UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
***CAMPUS* CERRO LARGO**
CURSO DE AGRONOMIA

ARI THUM REINKE

DISPONIBILIDADE DE POTÁSSIO POR MEHLICH-1 E MEHLICH-3 PARA SOLOS DA REGIÃO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL

CERRO LARGO
2025

ARI THUM REINKE

DISPONIBILIDADE DE POTÁSSIO POR MEHLICH-1 E MEHLICH-3 PARA SOLOS DA REGIÃO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Renan Costa Beber Vieira

CERRO LARGO

2025

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Reinke, Ari Thum
Disponibilidade de potássio por Mehlich-1 e Mehlich-3 para solos da região noroeste do Rio Grande do Sul / Ari Thum Reinke. -- 2025.
45 f.

Orientador: Doutor Renan Costa Beber Vieira

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Bacharelado em Agronomia, Cerro Largo,RS, 2025.

1. Potássio, Capacidade de Tamponamento, Calibração, Extratores. I. Vieira, Renan Costa Beber, orient. II. Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha de Identificação da Obra pela UFFS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

ARI THUM REINKE

DISPONIBILIDADE DE POTÁSSIO POR MEHLICH-1 E MEHLICH-3 PARA SOLOS DA REGIÃO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 03/12/2025.

BANCA EXAMINADORA

gov.br Documento assinado digitalmente
RENAN COSTA BEBER VIEIRA
Data: 10/12/2025 10:23:54-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Renan Costa Beber Vieira – UFFS
Orientador

gov.br Documento assinado digitalmente
GEAN JOSE KOSLOWSKI BARBOSA
Data: 08/12/2025 14:39:35-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Eng. Agrôn. Gean José Koslowski Barbosa – UFFS
Avaliador

gov.br Documento assinado digitalmente
LUCAS AQUINO ALVES
Data: 08/12/2025 17:13:02-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Lucas Aquino Alves – URI/FW
Avaliador

Dedico este trabalho àqueles que me
inspiraram a seguir em frente e acreditar
que cada esforço vale a pena.

AGRADECIMENTOS

Agradecer é reconhecer que nenhum caminho é percorrido sozinho. Nesta etapa tão significativa da minha vida, expresso minha profunda gratidão a todos que estiveram ao meu lado, mesmo em silêncio, mesmo à distância, mesmo apenas no coração.

A Deus, agradeço pela vida, pela saúde e pela força que encontrei nos dias difíceis. Pela coragem diante das incertezas, pela luz que iluminou meus passos quando tudo parecia obscuro e por sustentar minha fé quando as dúvidas se fizeram presentes. Sem Ele, esta caminhada não teria sido possível.

À minha mãe, Noeli, que já não está entre nós, deixo minha homenagem mais sincera. Sua ausência física jamais diminuiu a presença constante que sinto em minha vida. Em cada conquista, em cada superação e em cada vitória, reconheço o reflexo do seu amor, da sua força e dos valores que me deixou. Esta realização também lhe pertence.

Ao meu pai, Arlindo, minha gratidão por sua dedicação incansável, por assumir tantos papéis e por nunca medir esforços para me ver crescer. Seu exemplo de trabalho, honestidade e coragem foram essenciais para que eu chegasse até aqui.

Aos meus irmãos, Débora, Márcio, Maria Júlia e Vanessa, aos meus amigos, Danielli, Débora, Dione, Gabriela, Guilherme B., Guilherme C., Jaqueline, Jean, Jéssica, Karim, Marcia, Patrícia, Roberta, Simone, Talissa e Talita, dedico com carinho esta conquista. Obrigado por serem meu refúgio nos momentos difíceis e minha alegria nos dias leves. Cada palavra de incentivo, cada gesto de apoio e cada presença silenciosa fizeram diferença quando o caminho pareceu longo demais. Vocês foram força, companhia e inspiração, e levo comigo o amor e a amizade que me sustentaram nesta jornada.

Ao meu orientador, Professor Dr. Renan, dedico minha sincera admiração e gratidão. Sua orientação paciente, atenta e firme foi fundamental para que este trabalho ganhasse forma. Agradeço por compartilhar seu conhecimento, por acreditar no meu potencial e por conduzir cada etapa com profissionalismo e humanidade. Esta realização também é fruto da sua dedicação.

Estendo minha gratidão a todos os professores que fizeram parte da minha formação. Cada um, à sua maneira, deixou uma marca nesse percurso. Entre

ensinamentos, conselhos e desafios, contribuíram para o meu crescimento como estudante e como pessoa.

Por fim, agradeço à Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) pelo compromisso com a educação pública, gratuita e de qualidade. Foi nesta instituição que encontrei formação sólida, oportunidades e valores que contribuíram de forma essencial para meu crescimento acadêmico e pessoal.

“Não existe progresso na zona de conforto, toda realização nasce do risco, da coragem e da decisão de enfrentar o desconhecido com convicção.”

Winston Churchill

RESUMO

A avaliação da disponibilidade de potássio (K) no solo é fundamental para a recomendação eficiente de adubação, impactando diretamente a sustentabilidade e a produtividade agrícola. Este trabalho teve como objetivo avaliar a disponibilidade de K em solos do Noroeste do Rio Grande do Sul por meio dos extratores Mehlich-1 (M1) e Mehlich-3 (M3), bem como comparar ambos na estimativa do teor disponível do nutriente e na determinação da capacidade tamponante de K (CTK). Foram analisadas 29 amostras de solo representativas da região, submetidas à extração química e a doses crescentes de K (0, 30, 60, 120, 180, 360 kg ha^{-1} de K_2O) para construção de curvas de resposta e para cálculo da CTK, permitindo estimar a quantidade de K_2O necessária para elevar 1 mg dm^{-3} de K no solo. O extrator M3 apresentou maior capacidade de extração, recuperando em média 24% mais K que o M1, evidenciando sensibilidade superior à variação nos teores do nutriente. A correlação entre os métodos foi elevada (R^2 = 0,94), indicando forte relação linear e boa concordância entre os extratores. A CTK variou entre as amostras (2,048 a 3,501 kg de K_2O ha^{-1}), tendo poucas diferenças entre as classes de Capacidade de Troca de Cátions (CTC). Observou-se que, devido à maior eficiência de extração do M3, menores quantidades de K_2O são necessárias para elevar 1 mg dm^{-3} de K no solo quando comparado ao M1, resultando em uma média de CTK de 2,51 kg de K_2O ha^{-1}. Esses resultados contribuem para a compreensão da dinâmica do K nos solos da região e auxiliam no aprimoramento das recomendações de adubação potássica, garantindo maior precisão no manejo da fertilidade do solo. Além disso, evidenciam que o extrator M3 apresenta desempenho superior e maior sensibilidade na quantificação de K, mostrando-se mais indicado que o M1 para avaliações de disponibilidade de K nesses solos.

Palavras-chave: Correlação. Macronutriente. Extratores. CTK.

ABSTRACT

Assessing potassium (K) availability in soil is fundamental for efficient fertilizer recommendations, directly impacting agricultural sustainability and productivity. This study aimed to evaluate K availability in soils of Northwest Rio Grande do Sul using the Mehlich-1 (M1) and Mehlich-3 (M3) extractants, as well as to compare both in estimating the available nutrient content and determining the K buffering capacity (KBC). Twenty-nine representative soil samples from the region were analyzed, subjected to chemical extraction and increasing doses of K (0, 30, 60, 120, 180, 360 kg ha^{-1} of K_2O) to construct response curves and calculate KBC, allowing the estimation of the amount of K_2O needed to raise the K content in the soil by 1 mg dm^{-3}. Extractor M3 showed greater extraction capacity, recovering on average 24% more K than M1, demonstrating superior sensitivity to variations in nutrient levels. The correlation between the methods was high ($R^2 = 0.94$), indicating a strong linear relationship and good agreement between the extractors. Total cation exchange capacity (TCK) varied among the samples (2.048 to 3.501 kg K_2O ha^{-1}), with few differences between the Cation Exchange Capacity (CEC) classes. It was observed that, due to the greater extraction efficiency of M3, smaller quantities of K_2O are needed to raise the soil K level by 1 mg dm^{-3} compared to M1, resulting in an average TKC of 2.51 kg K_2O ha^{-1}. These results contribute to the understanding of potassium dynamics in the region's soils and help improve potassium fertilization recommendations, ensuring greater precision in soil fertility management. Furthermore, they show that the M3 extractor exhibits superior performance and greater sensitivity in quantifying K, proving to be more suitable than M1 for assessing potassium availability in these soils.

Keywords: Correlation. Macronutrient. Extractors. CTK.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Localização dos 29 solos selecionados com teores de K abaixo do nível crítico. 28
Figura 2-Teores de K extraídos por Mehlich-3 em função da adição de doses de K, após incubação, CTCpH7,0 de 7,6 a 15 cmolcdm-3. 30
Figura 3-Teores de K extraídos por Mehlich 3 em função da adição de doses de K, após incubação, CTCpH7,0 de 15,1 a 30 cmolcdm-3. 32
Figura 4-Relação da capacidade tamponante de potássio de acordo com a classe de capacidade de troca de cátions. 36
Figura 5-Correlação entre os teores de potássio extraídos pelos métodos Mehlich-1 e Mehlich-3. 38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Classificação, localização, percentual de areia, silte e argila, caracterização química dos 29 locais selecionados. 29
Tabela 2-Comparação entre capacidade tampão de potássio pelos extratores Mehlich-1 e Mehlich-3. 36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFFS - Universidade Federal da Fronteira Sul

CTK - Capacidade Tampão de Potássio

K - Potássio

CTC - Capacidade de troca de Cátions

RS - Rio Grande do Sul

MO - Matéria Orgânica

M1- Mehlich-1

M3 - Mehlich-3

CQFS - Comissão de Química e Fertilidade do Solo do Rio Grande do Sul e Santa Catarina

P - Fósforo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 14

2.OBJETIVOS 16

2.1 OBJETIVO GERAL 16

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 16

3. REVISÃO DE LITERATURA 17

3.1 DISPONIBILIDADE DE POTÁSSIO PARA A PLANTA 17

3.2 DISPONIBILIDADE DE POTÁSSIO NO SOLO 18

3.3 FERTILIDADE DOS SOLOS DO NOROESTE DO RS 20

3.4 MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DE POTÁSSIO 21

3.4.1 Correlação entre métodos de extração 23

4. MATERIAL E MÉTODOS 25

4.1 AMOSTRAGEM E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO 25

4.2 INCUBAÇÃO E EXTRAÇÃO DE POTÁSSIO 25

4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA 27

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES 28

5.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS 28

5.2 CAPACIDADE TAMPONANTE DE POTÁSSIO 29

5.3 RELAÇÃO CAPACIDADE TAMPONANTE DE POTÁSSIO E CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS 34

5.4 CORRELAÇÃO ENTRE OS EXTRATORES MEHLICH-1 E MEHLICH-3 37

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 39

REFERÊNCIAS 41

1. INTRODUÇÃO

O potássio (K) é um macronutriente que desempenha papel importante para o desenvolvimento das plantas, responsável por importantes funções fisiológicas, como a ativação enzimática, regulação da abertura estomática, transporte de açúcares e equilíbrio osmótico celular (Kinpara, 2003; Ernani *et al.,* 2007). A produtividade das culturas, especialmente aquelas de maior demanda nutricional, como milho e soja, depende diretamente da adequada disponibilidade de K no solo (Malavolta *et al.,* 1991).

A recomendação de adubação potássica baseia-se principalmente no teor de K disponível no solo, na cultura que será implantada e na expectativa de produtividade, sendo também influenciado por propriedades físicas e químicas do solo, como a CTC, textura, teor de matéria orgânica do solo (MOS) e histórico do manejo (Ernani *et al*., 2007; Raij, 2011). Para essa recomendação, utiliza-se a análise química do solo, que permite estimar a disponibilidade do nutriente no solo por meio de soluções extratoras específicas.

No Brasil, a solução Mehlich-1 (M1) é amplamente utilizada para a extração de K em solos ácidos, especialmente nos estados do Sul do Brasil como o Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2016). Embora o método apresente praticidade e baixo custo, sua eficiência pode ser limitada em solos com predominância de minerais 2:1, devido à sua menor capacidade de extrair K fixado entre as camadas da estrutura mineral (Nachtigall; Raij, 2005).

Como alternativa, a solução Mehlich-3 (M3), desenvolvida com o objetivo de ser um extrator multielementar, tem se mostrado eficaz na extração de K em diferentes classes de solo possibilitando análises simultâneas de múltiplos nutrientes (Bortolon; Gianello, 2010). Estudos têm demonstrado que o M3 apresenta boa correlação com a absorção de K pelas plantas e possui uma maior sensibilidade à variação dos tipos de solo (Bortolon; Gianello, 2012; Amorim *et al.,* 2021).

A região Noroeste do Rio Grande do Sul é caracterizada por solos com elevado grau de intemperismo, predominância de Latossolos e Argissolos e grande variabilidade nos teores de K disponível, sendo influenciado por fatores como tipo de argila, uso anterior do solo e intensidade de cultivo (Santos *et al.,* 2018; CQFS-RS/SC, 2016). Mesmo em solos com teores totais elevados de K, a disponibilidade

pode ser limitada pela fixação do íon K^+ e por perdas por escoamento superficial (Werle *et al.,* 2008).

Diante disso, a comparação entre os dois extratores em estudo, M1 e M3 se faz necessária para avaliação do comportamento de substituição e/ou complementação dos métodos nas análises de solo para a região, visto que a calibração do M3 foi realizada com solos distintos dos encontrados no Noroeste do RS (Amorim *et al.,* 2021).

Portanto, este trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência de diferentes extratores de K em solos da região Noroeste do Rio Grande do Sul e verificar a correlação entre os resultados e possível contribuição para recomendações de adubação mais precisa e adequada à realidade regional.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Avaliar a disponibilidade de K nos solos da região Noroeste do Rio Grande do Sul (RS) por meio dos extratores M1 e M3.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar a eficiência dos métodos e verificar a possibilidade de correlação entre os resultados obtidos;
- Estimar a capacidade tampão de K dos solos a partir do uso de M3;
- Verificar a viabilidade de substituição ou complementação do extrator M1 pelo M3 na recomendação de adubação potássica para a região estudada.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 DISPONIBILIDADE DE POTÁSSIO PARA A PLANTA

O K é um cátion monovalente que possui alta mobilidade nas plantas e desempenha um importante papel no equilíbrio de íons dentro das células vegetais. Apesar de não ter função estrutural direta na planta, o K é fundamental como ativador de várias enzimas que ajudam na síntese de proteínas. Quando pretende-se aumentar a produção agrícola, é importante garantir que o solo tenha uma quantidade maior de K disponível para as plantas, atendendo à sua demanda (Kinpara, 2003).

Para as plantas a disponibilidade de K depende de uma combinação de fatores que estão relacionados às propriedades químicas e mineralógicas do solo, e também, a sua disponibilidade tende a ser influenciada por fatores edafoclimáticos. Os principais fatores químicos que afetam essa disponibilidade incluem o teor de K trocável no solo, à atividade na solução do solo, a participação nos complexos de troca e a eficiência no reestabelecimento na solução após ser absorvido pelas raízes ou lixiviado (Amorim, 2014).

Compreender esses fatores é fundamental, pois eles determinam não apenas a quantidade de K inicialmente disponível, mas também a dinâmica do nutriente no solo. Nesse contexto, a capacidade tampão de potássio (CTK) torna-se um parâmetro chave, uma vez que expressa o quanto o solo consegue repor ou liberar K em resposta a alterações nos seus teores disponíveis.

A CTK do solo é definida como a quantidade de fertilizante necessária para aumentar em 1 mg dm^{-3} o teor de K disponível no solo. Essa estimativa é, geralmente, obtida por meio de experimentos conduzidos em condições controladas, nos quais se realizam incubações com diferentes doses de K, seguidas da determinação dos teores extraíveis e da avaliação da relação matemática entre as doses aplicadas e os níveis disponíveis de K em distintos tipos de solo (Souza Junior *et al.*, 2022).

A CTK é influenciada por diversos fatores, como o teor e tipo de minerais da fração argilosa, além do conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS). As argilas do tipo 2:1, por apresentarem substituições isomórficas e cargas variáveis nas bordas

dos minerais, são as principais responsáveis pelas cargas elétricas presentes no solo (Souza Junior *et al.*, 2022). Da mesma forma, a matéria orgânica contribui significativamente para essas cargas, especialmente aquelas dependentes do pH, devido à desprotonação de grupos funcionais presentes em sua estrutura (Ernani, 2016).

A umidade do solo e a temperatura são elementos relacionados ao clima, que também tendem a influenciar a disponibilidade de K para a planta, com o aumento da temperatura ambiente e do solo, a planta consegue absorver mais K, pois isso ajuda tanto na difusão do nutriente no solo quanto no processo de absorção pelas raízes. Além disso, um aumento na disponibilidade de água no solo contribui com a absorção de K, pois vai melhorar o transporte do nutriente até as raízes das plantas por diferentes processos de suprimento (Ernani *et al*., 2007).

A difusão constitui o principal processo responsável pelo transporte de K até a raiz, no entanto, o fluxo de massa também pode exercer papel relevante nesse deslocamento, especialmente quando a concentração de K na solução do solo é elevada (Ruiz *et al.,* 1999). A difusão é caracterizada pelo movimento aleatório de íons, impulsionado pelo gradiente de concentração estabelecido na superfície radicular (Barber, 1984). Já o fluxo de massa está relacionado ao gradiente de potencial hídrico gerado pela absorção de água pelas plantas (Silva *et al.,* 1998).

3.2 DISPONIBILIDADE DE POTÁSSIO NO SOLO

O K é um dos nutrientes presente nos solos, podendo variar de 0,3 a 30 g kg^{-1}. A maior parte do K no solo (98%) está incorporada na estrutura de minerais primários e secundários, conhecido como K estrutural. Apenas uma fração menor está disponível para as plantas, seja sob a forma de K trocável, que está associado a cargas elétricas negativas, ou como K solúvel, que se encontra na solução do solo (Sparks, 2000). A forma como o K se associa aos elementos sólidos do solo, juntamente com a força dessas ligações, resulta nas diversas formas de K presentes. Cada uma dessas formas mantém um equilíbrio dinâmico com a solução do solo, o que impacta a disponibilidade de K para as plantas em diferentes intensidades (Ernani *et al.,* 2007).

O K estrutural contém a maior concentração no solo, dessa forma, o K integra a composição de minerais primários e, ou, secundários. Apenas quando esses minerais são intemperizados é que o K é liberado para a solução do solo. Dado que a intemperização é um processo gradual, as quantidades liberadas por esse processo são geralmente pequenas e não são suficientes para atender às necessidades das plantas, especialmente as de ciclo curto, sendo que, a demanda é crucial para espécies nativas e florestais, que possuem necessidades nutricionais a médio e longo prazo (Ernani *et al*., 2007).

A forma trocável refere-se à parte do K que está associada às cargas negativas das superfícies das frações orgânicas e inorgânicas do solo, incluindo minerais de argila silicatada, óxidos e hidróxidos. Trata-se da fonte mais relevante para a nutrição vegetal, pois o K extraído da solução do solo pelas plantas ou perdido por lixiviação restitui rapidamente. O K trocável simboliza a disponibilidade imediata de K para as plantas, já as interações do K trocável com os elementos sólidos do solo possuem natureza eletrostática, sendo que nessa modalidade de conexão (adsorção eletrostática), os elementos só se conectam a superfícies sólidas que possuem carga elétrica oposta (Ernani *et al*., 2007).

Normalmente, nos solos, há um equilíbrio dinâmico nas formas de K existentes, que são modificadas quando ocorrem alterações na solução do solo. Portanto, a incorporação do nutriente através da adubação potássica, sua absorção pela planta ou sua perda através do processo de lixiviação, tendem a influenciar os níveis de outras formas do nutriente no solo, especialmente as formas trocáveis e não trocáveis (Medeiros *et al*., 2014).

A fertilização potássica é crucial para manter os níveis de K trocável no solo. Ademais, acredita-se que as formas não trocáveis de K, juntamente com os resíduos agrícolas existentes no solo, funcionam como fontes de liberação lenta do nutriente, auxiliando na nutrição das plantas em longo prazo (Raij, 2011). A disponibilidade de K e a habilidade do solo em fornecer esse mineral estão ligadas à existência de minerais primários, tais como ortoclásio, silvita, silvinita, carnalita e langbeinita, além de minerais secundários, como vermiculita, biotita e moscovita. Outros elementos que afetam essa disponibilidade incluem a aplicação de adubos, a capacidade do solo de trocar cátions (CTC) e o ciclo do K pelas plantas (Werle *et al*., 2008).

3.3 FERTILIDADE DOS SOLOS DO NOROESTE DO RS

A fertilidade do solo é um elemento crucial para a produtividade na agricultura, particularmente na região Noroeste do Rio Grande do Sul, onde predominam sistemas agrícolas consolidados, baseados principalmente no cultivo de trigo, milho e soja. Segundo Ernani *et al.* (2007), a fertilidade do solo é definida pela habilidade do solo em prover nutrientes vitais às plantas em quantidades apropriadas e em condições que não sejam nocivas. Os solos do Noroeste do Rio Grande do Sul, predominantemente categorizados como Latossolos e Argissolos, se destacam pela sua alta acidez e pela presença de níveis variáveis de K trocável, que variam de acordo com a mineralogia da parte argila (Santos *et al*., 2018).

A baixa saturação por bases e o alto teor de alumínio trocável são atributos que exigem práticas de correção da acidez e adubação adequada para garantir a produtividade agrícola (CQFS-RS/SC, 2016). Além disso, Nachtigall e Vahl (2005) destacam que a disponibilidade de K nos solos da região é influenciada pela presença de minerais 1:1, como caulinita e minerais 2:1, como ilita e vermiculita, os quais podem atuar tanto como fontes quanto como drenos temporários de K para as plantas. Em função disso, a escolha do método de extração de K para análise do solo é fundamental.

Em relação ao K, embora os teores totais sejam geralmente altos devido à origem basáltica dos solos, a fração disponível para as plantas tende a ser baixa a moderada, em razão da forte fixação do íon K^+ nas argilas 2:1 presentes em alguns solos da região (Erasmo *et al*., 2020). Segundo Gatiboni *et al.* (2015), a disponibilidade de K em solos do Noroeste gaúcho pode variar significativamente conforme o manejo anterior, uso de culturas com alta extração (como soja e milho) e tipo de fertilizante utilizado (Cloreto de K). Além disso, o escoamento superficial de K pode ser um problema em áreas de relevo ondulado, especialmente em sistemas sem cobertura permanente do solo em que, o fertilizante potássico fica exposto e pode ser arrastado para fora da área de cultivo (Pesini, 2024).

Estudos conduzidos por Ernani *et al*. (2007) apontam que, mesmo em solos com teores médios a altos de K disponível, a resposta das culturas à adubação potássica pode ocorrer, sobretudo em situações de elevada demanda ou baixa capacidade de suprimento do solo durante o ciclo da planta. Isso evidencia a necessidade de

monitoramento frequente e de critérios regionais para a recomendação de adubação.

3.4 MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DE POTÁSSIO

A determinação da presença de K para as plantas é realizada através da estimativa de suas quantidades na forma trocável, sendo obtida por meio do uso de soluções neutras que contêm íons de amônio ou sódio, que através da troca iônica eliminam a parte que é considerada trocável. Também são empregadas soluções ácidas diluídas (Mehlich, 1953; 1984). Nesses extratores ácidos, o processo vai além da simples troca iônica, uma vez que o íon H^+ do ácido é atraído pelo solo, impedindo uma carga negativa. Isso ocorre devido à natureza ácida fraca das posições de troca iônica dos grupos funcionais de superfície, que liberam o cátion para a solução do solo (Nachtigall; Raij, 2005).

Os laboratórios integrantes da Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (ROLAS) e aqueles localizados na região do Cerrado brasileiro empregam a solução Mehlich-1 para a extração de P e K presentes no solo (CQFS-RS/SC, 2004; Sousa; Lobato, 2002). Em 1953 (Mehlich, 1953), a solução M1 foi sugerida para a extração de fósforo, K, cálcio, magnésio, sódio, manganês e zinco em solos ácidos, com uma combinação de ácidos fortes diluidos (HCl 0,05 mol L^{-1} + H_2SO_4 13 0,0125 mol L^{-1}) com pH que oscila entre 2 e 3.

A quantidade extraída de K pelo método M1 corresponde à parte da fração trocável mais fracamente adsorvida à fase sólida do solo. Esta fração é, proporcionalmente, menor nos solos em que predominam argilominerais 2:1. A fração do K não extraída por este método provavelmente é constituída de K adsorvido a sítios de troca que possuem grau maior de seletividade para K. Esses sítios são mais acessíveis ao acetato de amônio a pH 7,0, do que pela mistura ácida utilizada no método M1 (Nachtigall; Raij, 2005). O método sugerido por Mehlich passou por algumas alterações para se adequar aos solos e à estrutura dos laboratórios de rotina no Brasil (Raij *et al*., 1987; Tedesco *et al.,* 1995; Embrapa, 1997).

Em virtude das restrições do método M1, a solução M3 foi sugerida (Mehlich, 1984). Esta é formada por uma combinação de sais, ácidos fortes e fracos, além de

agentes quelantes (CH_3COOH 0,2 mol L^{-1}, NH_4NO_3 0,25 mol L^{-1}, HNO_3 0,25 mol L^{-1}, NH_4F 0,025 mol L^{-1}, EDTA 0,001 mol L^{-1}). Essa técnica é eficiente na obtenção de Fósforo (P), K, Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Sódio (Na), Manganês (Mn), Zinco (Zn) e Cobre (Cu) de solos ácidos. Esta solução apresenta um espectro de ação mais amplo, e em várias pesquisas não se notou diferença na extração de K do solo em comparação com a solução de acetato de amônio (Boeira *et al.,* 2004; Schlindwein; Gianello, 2005; Bortolon *et al.,* 2010). Além do processo de dissolução, a solução de M3 também promove a troca do íon K dos locais de troca dos coloides do solo pelo íon NH_{4+} contido nessa solução.

Nos últimos anos, ocorreu um aumento número de cientistas que advogam pela troca do M1 em laboratórios de análise rotineira por outros métodos, devido a dificuldades principalmente na extração de P (Gattiboni, 2003; Bortolon, 2005). Neste cenário, estudos de correção e calibração de novas metodologias também são pertinentes para a extração de K. Os benefícios de utilizar o M1 como extrator incluem a simplicidade de uso, custo baixo, otimização do tempo e a pureza do extrato após a decantação, dispensando a filtragem desse extrato para leitura (Tedesco *et al*., 1995).

Da mesma forma que o M1, o M3 tem como benefícios a facilidade, rapidez na extração e pureza do extrato. Sendo um extrator multielementar, o M3 diminui os gastos com análise (Bortolon *et al*., 2009). Através da espectrofotometria de emissão em plasma induzido (ICP-OES), a utilização de extratores multielementares, como o M3, que possibilita a determinação de vários elementos em um único extrato, simplifica os processos analíticos e aumenta a eficácia nas análises laboratoriais (Bortolon; Gianello, 2010). O M3 é mais suscetível às variações de tipos de solo do que o M1, o que é relevante considerando a vasta variedade de solos examinados em um único laboratório (Bortolon *et al*., 2009).

A aplicação de técnicas apropriadas para determinar a presença de K no solo pode contribuir para a redução da quantidade de fertilizante usada, mantendo a produtividade e a excelência do produto colhido (Martins; Melo; Serrat, 2004). Soares *et al.* (2012) realizaram uma comparação entre os métodos convencionais e alternativos para a determinação de K no solo, utilizando soluções de M1. Os autores quantificaram o K o através das proporções solo: extrator de 1:10 e 1:5. Eles notaram que, independentemente do método de quantificação, houve variações nos resultados. O extrator de 1:5 resultou em menores níveis de K do que o obtido com a

razão solo: extrator de 1:10, especialmente em amostras com concentrações de K mais altas.

Medeiros *et al.* (2010), ao analisarem a eficácia dos extratores de K disponíveis, constataram que os extratores M1, M3 e resina de troca iônica obtiveram níveis similares de K nos solos mais expostos à intemperismo. Nos solos menos expostos ao clima, os extratores M1 e M3 produziram quantidades de K parecidas, porém bem superiores às obtidas pela resina de troca iônica, especialmente naqueles com maior conteúdo de argila e maior proporção de minerais do tipo 2:1. Em contraste com os extratores M1 e M3, os solos menos intemperizados apresentaram uma correlação mais forte com a planta.

3.4.1 Correlação entre métodos de extração

Os teores de K extraídos por diferentes métodos variam em função da composição química das soluções extratoras. O M1 utiliza uma solução ácida (mistura de HCl e H_2SO_4), enquanto o M3 é composto por uma solução mais tamponada e complexante, contendo ácido acético, ácido nítrico, EDTA, fluoreto de amônio e nitrato de amônio, o que permite maior extração de cátions, como o K, especialmente em solos com maior CTC e diferentes teores de argilas (Mylavarapu *et al.,* 2014). Por essa razão, a adoção de diferentes extratores pode levar a teores distintos de K no solo e, consequentemente, a recomendações agronômicas divergentes.

No caso do extrator M1, a interpretação dos teores de K segue faixas bem estabelecidas: valores abaixo de 40 mg/dm³ são considerados muito baixos, entre 41 e 70 mg/dm³ são classificados como baixos, entre 71 e 120 mg/dm³ como médios, entre 121 e 180 mg/dm³ como altos, e valores superiores a 180 mg/dm³ são classificados como muito altos (CQFS-RS/SC, 2016). Com base nessas classes, a recomendação de adubação varia de uma dose de correção elevada, quando os teores são muito baixos ou baixos, até a dispensa de adubação potássica quando os teores são altos ou muito altos. Para o M3, embora ainda não exista uma padronização oficial no Brasil, estudos vêm propondo faixas de interpretação com base na correlação com os dados obtidos por M1.

Estudos realizados em solos do sul do Brasil demonstram que tanto o M1 quanto o M3 apresentam alta correlação com a absorção de K por plantas de milho. No estudo de Amorim *et al*. (2021), o coeficiente de correlação entre o K extraído pelo M1 e a absorção pelas plantas foi de 0,83, enquanto para o M3 o valor foi de 0,83 a 0,94, dependendo do agrupamento dos solos com características mineralógicas e físico-químicas semelhantes. Apesar disso, o M1 extraiu menores quantidades de K trocável em solos com alta capacidade de tamponamento, em comparação ao M3 e a outras soluções neutras como o acetato de amônio 1,0 mol L^{-1} (Amorim *et al*., 2021). O uso de soluções menos ácidas, como o M3, tende a ser menos sensível à presença de cargas dependentes do pH, resultando em extrações mais consistentes em diferentes classes de solos.

Um trabalho realizado por Bortolon e Gianello (2012) mostrou que a fertilização potássica aumentou os níveis de K no solo, no entanto, mesmo com características químicas distintas, não se observou variação na disponibilidade de K entre os solos analisados. O extrator M3 produziu uma extração de K 20% superior à do M1. Em média, a solução M3 extrai aproximadamente 20% a mais de K do que os outros extratores. Em conclusão, Bortolon e Gianello (2012) mostraram que as soluções M1 e M3 se mostraram eficazes na extração simultânea de diversos nutrientes (P, K, Ca, Mg, Cu e Zn) em solos do sul do Brasil, representando uma opção viável para melhorar a eficácia dos laboratórios de análise de solo.

A importância de interpretar corretamente os teores de K no solo está no impacto direto que isso gera nas recomendações de adubação. Como salientado por Ernani *et al*. (2007), uma sub interpretação pode resultar em deficiência nutricional e perda de produtividade, enquanto a superestimação pode levar à aplicação desnecessária de fertilizantes, gerando desperdício econômico e potenciais impactos ambientais, como a exportação de K para águas subterrâneas.

Além disso, o conhecimento da capacidade tampão do solo e da cultura cultivada também deve ser considerado na recomendação, pois culturas exigentes, como o milho e a batata, requerem níveis adequados de K disponível ao longo do ciclo, sendo mais sensíveis a variações no suprimento do nutriente (Malavolta *et al*., 1991).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 AMOSTRAGEM E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

O estudo foi realizado com amostras de solos previamente coletadas e incubadas por Blanke (2023). Esta coleta foi realizada a partir da seleção de 38 amostras de solos da camada de 0-20 cm de solos sob uso agrícola da região noroeste do Rio Grande do Sul, as quais foram identificadas, secas em estufa com circulação de ar forçado a 60 °C por 72 horas, moídas e peneiradas em malha de 2 mm. Após análise do teor de K disponível por M1 e CTC potencial, as amostras de solo foram classificadas como Muito Baixo, Baixo e Médio (CQFS-RS/SC 2016).

Nas amostras de solo, foram determinadas as variáveis de pH em água (relação solo:água de 1:1) e pH TSM (relação solo:água:solução TSM de 1:1:0,5). Para os solos que apresentaram pH inferior a 6,0, foi realizada a correção da acidez por meio da aplicação de óxido de cálcio e magnésio (Fertimacro RF 170, PN 143,7), seguindo as recomendações do Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2016), com o objetivo de elevar o pH a 6,0.

4.2 INCUBAÇÃO E EXTRAÇÃO DE POTÁSSIO

As amostras de solo que apresentaram teores de K abaixo do nível crítico foram submetidas à aplicação de seis doses de K_2O, representando diferentes níveis de disponibilidade do nutriente. As doses utilizadas foram de 0, 30, 60, 120, 180, 360 kg ha^{-1} de K_2O, as quais correspondem á porcentagem de 0, 25, 50, 100, 150 e 300% das indicadas pelo manual para solos com teores muito baixos. Os tratamentos foram conduzidos com três repetições para cada dose em cada amostra de solo, totalizando 1.080 unidades experimentais (30 amostras x 6 doses x 3 repetições x 2 tratamentos). Detalhes da incubação podem ser obtidos em Blanke (2023).

Após a incubação, as amostras de solo foram secas em estufa de circulação de ar forçado a 60 ºC, por 48 horas, e posteriormente peneiradas em malha de 2 mm. Em seguida, realizou-se novamente a determinação do teor de K disponível no

solo, por meio da extração com solução M1, conforme metodologia descrita por Tedesco *et al.* (1995). Neste estudo, as amostras de solos incubadas com doses de K e utilizadas por Blanke (2023) foram reanalisadas quanto aos teores de K disponíveis por Mehlich-3 e Mehlich-1.

A extração de K por M1 foi efetuada utilizando uma solução constituída por H_2SO_4 0,0125 mol L^{-1} + HCl 0,05 mol L^{-1}, seguindo a proporção de solo para solução de 1:10 (peso/volume). As amostras de solo foram submetidas à agitação em agitador horizontal por 5 minutos, após as suspensões foram filtradas para obtenção do extrato, descrito em Tedesco *et al.* (1995).

No método M3, utilizou-se uma solução extratora composta por CH_3COOH 0,2 mol L^{-1} + NH_4NO_3 0,25 mol L^{-1} + NH_4F 0,015 mol L^{-1} + HNO^3 0,013 mol L^{-1} + EDTA 0,001 mol L^{-1}, também na proporção solo:solução de 1:10. A agitação foi realizada em agitador horizontal por 5 minutos, e em seguida as amostras foram filtradas para a coleta do extrato, descrito por Mehlich (1984).

A quantificação do K nos extratos foi realizada por meio do fotômetro de chama, disposto no laboratório de Química e Fertilidade do solo da Universidade Federal da Fronteira Sul, *Campus* Cerro Largo. Após essa determinação os dados entre M1 e M3 foram correlacionados, buscando definir uma equação de ajuste entre esses extratores, os dados foram relacionados entre todos eles e diferenciados entre as classes de CTC.

Com base em Souza Junior *et al.* (2022) foi utilizada a regressão linear para descrever a relação entre as doses de K e o teor inicial de K pela análise do laboratório. Para calcular a capacidade tampão de potássio no solo (CTK) é usado parâmetro da regressão linear, apresentados na seguinte equação:

$$CTK = 1/\text{ coeficiente angular}$$

No qual: CTK se refere a quantidade de fertilizante (kg K_2O ha^{-1}) necessário para se aumentar o teor inicial de K no solo em 1 mg dm^{-3}; o coeficiente angular se refere ao valor obtido quando se relaciona às doses de K aplicadas com os teores disponíveis no solo após o período de incubação.

4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística dos dados foi realizada com o auxílio do Excel e do software R (R Core Team, 2024), utilizados para as construções dos gráficos e aplicação das análises de regressão linear.

Inicialmente, os dados de K extraídos pelos métodos M1 e M3 foram submetidos a uma regressão linear simples, com o objetivo de avaliar a relação entre os dois métodos de extração. Posteriormente, as análises de solo obtidas por M3 dos solos incubados foram relacionadas com as doses de K incubadas, para fins de ajustar a regressão linear entre a dose aplicada e o K extraído por M3.

Para a análise da CTK, os dados foram agrupados em classes conforme os intervalos de CTC. Dentro de cada classe, procedeu a uma análise descritiva, representada graficamente por boxplots, a fim de visualizar a distribuição dos dados e possíveis discrepâncias.

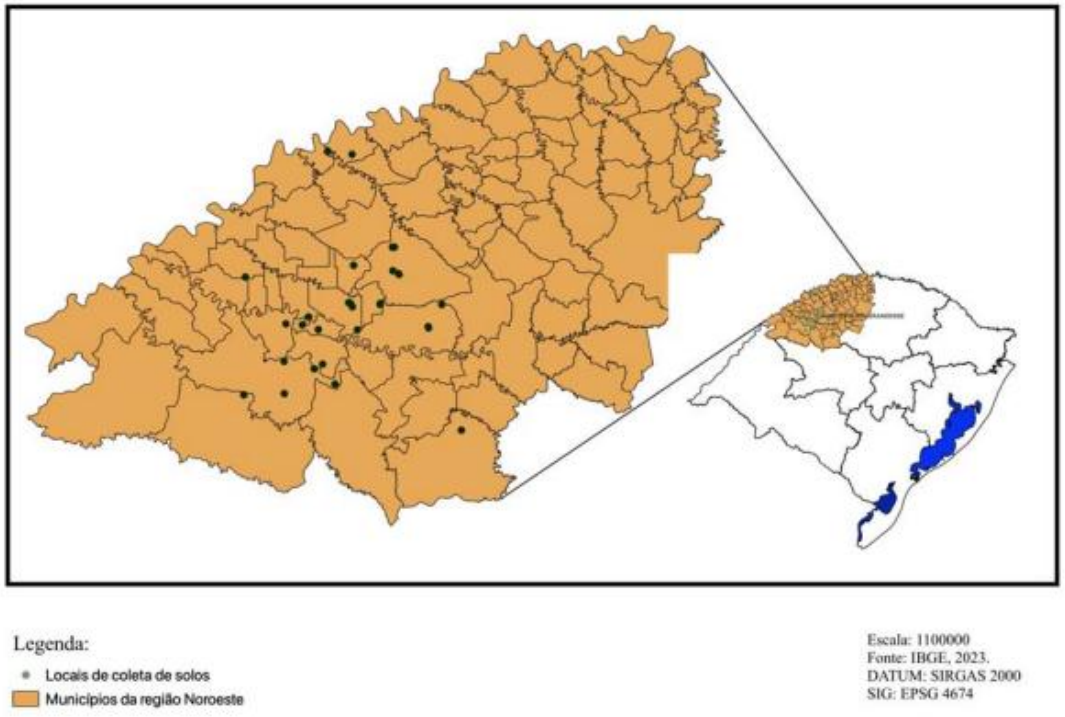
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS

Foram selecionados 29 solos que apresentavam os teores de K abaixo do nível crítico para realização da extração por M3. Destes, 17 apresentaram $CTC_{pH7,0}$ entre 7,6 a 15 $cmol_c dm^{-3}$ e 12 solos apresentaram valores de $CTC_{pH7,0}$ entre 15,1 a 30 $cmol_c\, dm^{-3}$.

Os solos selecionados abrangem 13 municípios da região Noroeste do Rio Grande do Sul (Figura 1), com diferentes sistemas de uso e manejo, incluindo áreas de sistema plantio direto (SPD), sistema de plantio convencional (SPC), pousio, pastagem, campo nativo e área com manejo para silagem.

Figura 1- Localização dos 29 solos selecionados com teores de K abaixo do nível crítico.



Fonte: Blanke (2023).

A caracterização química dos solos selecionados apresentou após a correção da acidez do solo os valores de pH que variaram de 6,14 a 6,87, $CTC_{pH7,0}$ entre 8,9 e

27,81 $cmol_c$ dm^{-3} e teor inicial de K variando de 7 a 107 mg dm^{-3}, resultando em 8, 11 e 10 solos classificados como disponibilidade muito baixa, baixa e média, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1-Classificação, localização, percentual de areia, silte e argila, caracterização química dos 29 locais selecionados.

Amostra	Município	Argila	Silte	Areia	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	CTC	P_{Tl}	K_{Tl}	C. de disp.
		---------%---------				-------$cmol_c$ dm^{-3}------			-------mg dm^{-3}-------		
AG02	Giruá	81,2	18	0,82	6,47	3,6	3,4	8,9	0,6	7	MB
AG03	Senador Salgado Filho	47,5	47,6	4,89	6,32	9,5	4,2	16,9	8,4	69	B
AG05	Mato Queimado	47,6	27,1	25,32	6,47	5,8	3,4	11,72	6,3	69	M
AG07	Novo Machado	57,7	29,7	12,56	6,38	7	2,5	12,12	1,3	32	B
AG08	Novo Machado	81,7	17,7	0,64	6,21	5,3	3,7	11,49	0,7	29	MB
AG09	Giruá	70,2	27,2	2,62	6,73	4,1	4,2	10,1	0,3	22	MB
AG10	Giruá	62,8	35,5	1,63	6,50	6,7	4	13,51	6,8	81	M
AG11	Joia	49,6	13,8	36,57	6,44	5	4,7	11,61	1,4	26	MB
AG12	Guarani das Missões	53,1	32,2	14,7	6,17	8,7	6	18,31	1,9	56	B
AG13	Guarani das Missões	46,5	48,6	4,9	6,24	12	6,5	21,89	4,3	33	MB
AG14	Santo Ângelo	79,4	15,7	4,87	6,56	6,1	5,6	14,1	0,7	41	B
AG15	Santo Ângelo	67,1	23	9,96	6,85	6,4	6,5	15,17	0,9	43	B
AG16	Sete de Setembro	74	24,2	1,74	6,60	6,8	4,9	13,85	3,7	59	B
AG17	Sete de Setembro	46,4	41,2	12,32	6,14	11,7	7,3	23,29	10,9	69	B
AG18	Guarani das Missões	32,9	37,4	29,71	6,52	13,1	4,9	20,97	1,8	72	B
AG19	São Luiz Gonzaga	76,7	19,3	3,95	6,23	6,3	4,8	14,08	3,6	76	M
AG20	São Luiz Gonzaga	60	33,2	6,74	6,67	7,3	6,1	15,75	6,8	21	MB
AG21	Porto Xavier	16,8	36,6	46,68	6,51	12,3	7,3	22,33	3,6	107	M
AG22	Giruá	67,3	27,2	5,54	6,69	8,1	4,3	14,8	3	81	M
AG25	São Paulo das Missões	39,2	40,3	20,54	6,71	13,6	6	22,59	1	27	MB
AG26	São Paulo das Missões	31,3	56,2	12,5	6,59	16,6	8,1	27,81	3,9	64	B
AG27	Guarani das Missões	72,8	22,7	4,44	6,69	6,8	5,1	14,16	3	36	B
AG28	Rolador	44	44,6	11,41	6,30	8,2	3,3	13,82	7,5	80	M
AG29	São Luiz Gonzaga	74,3	24,5	1,25	6,53	6,5	5,2	14,18	21	73	M
AG31	Caibaté	85,9	9,2	4,91	6,78	5,9	5	12,8	0,6	48	B
AG32	São Luiz Gonzaga	71,2	25,9	2,87	6,18	5,4	4,7	11,71	2,1	69	M
AG35	Caibaté	41	44,03	14,97	6,86	11,1	5,2	18,69	13,8	28	MB
AG36	Mato Queimado	51,1	35,7	13,19	6,67	8,1	4,3	15,13	4,1	84	M
AG38	Mato Queimado	55,9	31,9	12,21	6,87	6,3	4	12,8	5,3	90	M

Fonte: Adaptado de Blanke (2023).

5.2 CAPACIDADE TAMPONANTE DE POTÁSSIO

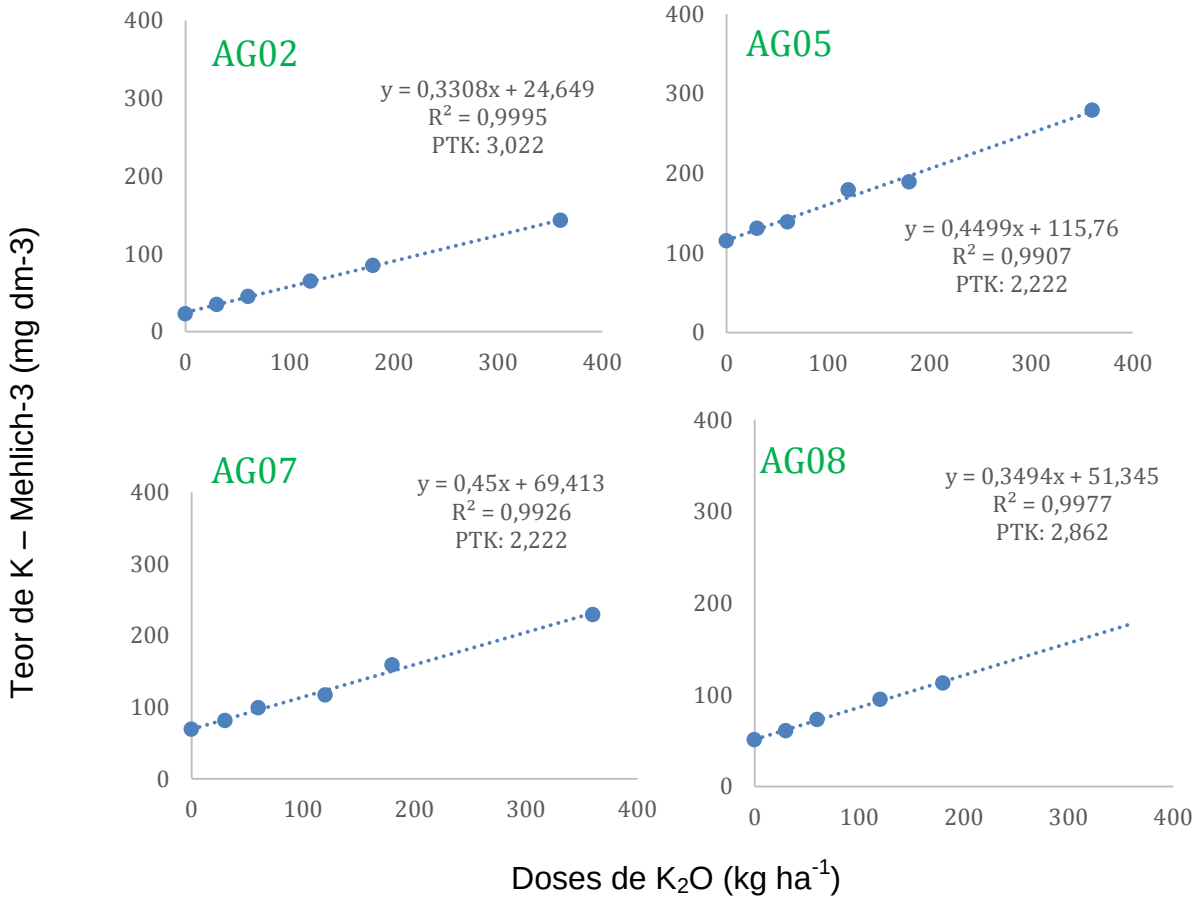
A aplicação das doses de K nas 29 amostras de solo aumentou o teor inicial de K de forma linear ($p<0,001$). Após o período de incubação, os teores de K para M3 destas amostras atingiram os valores de 143 a 299 mg dm^{-3} para amostras que receberam dose de 360 kg ha^{-1} (Figuras 2 e 3). O mesmo comportamento linear após a aplicação das doses, foi observado por Souza Junior *et al.* (2022) para M1.

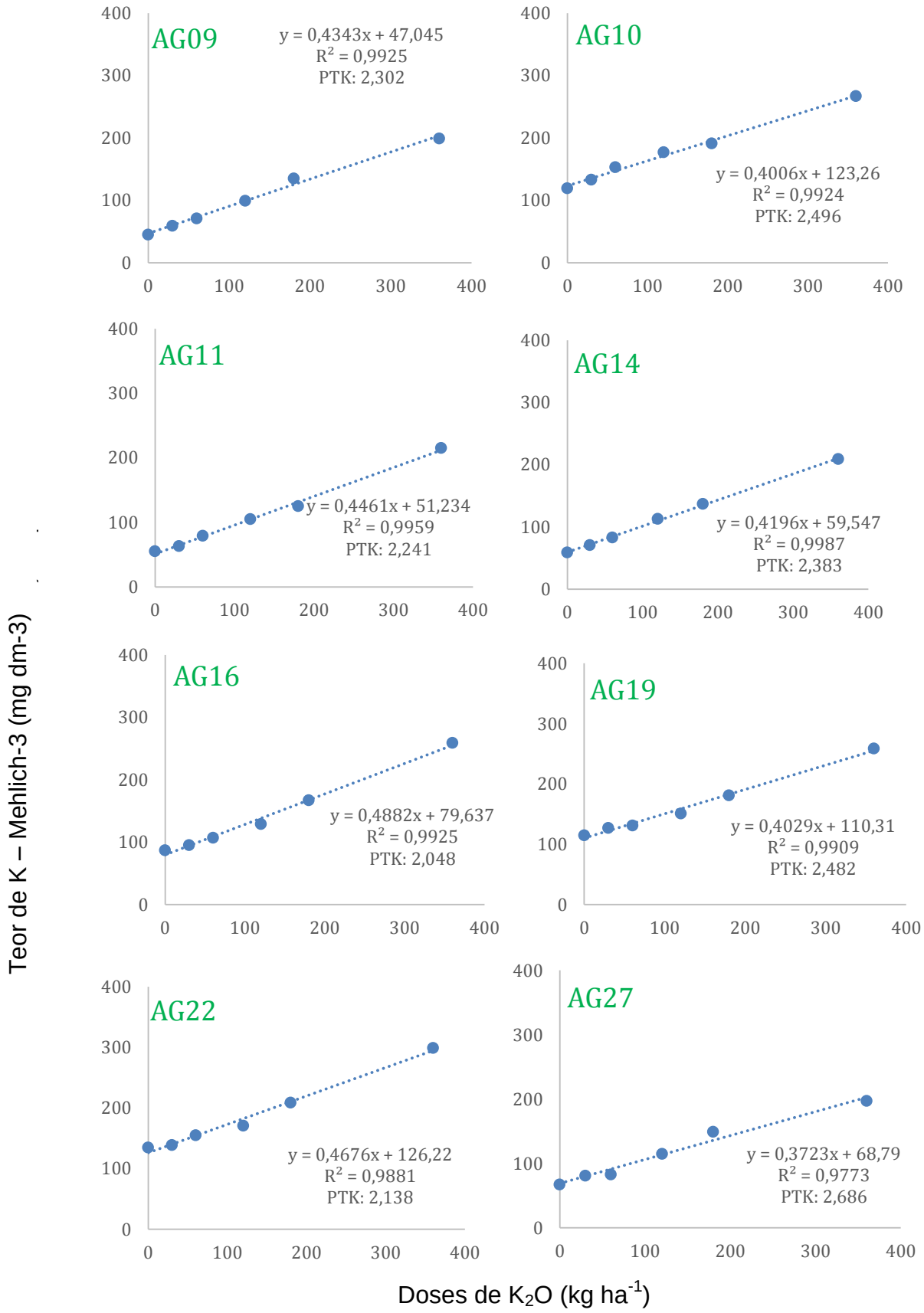
Para a interpretação dos teores de K, adotaram-se as classes de CTC estabelecidas pelo CQFS-RS/SC (2016), sendo 7,6–15 $cmol_c$ dm^{-3} e 15,1–30 $cmol_c$ dm^{-3}. Para essas faixas, os teores críticos de K determinados pelo extrator M1 são

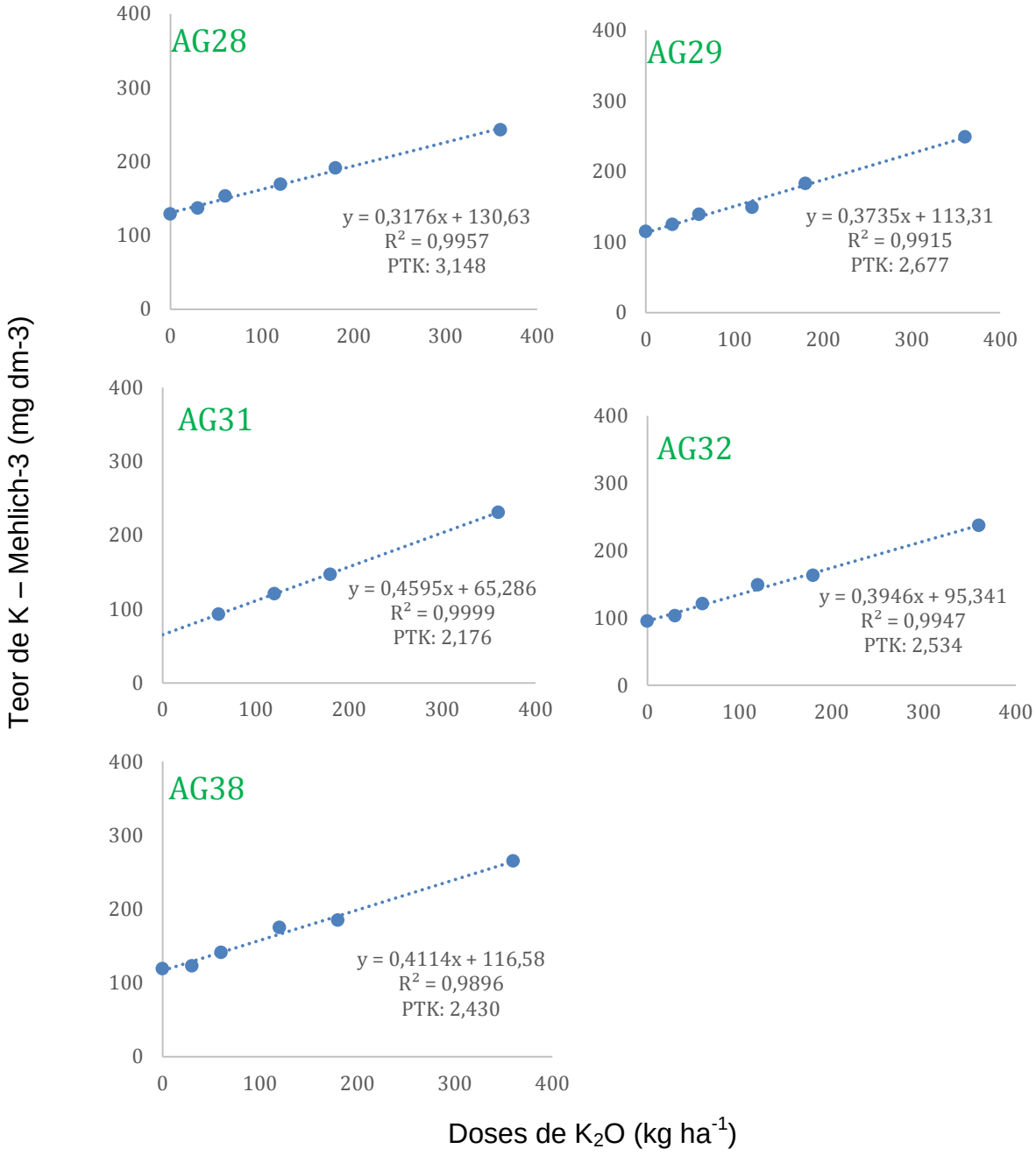
de 90 e 120 mg dm^{-3}, respectivamente. Considerando que o manual recomenda a conversão dos resultados obtidos por M3 para equivalentes de M1 (KM1 = KM3 x 0,83), os teores críticos correspondentes para M3 tornam-se 108 mg dm^{-3} para a faixa de CTC de 7,6–15 $cmol_c$ dm^{-3} e 144 mg dm^{-3} para a faixa de 15,1–30 $cmol_c$ dm^{-3}.

Com base nos valores observados, verificaram-se que a maior parte dos solos atingiu o nível crítico (NC) em ambas as classes de CTC. Esse resultado, a partir da correção proporcionada pela incubação, indica que, no conjunto de amostras avaliadas, a disponibilidade de K situa-se predominantemente acima da faixa considerada adequada para culturas anuais, evidenciando um ambiente nutricional favorável ao desenvolvimento das plantas.

Figura 2-Teores de K extraídos por Mehlich-3 em função da adição de doses de K, após incubação, $CTC_{pH7,0}$ de 7,6 a 15 $cmol_c dm^{-3}$.

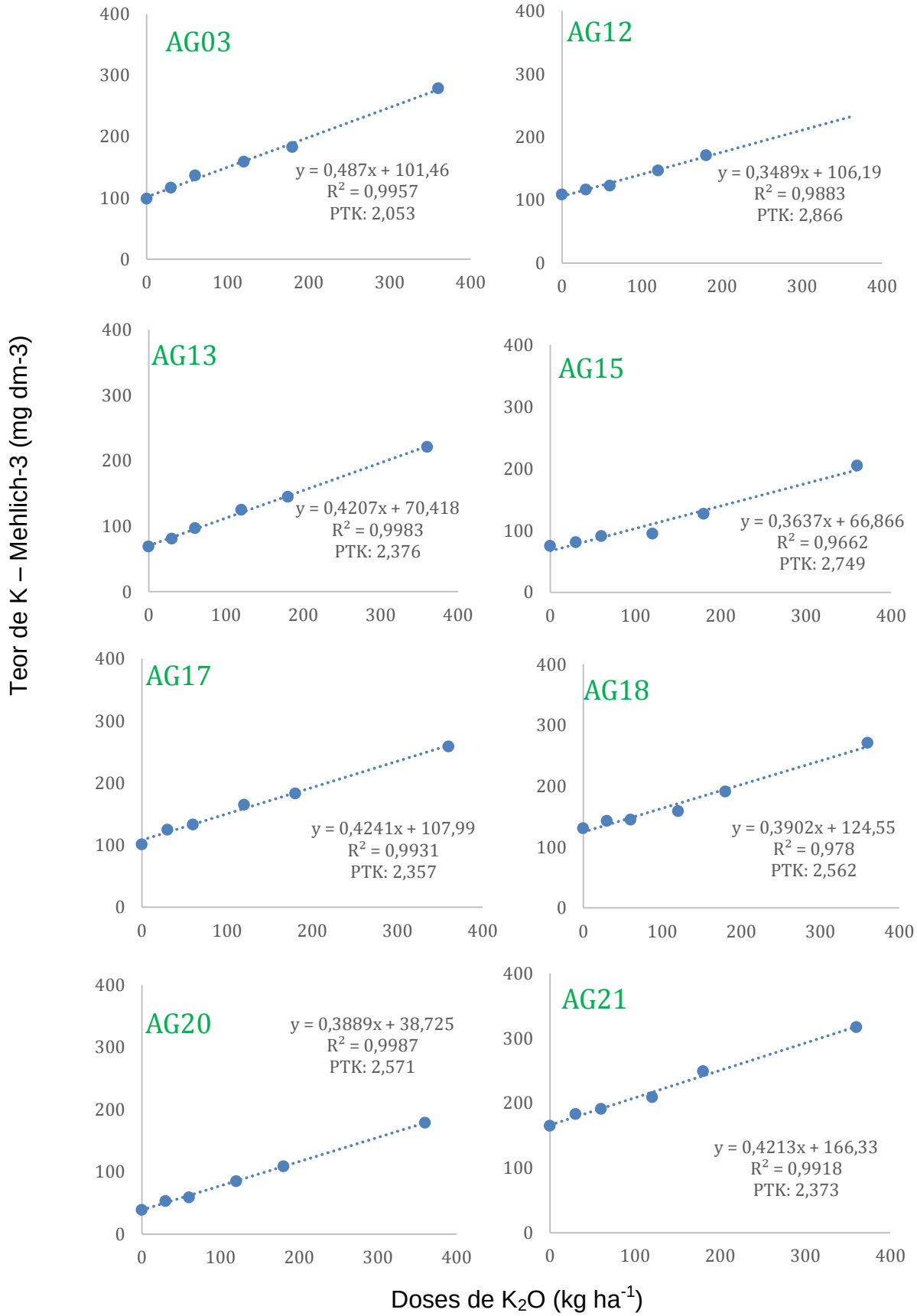


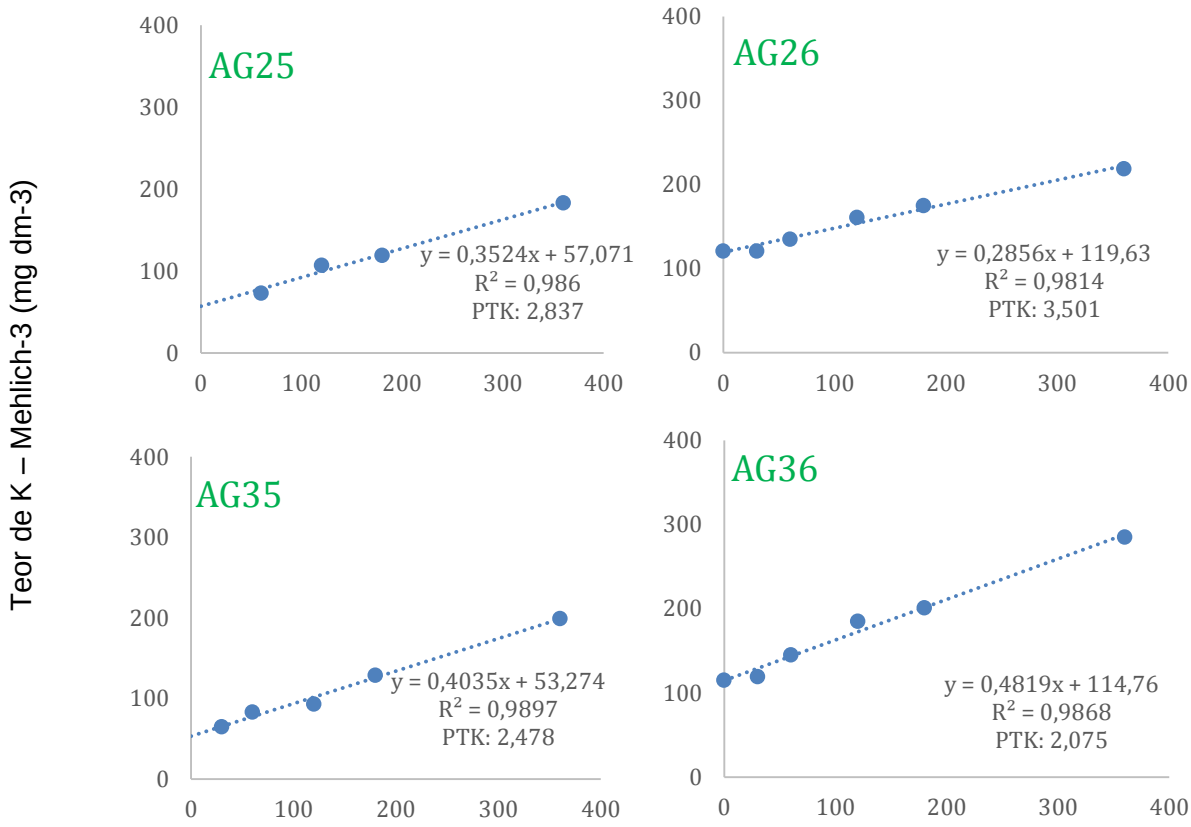

AG09
y = 0,4343x + 47,045
R² = 0,9925
PTK: 2,302
AG10
y = 0,4006x + 123,26
R² = 0,9924
PTK: 2,496
AG11
y = 0,4461x + 51,234
R² = 0,9959
PTK: 2,241
AG14
y = 0,4196x + 59,547
R² = 0,9987
PTK: 2,383
AG16
y = 0,4882x + 79,637
R² = 0,9925
PTK: 2,048
AG19
y = 0,4029x + 110,31
R² = 0,9909
PTK: 2,482
AG22
y = 0,4676x + 126,22
R² = 0,9881
PTK: 2,138
AG27
y = 0,3723x + 68,79
R² = 0,9773
PTK: 2,686
Teor de K – Mehlich-3 (mg dm-3)
Doses de K2O (kg ha-1)



Fonte: Autor (2025).

Figura 3-Teores de K extraídos por Mehlich-3 em função da adição de doses de K, após incubação, $CTC_{pH7,0}$ de 15,1 a 30 $cmol_c dm^{-3}$.





Fonte: Autor (2025).

5.3 RELAÇÃO CAPACIDADE TAMPONANTE DE POTÁSSIO E CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS

Nas 29 amostras de solo analisadas, a capacidade tamponante de potássio (CTK), aumentou de forma linear com a aplicação das doses de correção. Os valores de CTK obtidos a partir do inverso dos coeficientes angulares apresentaram uma variação entre valor mínimo de 2,048 e máximo de 3,501 kg de K_2O ha^{-1}.

A comparação do CTK entre as classes de CTC mostrou que os valores de CTK foram muito semelhantes entre os grupos, independentemente do aumento da CTC (Figura 4). As medianas próximas ao valor médio geral (2,51 kg ha^{-1}) indicam que a CTC, por si só, não determina a intensidade do tampão de potássio no solo. Essa ausência de diferença marcante entre as classes está em concordância com estudos que demonstram que o CTK é influenciado principalmente pela mineralogia

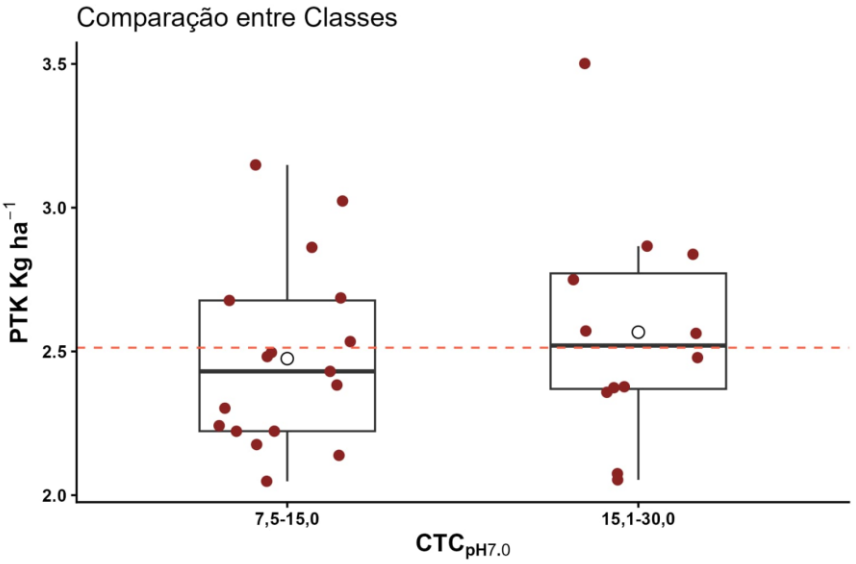
da fração argila, presença de argilominerais 2:1, teor de matéria orgânica e histórico de adubação, e não apenas pelos níveis de cargas trocáveis (Raij, 2011; Bortolon; Gianello, 2012).

Ao relacionar esses resultados com o comportamento do extrator M3, observa-se que, embora o M3 costume extrair mais K que o M1, isso não implica que solos com maior CTC apresentam maior poder tampão, nem que maiores teores extraídos signifique alteração proporcional no CTK. A literatura mostra que o M3 extrai ligeiramente valores mais altos de K que o M1 devido à sua composição química mais agressiva, contendo EDTA, fluoreto e nitrato de amônio, que permitem solubilizar também parte do K não trocável (Mehlich, 1984; Mallarino *et al*., 2013).

Entretanto, a CTK reflete a força com que o solo retém o K, e essa força é determinada pelos sítios de fixação específicos e pela mineralogia do solo, não pelo extrator químico utilizado. Assim, mesmo com maior extração pelo M3, os solos avaliados mantiveram CTK semelhantes nas duas faixas de CTC. Isso indica que a maior eficiência química do M3 não se traduz diretamente em maior sensibilidade ao tampão de K, resultado também observado por Mallarino *et al.* (2013), que relatam que M3 e M1 podem diferir na quantidade extraída, mas não na relação entre extração e tampão do K.

Observou-se que a média da CTK estimada pelo M3 (2,51 kg ha^{-1}) foi inferior à obtida pelo M1 (2,85 kg ha^{-1}), obtida por Blanke (2023). Essa diferença pode ser atribuída ao maior poder de extração do M3, que solubiliza não apenas o K trocável, mas também parte da fração estrutural ou não trocável, ampliando a recuperação do nutriente no solo (Bortolon; Gianello, 2012). Como consequência, a remoção mais eficiente de K pelo M3 reduz a relação entre a variação do teor extraído e a quantidade de nutriente necessária para elevar 1 mg kg^{-1} no solo, resultando em menores valores de CTK (Figura 2). Estudos comparativos indicam que o M1 tende a subextrair K em solos com maior poder tampão, o que pode resultar na superestimação da CTK. O M3, por apresentar maior eficiência e estabilidade entre diferentes classes de solo, geralmente fornece estimativas mais consistentes da disponibilidade de K, refletindo de forma mais adequada a dinâmica do nutriente no sistema solo (Mallarino *et al*., 2013). Essa interpretação é consistente com as recomendações do CQFS-RS/SC (2016), que destacam a importância de métodos extratores capazes de representar adequadamente a disponibilidade do nutriente em sistemas de alta capacidade de adsorção.

Figura 4-Relação da capacidade tamponante de potássio de acordo com a classe de capacidade de troca de cátions.



Fonte: Autor (2025).

Tabela 2-Comparação entre capacidade tampão de potássio pelos extratores Mehlich-1 e Mehlich-3.

SOLOS	M1 CTK	M3 CTK	SOLOS	M1 CTK	M3 CTK
	kg ha^{-1}			kg ha^{-1}	
AG02	3,031	3,023	AG03	3,095	2,053
AG05	2,558	2,223	AG12	2,175	2,866
AG07	2,587	2,222	AG13	3,204	2,377
AG08	3,701	2,862	AG15	2,726	2,750
AG09	2,849	2,303	AG17	2,815	2,358
AG10	3,388	2,496	AG18	3,074	2,563
AG11	2,308	2,242	AG20	2,834	2,571
AG14	2,765	2,383	AG21	3,251	2,374
AG16	2,672	2,048	AG25	2,892	2,838
AG19	2,641	2,482	AG26	3,855	3,501
AG22	2,706	2,139	AG35	2,811	2,478
AG27	2,885	2,686	AG36	2,726	2,075
AG28	2,841	3,149			
AG29	2,691	2,677	**CTC$_{pH7.0}$ de 15,1 a 30**		
AG31	2,635	2,176			
AG32	2,371	2,534			
AG38	2,710	2,431			
CTC$_{pH7.0}$ de 7,6 a 15					

Fonte: Autor (2025).

5.4 CORRELAÇÃO ENTRE OS EXTRATORES MEHLICH-1 E MEHLICH-3

A correlação entre os teores de K extraídos pelos métodos M1 e M3 evidencia uma relação linear consistente entre os extratores (Figura 5), como demonstrado pela elevada concentração dos pontos próximos à linha de regressão e pelo coeficiente de determinação (0,94). Esse comportamento é amplamente relatado na literatura, estudos conduzidos por Bortolon, Schlindwein e Gianello (2009) observaram correlações de 0,94 entre M1 e M3 para K em solos sob plantio direto no Sul do Brasil, reforçando o padrão de paralelismo entre os extratores. Em posterior, Bortolon, Gianello e Schlindwein (2010) encontraram coeficientes ainda mais elevados, variando entre 0,93 e 0,96, obtendo a similaridade estatística observada no presente estudo.

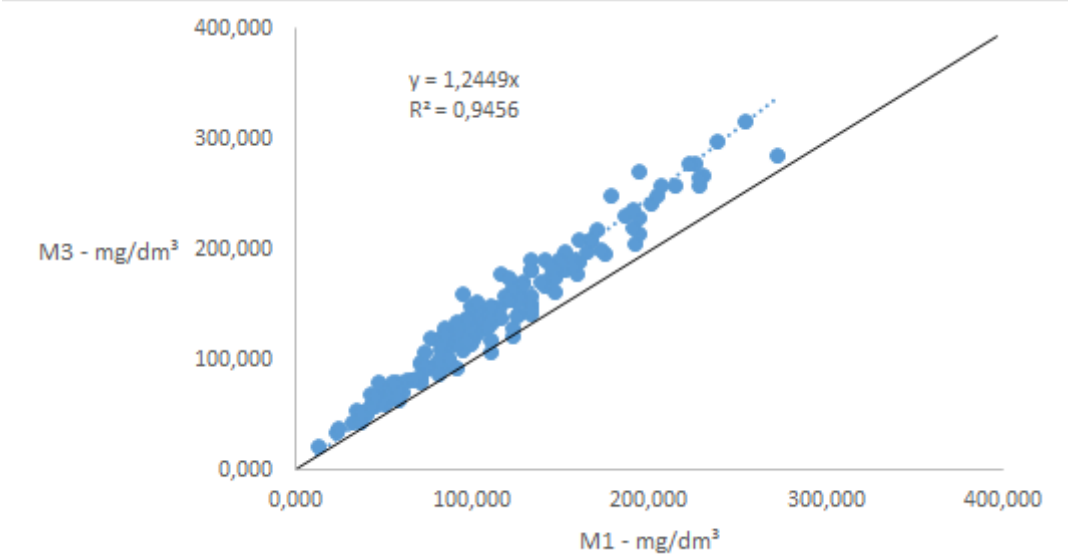
Apesar da forte associação, os valores obtidos pelo M3 foram sistematicamente superiores aos determinados pelo M1, com incremento médio de aproximadamente 24%. Tendência semelhante é descrita na literatura, que aponta que o M3 frequentemente extrai teores mais elevados de K em função de sua formulação mais complexa, capazes de intensificar a solubilização de cátions adsorvidos na fração coloidal. Em contraste, o extrator M1, baseado em soluções diluídas de HCl e H_2SO_4, apresenta menor capacidade de complexação e depende mais intensamente da acidez do solo e da mineralogia de cada ambiente (Mehlich, 1984). Em solos do Sul do Brasil, Bortolon *et al*. (2010) também observaram o predomínio de teores extraídos por M3 sobre M1, reforçando que esta diferença é consistente regionalmente, com médias na extração de 166 mg dm^{-3} para M1 e 197 mg dm^3 para M3.

No trabalho observou que o extrator M3 apresentou valores de K em torno de 24% superiores aos obtidos pelo M1, diferença ligeiramente maior que os cerca de 20% estimados pelo fator de conversão 0,83 atualmente adotado pelo CQFS-RS/SC (2016). Essa diferença de aproximadamente 4% evidencia que, embora o fator oficial represente uma boa aproximação geral, a relação entre M1 e M3 pode ser mais elevada em determinados solos da região estudada, possivelmente devido às variações em textura, mineralogia e histórico de fertilização potássica, o manual enfatiza que tal conversão não substitui estudos regionais de calibração. Estudos como os de Amorim *et al.* (2014) demonstram que, embora o M3 extraia mais K,

essa diferença não afeta negativamente a capacidade do extrator de refletir o K disponível às plantas, reforçando sua viabilidade, desde que interpretado corretamente.

Em síntese, os resultados do presente estudo se alinham ao consenso da literatura, em que M3 e M1 são extratores altamente correlacionados, o M3 extrai sistematicamente mais K e pode ser adotado como alternativa ao M1, desde que acompanhado de conversões, calibrações ou atualizações dos níveis críticos. Esse conjunto de evidências reforça que o extrator M3 se destaca com a relevância de pesquisas regionais, como este trabalho, que fornecem dados essenciais para sustentar a transição metodológica e aprimorar as recomendações de manejo de K nos solos da região.

Figura 5-Correlação entre os teores de potássio extraídos pelos métodos Mehlich-1 e Mehlich-3.



Fonte: Autor (2025).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos no presente trabalho permitiram atingir os objetivos propostos e trouxeram contribuições importantes para a avaliação da disponibilidade de K e a estimativa da CTK nos solos da região Noroeste do Rio Grande do Sul, por meio da comparação entre os extratores M1 e M3.

Em relação à comparação dos métodos e correlação, as análises evidenciaram uma correlação forte e altamente significativa entre os teores de K extraídos pelo M1 e pelo M3. Essa correlação indica a possibilidade de conversão dos resultados, harmonizando a metodologia analítica. No entanto, verificou-se que os teores de K extraídos pelo M3 foram sistematicamente superiores aos obtidos pelo M1, com um aumento médio de aproximadamente 24%. A forte correlação permite a proposição de um fator de conversão (0,83) para adaptar os resultados do M3 ao sistema de interpretação consolidado do M1, embora a calibração regional seja sempre a abordagem mais rigorosa.

No que tange à CTK, as estimativas realizadas com base no extrator M3 demonstraram que os solos estudados apresentaram valores de CTK variando entre 2,048 e 3,501 kg de K_2O ha^{-1} para elevar o teor de K em 1 mg dm^{-3}. Essa variação reflete a capacidade do solo em resistir a mudanças na concentração de K na solução.

A comparação entre as médias CTK mostrou valores de 2,51 kg de K_2O ha^{-1} para o extrator M3 e 2,85 kg de K_2O ha^{-1} para o M1, indicando que o M3 apresentou menor demanda de K_2O para elevar 1 mg dm^{-3} de K no solo. Essa diferença é coerente com o comportamento observado ao longo do estudo, no qual o M3 demonstrou maior eficiência de extração de K em relação ao M1, resultando, consequentemente, em menor CTK. Esses resultados reforçam a consistência da correlação entre os dois extratores e evidenciam que o M3 pode fornecer estimativas mais sensíveis da disponibilidade de K no solo. Além disso, os valores de CTK foram semelhantes entre as diferentes classes de CTC, indicando que a CTC, isoladamente, não é o fator limitante na determinação da capacidade tampão de K dos solos da região.

Conclui-se que o extrator M3 apresenta-se como uma alternativa viável e, em alguns aspectos, superior ao M1 para a análise de K na região estudada. A forte

correlação permite sua adoção com o histórico de calibração, e sua maior eficácia na extração e sua coerência na determinação da CTK o credenciam como um extrator promissor para aprimorar a diagnose da disponibilidade de K e a precisão da recomendação de adubação potássica. Assim, os resultados obtidos tornam-se importantes para aprimorar as recomendações de adubação potássica na região Noroeste do Rio Grande do Sul, contribuindo para diagnósticos mais precisos e manejo mais eficiente do nutriente no solo.

REFERÊNCIAS

AMORIM, M. B.; ROGERI, D. A.; GIANELLO, C. Potassium Available to Corn Plants Extracted by Ammonium Acetate, Ammonium Chloride, Mehlich-1 and Mehlich-3 Solutions in Southern Brazilian Soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 52, n. 15, p. 1790–1797, 2021.

AMORIM, M. B. **Métodos de avaliação da disponibilidade de Potássio para as plantas em solos do Rio Grande do Sul**. 2014. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

BARBER, S.A. **Soil nutrient biovailability**: a mechanistic approach. 398 f, New York, 1984.

BECKETT, P.H.T. **Studies on soil potassium**. II. The “imediated” Q/I relations of labile potassium in the soil. J. Soil Sci., v. 15, p. 9-23, 1964.

BENITES, V. M.; *et al*. Potássio, cálcio e magnésio. In: PROCHONOW, L. I.; CASARIN, Valter; STIPP, S. R. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**: nutrientes. Piracicaba, v.2, p. 133-204, 2014.

BOEIRA R. C. *et al*. Extração simultânea de alumínio, cálcio, magnésio, potássio e sódio do solo com solução de cloreto de amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 28, p. 929-936, 2004.

BORTOLON, L. **Métodos de avaliação da disponibilidade de nutrientes para as plantas em solos do Rio Grande do Sul**. 2005. 111 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

BORTOLON, L.; GIANELLO, C. Multielement Extraction from Southern Brazilian Soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. Philadelphia, v. 43, p.1615–1624, 2012.

BORTOLON, L.; GIANELLO, C.; SCHILINDWEIN, J. A. Disponibilidade de potássio para as plantas em solos do Sul do Brasil estimada por métodos multielementares. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 34, p. 1753-1761, 2010.

BORTOLON, L.; SCHLINDWEIN, J. A.; GIANELLO, C. Métodos de extração de fósforo e potássio no solo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, p. 2400-2407, 2009.

CQFS-RS/SC – Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC. Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10. ed. Porto Alegre: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 376 f, 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 212 f. (Embrapa – CNPS. Documentos, n. 1), 1997.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. Potássio. In: NOVAIS, R. F. (Ed.). *et al*. ; **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS/UFV. p. 551-594, 2007.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2007.

Ernani, PR. **Química do Solo e Disponibilidade de Nutrientes**. 2° ed. Lages: O Autor, 2016.

FURTINE NETO, A. E. F.; VALE, F. R.; RESENDE, A. V.; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A. A. **Fertilidade do solo**. 261 f. Lavras: UFLA/FAEP, 2001.

GATIBONI, L. C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas.** 2003. 231 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

KINPARA, D. I. **A importância estratégica do potássio para o Brasil.** Documentos 100, Embrapa Cerrado, Palantina, ed. 1, 2003.

MALLARINO, A. P. *et al*. **Evaluation of Mehlich-3 and Other Soil-Test Extractants for Potassium in Midwest Soils**. Soil Science Society of America Journal, v. 77, p. 1417–1427, 2013.

MALAVOLTA, E.; BOARETO, A. E.; PAULINO, V. T. Micronutrientes: uma visão geral. In: FRREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. da (Org.). **Micronutrientes na agricultura.** Piracicaba: Potafos, p. 1-33, 1991.

MARTINS, R.; MELO, V. F.; SERRAT, B. M. Métodos de determinação da disponibilidade de potássio para a cultura do trigo em solos dos Campos Gerais, estado do Paraná. **Revista Ceres**, V. 51, p. 787-801, 2004.

MEDEIROS, J. S.; OLIVEIRA, F. H. T.; ARRUDA, J. A.; VIEIRA, M. S.; FONTES, M. P. F. Eficiência de Extratores de Potássio Disponível em Solos do Estado da Paraíba com Graus de Desenvolvimento Pedogenético Diferentes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.183-194, 2010.

MEDEIROS, J. S.; OLIVEIRA, F. H. T.; SANTOS, H. C.; ARRUDA, J. A.; VIEIRA, M. S. Formas de potássio em solos representativos do Estado da Paraíba. **Revista de Ciências Agronômica**, v. 45, n. 2, p. 417-426,2014.

MEHLICH, A. **Determination of P, Ca, Mg, K, Na, NH_4 .** Short Test Methods Used in Soil Testing Division, Department of Agriculture, Raleigh, North Carolina. S.T.D.P. N°. 1-53, 1953.

MEHLICH, A. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 15, n. 12, p. 1409–1416, 1984.

MYLAVARAPU, R.; OBREZA, T.; MORGAN, K.; HOCHMUTH, G.; NAIR, V.; WRIGHT, A. **Extraction of soil nutrients using Mehlich-3 reagent for acid-mineral soils of Florida.** Gainesville: UF/IFAS Extension, 2014. 1 arquivo PDF.

NACHTIGALL, G. R.; RAIJ, B. V. Análise e interpretação do potássio no solo. *In*: YAMADA,Tsuioshi; ROBERTS, Terry L. **Potássio na cultura brasileira**. Piracicaba, p. 93-118, 2005.

OLIVEIRA, V.; LUDWICK, A. E.;BEATTY,M.T. Potassium removed from some southern Brazilian soils by exhaustive cropping and chemical extractions methods. **Soil Science Society of American Journal**., v. 35, p. 763-767, 1971.

PESINI, G. *et al.* Efeito das doses e métodos de aplicação de potássio no sistema de plantio direto sobre o solo. Disponibilidade de K e produtividade da cultura**. Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 48, 2024.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 420 f, 2011.

RAIJ B. V.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. 170 f. Campinas: Fundação Cargil, 1987.

RUIZ, H.A.; MIRANDA, J; CONCEIÇÃO, J.C.S. **Contribuição dos mecanismos de fluxo de massa e de difusão para o suprimento de K, Ca, Mg às plantas de arroz.** R. Bras. Ci. Solo, v. 23, p. 1015-1018, 1999.

SANTOS, H. G. *et al*. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SCHLINDWEIN, J. A.; GIANELLO, C. Doses de máxima eficiência econômica de fósforo e potássio para as culturas cultivadas no sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 85, p. 20-25, 2005.

SILVA, D.J.; ALVAREZ, V.H; RUIZ, H.A. **Fluxo de massa e difusão de enxofre para raízes de milho em solos ácidos de Minas Gerais**. R. Bras. Ci. Solo, v. 22, p. 109-114, 1998.

SOARES, R.; ESCALEIRA, V.; CAMPOS, D. V. B.; MONTEIRO, M. I. C.; CARNEIRO, M. C.; SANTELLI, R. E. A. C. C. Comparação de Métodos

Convencional e Alternativo para Determinação de Sódio, Potássio e Fósforo em Extratos de Solos Obtidos com Solução de Mehlich-1. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 36, p. 105-112, 2012.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação com potássio. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (org.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, p. 305–332, 2004.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado**: correção do solo e adubação. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 416 f, 2002.

SOUZA JUNIOR, A. A. *et al*. Potassium buffering capacity and correctiva potassium fertilizer recommendations in soils from Southern Brazil. **Revista brasileira de ciência do solo**, 2022.

SPARKS, D. L. Bioavailability of soil potassium. In: SUMNER, M. E. (Ed.). **Hand book of soil science.** Boca Raton: CRC Press, p. 38 - 53, 2000.

TEDESCO, M. J. *et al*. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 174 f. N° 5, 1995.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, p. 2297-2305, 2008.