND, S.; VERMA, R. K. Crop Residue and Potassium Management Strategies to Improve Water Use and Soil Microbial Activities Under Zero till Maize (*Zea Mays*)-Wheat (*Triticum Aestivum*) Cropping System. **The Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 90, p. 2335-2340, 2021. DOI: 10.56093/ijas.v90i12.110336.

REETZ, Harold F. **Fertilizantes e o seu uso Eficiente**. São Paulo: ANDA, 2017.

RENGEL, Zed; CAKMAK, Ismail; WHITE, Philip J. **Marschner's Mineral Nutrition of Plants**. 4 Ed. Cambridge: Academic Press, 2023.

RENGEL, Z. & DAMON, P. M. Crops and Genotypes Differ in Efficiency of Potassium Uptake and Use. **Physiologia Plantarum**, v. 133, p. 624-636, 2008. DOI: 10.1111/j.1399-3054.2008.01079.x.

RÖMHELD, V. & KIRKBY, E. A. Research on Potassium in Agriculture: Needs and Prospects. **Plant And Soil**, v. 335, p. 155-180, 2010. DOI: 10.1007/s11104-010-0520-1.

ROSOLEM, C. A. & WITACKER, J. P. T. Adubação Foliar Com Nitrato De Potássio Em Algodoeiro. **Bragantia**, v. 66, p. 147-155, 2007. DOI: /10.1590/S0006-87052007000100018.

ROSOLEN, C. A.; DA SILVA, R. H.; ESTEVES, J. A. de F. Potassium Supply to Cotton Roots as Affected by Potassium Fertilization and Liming. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 635-641, 2003. DOI: 10.1590/S0100-204X2003000500012.

SARHAN, M. G. R. & EL GAYED, A. A Supplementary Potassium Foliar Spray Enhanced Cotton Tolerance to Water Déficit. **Egyptian Journal Of Agronomy**, v. 100, p. 616-625, 2022. DOI: 10.21608/ejar.2022.167421.1289.

SCHNEIDER, A.; TESILEANU, R.; CHARLES, R.; SINAJ, S. Kinetics of Soil Potassium Sorption-Desorption and Fixation. **Communications In Soil Science and Plant Analysis**, v. 44, p. 837-849, 2013. DOI: 10.1080/00103624.2013.749442.

SHAO, Y. & HE, Y. Nitrogen, Phosphorus, And Potassium Prediction in Soils, Using Infrared Spectroscopy. **Soil Research**, v. 49, p. 166-172, 2010. DOI: 10.1071/SR10098.

SHARMA, R.; SINDHU, S. S.; GLICK, B. R. Potassium Solubilizing Microorganisms as Potential Biofertilizer: A Sustainable Climate-Resilient Approach to Improve Soil Fertility and Crop Production in Agriculture. **Journal Of Plant Growth Regulation**, v. 43, p. 2503-2535, 2024. DOI: 10.1007/s00344-024-11297-9.

SHIN, R. Strategies for Improving Potassium Use Efficiency in Plants. **Molecules And Cells**, v. 37, p. 575-584, 2014. DOI: 10.14348/molcells.2014.0141.

SILVA, Marcelo Antunes da. **Brasil Ultrapassa EUA e já é Maior Exportador de Algodão do Mundo**. Brasília: Agência Brasil, 2024.

SOFIATTI, V.; GONDIM, T. M. de S.; SEVERINO, L. S.; FERREIRA, G. B.; VASCONCELOS, R. de A.; SILVA, F. M. de O.; SILVA, V. N. B.; SILVA, D. M. A. Adubação da mamoneira cultivar BRS Nordestina em condições de sequeiro. In **Anais do Congresso Brasileiro de Mamona, 4; Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, 1**, p. 410-417, junho. 2010.

SOUZA, G. de P.; FERRAREZI JUNIOR, E. Produção De Amendoim No Estado De São Paulo E Sua Viabilidade. **Interface Tecnológica**, v. 19, p. 620-629, 2022. DOI: 10.31510/inf.v19i2.1469.

STEINER, F.; LANA, M. do C.; ZOZ, T.; FRANDOLOSO, J. F.; FEY, R. Extraction Methods and Potassium Availability for Soybean in The Paraná State's Soils, Brazil. **Revista De Agricultura Neotropical**, v. 1, p. 83-92, 2015. 10.32404/rean.v1i2.232.

TAIZ, Lincoln & ZEIGER, Eduardo. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6 Ed. Porto Alegre: Artmed, 2016.

XU, X.; DU, X.; WANG, F.; SHA, J.; CHEN, Q.; TIAN, G.; ZHU, Z.; GE, S.; JIANG, Y. Effects of Potassium Levels on Plant Growth, Accumulation and Distribution of Carbon, And Nitrate Metabolism In Apple Dwarf Rootstock Seedlings. **Frontiers In Plant Science**, v. 11, 904, 2020. DOI: 10.3389/fpls.2020.00904.

ZEBEC, V.; RASTIJA, D.; LONČARIĆ, Z.; BENSA, A.; POPOVIC, B.; IVEZIĆ, V. Comparison of Chemical Extraction Methods for Determination of Soil Potassium in Different Soil Types. **Eurasian Soil Science**, v. 50, p. 1420-1427, 2017. DOI: 10.1134/S1064229317130051.

ZÖRB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITER, E. Potassium in Agriculture – Status and Perspectives. **Journal Of Plant Physiology**, v. 171, p. 656-669, 2014. DOI: 10.1016/j.jplph.2013.08.008.

ZOZ, T.; FIORESE, D. A.; PIVETTA, L. A.; ZOZ, A.; ZOZ, J.; ZUFFO, A. M. Phosphorus and Potassium Fertilization in Creeping Peanut. **Revista Scientia Agraria**, v. 19, p. 153-159, 2018. DOI: 10.5380/rsa.v19i1.51509.