

ASPECTOS DA ACIDEZ E CORREÇÃO DO SOLO PARA O CULTIVO DE HELIANTHUS ANNUUS

Thiago Henrique de Souza^{1*}, Antonio Nolla¹, Pedro Henrique da Silva¹, Thaynara Garcez da Silva¹

¹Universidade Estadual de Maringá - UEM, Campus de Umuarama, Departamento de Ciências Agronômicas.
Estrada da Paca s/n, Bairro São Cristóvão, Umuarama - PR, CEP: 87507-190. E-mail:
enriquethiago18@gmail.com, anolla@uem.br, pedrohsagro@gmail.com, thayaragarceztg@gmail.com

*autor correspondente: enriquethiago18@gmail.com

RESUMO: O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma cultura de elevada relevância econômica, utilizada na produção de óleo, biodiesel e alimentação animal. Contudo, sua produtividade é afetada por limitações químicas do solo, especialmente a acidez. Essa condição é comum em solos tropicais brasileiros e impacta diretamente o desenvolvimento da cultura. Objetivou-se reunir e analisar informações científicas sobre a interação entre o girassol e a acidez do solo, com ênfase nos efeitos da toxicidade por alumínio, nos atributos químicos do solo relacionados à calagem e nos critérios técnicos para sua recomendação. A literatura demonstra que solos ácidos, caracterizados por baixos valores de pH, alta saturação por alumínio e deficiência de cálcio e magnésio, limitam significativamente o crescimento do girassol. A toxicidade por Al^{3+} afeta principalmente o sistema radicular, reduzindo sua expansão e comprometendo a absorção de água e nutrientes. Estudos indicam que a cultura apresenta melhor desempenho em solos com pH entre 5,5 e 6,0 e saturação por bases superior a 60%. Nesse contexto, a calagem é amplamente reconhecida como a prática mais eficiente para corrigir a acidez do solo, pois promove a neutralização do alumínio tóxico, eleva o pH e aumenta a disponibilidade de Ca^{2+} e Mg^{2+} . Além disso, contribui para a melhoria da capacidade de troca catiônica e da fertilidade do solo. A recomendação adequada da calagem deve considerar parâmetros como análise química do solo, necessidade de calagem e características específicas da cultura, sendo essencial para maximizar o potencial produtivo do girassol em ambientes tropicais.

PALAVRAS-CHAVE: Girassol, alumínio, calagem, saturação por bases.

ASPECTS OF SOIL ACIDITY AND CORRECTION FOR THE CULTIVATION OF HELIANTHUS ANNUUS

ABSTRACT: Sunflower (*Helianthus annuus* L.) is a crop of high economic importance, widely used for oil production, biodiesel, and animal feed. However, its productivity is affected by soil chemical limitations, especially acidity. This condition is common in Brazilian tropical soils and directly impacts crop development. The objective of this study was to compile and analyze scientific information on the interaction between sunflower and soil acidity, with emphasis on the effects of aluminum toxicity, soil chemical attributes related to liming, and technical criteria for its recommendation. The literature shows that acidic soils, characterized by low pH values, high aluminum saturation, and deficiencies of calcium and magnesium, significantly limit sunflower growth. Aluminum (Al^{3+}) toxicity mainly affects the root system, reducing its

expansion and impairing water and nutrient uptake. Studies indicate that the crop performs best in soils with pH between 5.5 and 6.0 and base saturation above 60%. In this context, liming is widely recognized as the most efficient practice to correct soil acidity, as it neutralizes toxic aluminum, increases pH, and enhances the availability of Ca^{2+} and Mg^{2+} . Additionally, it improves cation exchange capacity and overall soil fertility. Proper liming recommendations should consider parameters such as soil chemical analysis, liming requirement, and specific crop characteristics, being essential to maximize sunflower yield potential in tropical environments.

KEY WORDS: Sunflower, aluminum, liming, base saturation.

INTRODUÇÃO

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma planta dicotiledônea anual. Estudos mostram que os indígenas estadunidenses já utilizavam a planta do girassol por volta de 3000 a.C. No Brasil, seu cultivo iniciou-se no século XIX, e São Paulo foi a primeira região a cultivar girassol comercialmente, em 1902 (Gazzola et al., 2012).

Atualmente, a cultura do girassol se destaca no cenário agrícola global. Na safra 2024/2025, a produção mundial de sementes foi estimada em 52,06 milhões de toneladas, cultivadas em cerca de 28 milhões de hectares. A Rússia lidera o ranking com cerca de 16,9 milhões de toneladas, seguida pela Ucrânia, que contribuiu com aproximadamente 13 milhões. Somados, esses dois países são responsáveis por cerca de metade de toda a oferta global da oleaginosa. A terceira posição entre os países produtores é ocupada pela Argentina, que alcançou uma produção de cerca de 4,7 milhões de toneladas (USDA, 2026). No Brasil, a safra de girassol referente ao ciclo 2024/2025 consolidou uma produção total de 99,3 mil toneladas, distribuídas em uma área plantada de aproximadamente 61,9 mil hectares (CONAB, 2025).

No contexto brasileiro, a produtividade média do girassol é de 1,5 t ha⁻¹, com Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul como os principais estados produtores, destacando-se Goiás pela maior produtividade (1,27 t ha⁻¹) e por concentrar 71,6% da produção nacional (Goiás, 2025a). A crescente importância econômica da cultura é impulsionada pela versatilidade de seus grãos, utilizados na produção de óleo comestível, farelo, biocombustíveis e em aplicações nas indústrias cosmética e farmacêutica (Carvalho e Montovani, 2018). O óleo de girassol, em particular, tem ganhado destaque no mercado consumidor devido à sua elevada qualidade lipídica e alto teor de ácidos graxos insaturados, favorecendo a expansão do cultivo no país

(Correa et al., 2024). Além disso, o cultivo do girassol contribui para a diversificação agrícola, apresentando boa adaptação a sistemas conservacionistas, como o plantio direto e a rotação de culturas, auxiliando na recuperação da fertilidade do solo e no controle natural de pragas e doenças (Embrapa, 2010; Foloni et al., 2012).

A acidez do solo é um fator limitante para a produtividade de diversas culturas, incluindo o girassol, especialmente em regiões com solos predominantemente ácidos, como o Noroeste do Paraná. Solos ácidos apresentam elevada concentração de alumínio (Al^{3+}) tóxico e baixos teores de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}), nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas. O girassol é uma cultura sensível à acidez do solo, apresentando desenvolvimento ideal em condições de pH entre 5,5 e 6,5 (Embrapa, 2010; Foloni et al., 2013).

Os principais corretivos são o calcário agrícola, a cal virgem, a cal hidratada e a escória siderúrgica, cada um com características específicas. O calcário agrícola, composto por carbonato de cálcio e carbonato de magnésio, apresenta efeito gradual, duradouro e de baixo custo. A cal virgem (CaO) proporciona neutralização rápida, porém exige cuidado no manuseio devido à sua natureza cáustica e apresenta custo elevado. A cal hidratada (Ca(OH)_2), derivada da cal virgem, combina maior segurança com ação intermediária, sendo adequada para correções rápidas, embora seu efeito seja menos duradouro que o do calcário. A escória siderúrgica, subproduto da indústria do aço, atua como corretivo e fonte de Ca e Mg, contribuindo para a melhoria da estrutura do solo e para a sustentabilidade, mas seu alto custo de transporte limita seu uso (Prado et al., 2002; Wally et al., 2015; Chaves e Farias, 2022).

A correção da acidez do solo, por meio da calagem é o método que apresenta maior custo-benefício. O calcário é fundamental para neutralizar o alumínio tóxico, elevar o pH do solo e aumentar a disponibilidade de nutrientes, como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e NH_4^+ . A calagem melhora a CTC do solo, otimizando a absorção de nutrientes pelas plantas e promovendo um ambiente mais favorável ao desenvolvimento radicular e à atividade microbiana (Natale et al., 2007).

De acordo com isso, o presente artigo de revisão tem como objetivo reunir informações científicas sobre a interação entre o girassol e a acidez do solo, destacando a ação do alumínio no solo/planta, os parâmetros químicos determinantes para a calagem e os critérios de recomendação de corretivos aplicáveis à cultura.

REVISÃO

IMPORTÂNCIA ECONÔMICA E CARACTERÍSTICAS DO GIRASSOL

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma planta anual pertencente à família Asteraceae, com origem na América do Norte. A importância econômica da cultura está diretamente ligada à versatilidade de seus grãos, que servem como matéria-prima para a produção de óleo comestível, farelo, biodiesel e aplicações nas indústrias cosmética e farmacêutica (Carvalho e Mantovani, 2018). O óleo de girassol, em particular, ganha crescente atenção do mercado consumidor devido à sua alta qualidade lipídica e elevada concentração de ácidos graxos insaturados, com destaque para o ácido linoleico, que representa cerca de 60% de sua composição (Castro e Farias, 2005; Embrapa, 2015). Além do óleo, a torta resultante da prensagem das sementes é um subproduto de alto valor proteico (28% a 40% de proteína bruta), amplamente empregado na formulação de rações para ruminantes, suínos e aves (Pereira et al., 2016).

O Brasil ocupa atualmente a 18^a posição no ranking mundial, na safra 2024/25, a produção nacional foi estimada em cerca de 99,3 mil toneladas, com uma produtividade média de 1.602 kg ha⁻¹ (CONAB, 2025). O principal motivo para a produtividade reduzida no Brasil reside no fato de a cultura ser cultivada majoritariamente em sistema de sucessão com a soja, o que a sujeita a maiores riscos de estresse hídrico e menor aporte tecnológico. Além disso, o girassol é altamente sensível à acidez do solo e à deficiência de micronutrientes, especialmente o boro, cujo manejo nutricional nem sempre é otimizado nas áreas de produção brasileiras. Para melhorar esses índices, é fundamental investir na melhora genética focada no clima tropical, correção técnica da fertilidade do solo e em um planejamento de semeadura que minimize a ocorrência de estresse hídrico durante a fase de florescimento (Schwerz et al., 2015).

A planta de girassol pode proporcionar matéria-prima de qualidade para a produção de silagem, grãos para alimentação de pássaros e flor ornamental, mas seu cultivo tem como foco principal a produção de sementes de alto valor para a extração do óleo (Embrapa, 2009). Esta cultura destaca-se por figurar entre as quatro maiores oleaginosas do mundo em produção de grãos (com uma safra global estimada em cerca de 52 milhões de toneladas) e a quinta em área

cultivada, com aproximadamente 27 milhões de hectares. Além disso, consolida-se como a quarta principal fonte de óleo vegetal comestível do planeta (USDA, 2026).

O fruto do girassol, conhecido como aquênio, é composto pelo pericarpo (com três camadas) e pela semente, formada por tegumento, endosperma e embrião, popularmente, o aquênio é chamado de semente e existem dois tipos: oleosas, menores e pretas, com casca aderida (20%–30% do peso); e não oleosas, maiores, rajadas e com casca fibrosa (40%–45% do peso) (Carrão-Panizzi e Mandarino, 2005). O teor de óleo presente nas sementes de girassol varia entre 45% e 65%, com baixos níveis de gorduras saturadas. Além disso, é a oleaginosa que mais fornece vitamina E. Destaca-se na alimentação humana pelos benefícios associados à redução do colesterol, sendo que cerca de 60% de sua composição é constituída por ácidos graxos essenciais, como o ácido linoleico (Castro et al., 2021; Embrapa, 2015).

O girassol é fonte de inúmeros processos industriais, como a produção de óleo comestível, biodiesel, rações e subprodutos para a indústria química, sendo uma cultura amplamente versátil. A cultura tem sido utilizada não somente para a extração de óleo, mas também como alternativa viável na produção de silagem. A silagem produzida a partir do girassol constitui uma solução para a alimentação animal, especialmente em regiões com solos arenosos e sistemas conservacionistas, condição na qual outras culturas apresentam limitações de desenvolvimento (Amabile, 2007). Em solos argilosos, embora o girassol também possa ser cultivado, sua importância como alternativa forrageira tende a ser menor, em razão da maior adaptação e produtividade de culturas tradicionalmente utilizadas nesses ambientes (Amabile et al., 2003). As sementes de girassol podem ser também utilizadas como fontes de óleo, por causa da sua qualidade, que é altamente valorizada pelas indústrias alimentícias e energéticas. As sementes são ricas em ácidos graxos insaturados, principalmente ácido linoleico, o teor de óleo nas sementes varia entre 38% e 45%, superando culturas como soja e algodão (Rodrigo et al., 2012).

O óleo pode ser extraído de forma mecânica e química (solvente). A extração mecânica é um processo realizado por meio de prensagem a frio, utilizado em produções de pequena e média escala. Para a realização deste método, é aplicada uma força de pressão contínua nas sementes descascadas e trituradas, em temperatura controlada, geralmente abaixo de 50 °C, o que preserva as características organolépticas e nutricionais do óleo, como sabor, cor e alto teor de ácidos graxos insaturados (Monteiro et al., 2015). A extração a frio consegue extrair em

torno de 28% a 35% do óleo presente na semente, é indicada para agroindústrias familiares e sistemas agroecológicos, pois necessita de menor investimento em infraestrutura e baixo risco de poluição.

ACIDEZ DO SOLO: GÊNESE E CARACTERÍSTICAS

A acidez do solo é um dos principais fatores que limitam a produtividade em áreas agrícolas, principalmente em solos tropicais altamente intemperizados. A formação da acidez do solo é resultado de uma complexa interação de processos químicos, físicos e biológicos, ocorrendo ao longo do tempo, e pode ser influenciada por fatores naturais ou práticas antrópicas (Velooso et al., 2020).

A gênese e o intemperismo do solo contribuem na acidificação do solo, pois regiões de clima quente e úmido passam por intenso intemperismo químico. Este processo causa a remoção progressiva de bases trocáveis, como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ , e acumulando hidrogênio e alumínio (Al^{3+}) na solução e nos coloides do solo. A situação é comumente observada em Latossolos e Argissolos, presentes principalmente nas regiões tropicais, de forma que a acidez é considerada natural devido à mineralogia pobre em minerais primários e também decorrente da alta lixiviação (Costas et al., 2019).

A lixiviação de bases é um dos principais causadores da acidificação do solo. Isso ocorre porque em ambientes com elevada precipitação, os íons básicos são facilmente lixiviados no perfil do solo, resultando em baixos teores de saturação por bases ($V\%$ inferiores a 40%) e alta saturação por alumínio ($\text{Al}^{3+} > 0,3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). Em solos arenosos, esse processo é intensificado devido à baixa capacidade de troca catiônica (CTC geralmente inferior a $5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), o que agrava a acidez ao reduzir a retenção de íons básicos e favorecer a presença de H^+ e Al^{3+} na solução do solo (Schaffrath et al., 2008). Nessas condições, as plantas apresentam restrição do crescimento radicular, redução da absorção de água e nutrientes, além de toxicidade por alumínio, que inibe a divisão celular nas raízes, resultando em menor desenvolvimento vegetativo e queda da produtividade (Lima et al., 2014).

A atividade biológica e a decomposição da matéria orgânica desempenham papel importante na dinâmica da acidez do solo. Durante a decomposição de resíduos vegetais e animais, os microrganismos liberam ácidos orgânicos e íons H^+ , o que pode promover redução

temporária do pH do solo. No entanto, esse processo não deve ser interpretado como um fator negativo, uma vez que a matéria orgânica também aumenta a capacidade de troca catiônica, complexa o alumínio tóxico e melhora a estrutura do solo, contribuindo para a estabilidade química e biológica do sistema. Adicionalmente, a decomposição de compostos contendo nitrogênio, carbono e enxofre pela atividade microbiana pode resultar no aumento da concentração de íons H^+ , contribuindo para a acidificação do solo, especialmente em sistemas agrícolas mal manejados como o sistema de cultivo convencional (presença de revolvimento). Todavia, esse processo não constitui um problema inevitável, uma vez que pode ser mitigado por práticas de manejo sustentável, como o equilíbrio na adubação nitrogenada, a manutenção de níveis adequados de matéria orgânica, a rotação de culturas e a correção da acidez por meio da calagem, que promovem a estabilidade química do solo e reduzem os efeitos negativos da acidificação (Texeira et al., 2017; Tusar et al., 2023).

Os fertilizantes nitrogenados amoniacais contribuem para a acidificação do solo independentemente de serem utilizados em altas ou baixas doses, sendo esse efeito acumulativo ao longo do tempo quando não há correção adequada da acidez. A acidificação ocorre principalmente em função do processo de nitrificação, no qual o nitrogênio na forma amoniacal é oxidado a nitrato, com liberação de íons H^+ para a solução do solo, promovendo a redução do pH. Esse efeito é observado em fertilizantes como ureia e sulfato de amônio, sobretudo quando aplicados de forma contínua sem práticas corretivas de acidez, como a calagem (Dal Molin et al., 2020). O cultivo das plantas também influencia a acidez do solo por meio da absorção diferencial de cátions e ânions. Quando a planta absorve predominantemente cátions (como NH_4^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}), ocorre a liberação de H^+ na rizosfera, contribuindo para a acidificação. Em contraste, a absorção predominante de ânions (como NO_3^-) resulta na liberação de OH^- ou HCO_3^- , promovendo efeito alcalinizante local. Esses processos ocorrem como mecanismo de equilíbrio eletroquímico na rizosfera (Hao et al., 2020).

O alumínio (Al) é um elemento naturalmente presente nos solos, especialmente em regiões tropicais submetidas a intemperismo intenso, como ocorre no Noroeste do Paraná. Nesses ambientes, o Al encontra-se predominantemente associado a minerais secundários, como caulinita, óxidos e hidróxidos de ferro (hematita e goethita) e óxidos de alumínio, que constituem a fração argilosa do solo. Em condições de pH ácido ($pH\ H_2O < 5,5$), esses minerais podem sofrer processos de dissolução parcial, liberando Al^{3+} para a solução do solo, forma

considerada potencialmente tóxica às plantas. Embora os solos arenosos apresentem menor teor absoluto de alumínio quando comparados a solos argilosos, eles são mais suscetíveis à acidificação, devido à baixa CTC e ao reduzido poder tampão. Nessas condições, pequenas adições de íons H^+ , oriundas da lixiviação de bases, da nitrificação de fertilizantes nitrogenados ou da absorção diferencial de nutrientes pelas plantas, são suficientes para provocar quedas acentuadas de pH, o que favorece a solubilização do alumínio presente, ainda que em menores quantidades totais (Ranj, 2011; Ofoe et al., 2023).

O alumínio trivalente (Al^{3+}) exerce efeito negativo direto sobre o desenvolvimento do sistema radicular, sobretudo da raiz primária, reduzindo significativamente a capacidade da planta de explorar camadas mais profundas do solo para a absorção de água e nutrientes. A toxicidade do Al^{3+} interfere nos processos de divisão e alongamento celular na zona meristemática da raiz, comprometendo a formação dos tecidos e limitando o crescimento longitudinal. Adicionalmente, o Al^{3+} afeta o desenvolvimento celular ao promover o espessamento das paredes celulares, a desorganização do citoesqueleto e a formação de calose, substância que dificulta o fluxo de solutos nas células do ápice radicular. Como consequência, observa-se a formação de raízes mais curtas, espessadas, com coloração escurecida e menor emissão de raízes laterais, o que reduz a área efetiva de absorção. Em condições de exposição prolongada a elevados teores de Al^{3+} , as plantas apresentam clorose foliar, crescimento vegetativo reduzido e queda da produtividade, refletindo os danos estruturais e funcionais causados ao sistema radicular (Panda et al., 2009).

A acidez do solo pode ser dividida em quatro tipos principais: acidez ativa, acidez trocável, acidez não trocável e acidez potencial, cada uma com funções distintas e importância variável no processo de correção. A acidez ativa é medida pelo valor do pH, essa acidez corresponde à concentração de íons H^+ livres na solução. Este tipo de acidez afeta as plantas imediatamente, apesar de representar apenas uma fração da acidez total do solo, a acidez ativa influencia diretamente a solubilidade dos nutrientes e a toxicidade do Al^{3+} , porque, à medida que o pH diminui, aumenta a acidez ativa e, conseqüentemente, ocorre um aumento na solubilidade dos minerais contendo alumínio (Kochian et al., 2004).

A acidez trocável refere-se aos íons H^+ e Al^{3+} adsorvidos nos coloides do solo, os quais podem ser trocados por outros cátions durante as reações químicas. Essa forma de acidez contribui diretamente para a manutenção da acidez ativa, uma vez que esses íons podem ser

deslocados para a solução do solo. A acidez trocável está relacionada à acidez potencial, pois ambas representam frações da acidez associadas à fase sólida do solo (Novais et al., 2006).

A acidez não trocável refere-se aos íons H adsorvidos por covalência (H^0) aos coloides do solo, especialmente às superfícies de óxidos de ferro e alumínio, não sendo facilmente deslocados por soluções salinas neutras (Rajj, 2011; Novais et al., 2007). Essa forma de acidez está associada a grupos funcionais, como carboxílicos e fenólicos, cuja dissociação depende do pH do meio, contribuindo para a acidez potencial do solo (Sparks, 2003). Embora não participe diretamente das reações de troca catiônica, a acidez não trocável atua como reserva de acidez, podendo influenciar o equilíbrio químico do solo à medida que o pH é alterado (Brady; Weil, 2013).

A acidez potencial corresponde à reserva total de acidez do solo associada à fase sólida, englobando os íons H^+ , H^0 e Al^{3+} adsorvidos aos coloides, incluindo frações trocáveis e não trocáveis, que podem ser gradualmente liberadas para a solução do solo ao longo do tempo. Diferentemente da acidez ativa, que expressa a concentração imediata de H^+ na solução do solo, a acidez potencial representa a capacidade do solo de manter ou regenerar a acidez, sendo, o parâmetro mais adequado para a recomendação de calagem (Grando et al., 2025). A determinação da acidez potencial é realizada por métodos indiretos, tradicionalmente por extração com acetato de cálcio ou por soluções tampão, como o método SMP, amplamente utilizado na recomendação de calagem. Entretanto, novas alternativas metodológicas vêm sendo desenvolvidas e avaliadas, a exemplo do tampão IPR-UEM, recentemente proposto para solos do noroeste do Paraná (Novais et al., 2006; Teixeira et al., 2017; Bordin et al., 2024).

PH DO SOLO E PARÂMETROS PARA DIAGNÓSTICO DA ACIDEZ

O pH do solo é um dos principais parâmetros químicos utilizados na avaliação da fertilidade do solo e diagnóstico da necessidade de correção da acidez. Por meio do pH é possível determinar se o solo está ácido, alcalino ou neutro. Assim, valores de pH abaixo de 5 são considerados ácidos, enquanto valores acima de 7 são considerados alcalinos. Para o desenvolvimento das plantas, o pH ideal para a maioria das culturas está entre 5,5 a 6,0 (Teixeira et al., 2017).

A determinação do pH em água estima a concentração de íons H^+ livres na solução do solo, utilizado para medir a acidez ativa. Este parâmetro de acidez é medido por meio de uma suspensão solo-água na proporção 1:2,5, representando a condição atual da acidez à qual as raízes das plantas estão submetidas. Esse tipo de pH é sensível às variações de umidade, matéria orgânica e estado redox do solo, especialmente em solos mal drenados com alagamento, em que há variações químicas interferindo na quantidade de oxigênio. Embora isoladamente o pH H_2O sirva como um indicador da acidez ativa, isoladamente não é suficiente para ser usado como único parâmetro para calcular a dose de corretivo. Os valores entre 5,5 e 6,0 são considerados adequados para a maioria das culturas agrícolas, mas valores abaixo de 5,0 normalmente indicam alta acidez ativa (Marques et al., 2022; Teixeira et al., 2017).

O pH em $CaCl_2$ estima a acidez ativa do solo de forma mais estável comparada com o pH em água. A presença dos íons Ca^{2+} e Cl^- reduz as flutuações provocadas por variações na atividade iônica e nas condições de amostragem ou estocagem, ao neutralizar parcialmente as cargas elétricas da superfície dos colóides do solo. Assim, a adição do reagente $CaCl_2$ na determinação de pH promove um ambiente químico mais tamponado, permitindo uma medição mais confiável. Estudos mostram que o pH $CaCl_2$ é, em média, aproximadamente 0,6 a 1 unidade menor do que o pH H_2O . Isso ocorre pelo motivo de os íons de Ca^{2+} deslocarem os cátions ácidos das superfícies coloidais para a solução do solo, aumentando a atividade de H^+ e diminuindo o pH (Kissel e Sonon, 2010). O pH $CaCl_2$ é confiável e utilizado para comparar a acidez entre diferentes tipos de solos ou para avaliar mudanças em longo prazo no manejo da fertilidade do solo, uma vez que apresenta menor variação (Teixeira et al., 2020).

O método SMP (Shoemaker, McLean e Pratt) foi desenvolvido com o objetivo de estimar a necessidade de calagem de solos ácidos, independentemente do nível de acidez potencial, sendo aplicável a diferentes classes de solo. O pH SMP está relacionado à acidez potencial do solo, pois reflete a presença conjunta de íons H^+ e Al^{3+} associados aos colóides, responsáveis pela reserva de acidez e pela resistência do solo à elevação do pH. O procedimento consiste em misturar o solo com uma solução tampão de pH conhecido (7,5), e após cerca de 30 minutos é medido o pH da solução resultante. A diferença entre o pH original da solução tampão e o valor obtido após a reação com o solo indica a capacidade tampão do solo, mostrando sua resistência à mudança de pH. A necessidade de calagem é então estimada a partir de tabelas de calibração que relacionam os valores de pH SMP às doses de calcário necessárias

para atingir um pH alvo. Dessa forma, o método SMP permite converter a diferença observada no pH da solução tampão em uma quantidade prática de corretivo, considerando a capacidade tampão do solo e o efeito residual do calcário (CQFS-RS/SC, 2016).

O método do tampão IPR/UEM foi proposto como uma alternativa ao método SMP para a estimativa indireta da acidez potencial do solo ($H^+ + Al^{3+}$), baseando-se na relação entre o pH de equilíbrio de uma solução tampão e a capacidade tampão do solo. O procedimento analítico é semelhante ao do SMP, diferenciando-se pela utilização de uma solução tampão formulada com reagentes de menor toxicidade (sem utilização de reagentes considerados cancerígenos), o que representa uma vantagem em termos de segurança para o laboratorista. O pH obtido após o equilíbrio solo-tampão é relacionado à acidez potencial por meio de equações de calibração, permitindo a estimativa da necessidade de calagem. Trata-se de um método recente em processo de avaliação e calibração regional, especialmente para solos do noroeste do Paraná (Bordin et al., 2024).

O poder tampão do solo é determinado pela quantidade de base necessária para aumentar seu pH em uma unidade e está vinculado à concentração dos componentes da acidez potencial. O sistema coloidal está diretamente relacionado com o poder tampão do solo, os colóides funcionam como reservatórios de íons, capazes de adsorver ou liberar H^+ conforme o meio se torna mais ácido ou mais básico, atuando como agentes tamponantes. Assim, quando um corretivo, como o calcário, é aplicado ao solo, os colóides liberam H^+ e Al^{3+} adsorvidos para manter o equilíbrio químico da solução do solo. Essa resistência à variação do pH constitui o chamado efeito tampão. Solos com maior teor de argila e matéria orgânica apresentam maior poder tampão, já os arenosos com baixa CTC ($< 5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) têm poder tampão menor, o que o torna mais vulnerável a variações de pH. (Ernani et al., 2016).

CALAGEM: MECANISMOS E EFEITOS SOBRE O SOLO E O GIRASSOL

O estado do Mato Grosso, consolidou-se como o maior produtor de calcário agrícola do Brasil, e representa aproximadamente 20% da produção nacional, produzindo mais de 11 milhões de toneladas em 2022. Na segunda posição está Minas Gerais, com uma produção de 5,4 a 6,5 milhões de toneladas por ano, representando cerca de 13 a 14% da produção nacional.

Goiás mantem a terceira colocação, com produção anual de 4,7 a 5,9 milhões de toneladas, correspondendo a aproximadamente 13% da produção nacional (Abracal, 2021).

O calcário é o corretivo de maior custo-benefício para a correção da acidez do solo. Composto predominantemente por carbonato de cálcio (CaCO_3) e, em algumas formulações, por carbonato de magnésio (MgCO_3), atua na correção da acidez por meio de reações químicas no sistema solo-água. Após a dissolução parcial, o carbonato origina íons bicarbonato (HCO_3^-), que neutralizam diretamente os íons H^+ da solução do solo, responsáveis pela acidez ativa, elevando o pH e reduzindo a toxicidade para as raízes. O calcário também neutraliza o Al^{3+} livre na solução, formando hidróxido de alumínio ($\text{Al}(\text{OH})_3$) insolúvel, eliminando a principal fonte de alumínio tóxico (Pavan et al., 2005).

Durante o processo de calagem, os cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} liberados pelo calcário passam a ocupar os sítios de troca do solo, aumentando a saturação por bases, melhorando a estrutura química do solo e favorecendo a disponibilidade de nutrientes essenciais. Além de corrigir a acidez, a calagem melhora a fertilidade do solo ao fornecer cálcio e magnésio como nutrientes, aumentar a eficiência da absorção de outros elementos como fósforo, potássio e molibdênio, além de criar um ambiente mais equilibrado, fundamental para o desenvolvimento adequado das plantas (Freire et al., 2013). Para o girassol, a calagem é especialmente relevante porque a neutralização do Al^{3+} elimina o principal fator de inibição do crescimento radicular, permitindo que o sistema radicular pivotante explore com maior eficiência as camadas do solo.

A eficiência dos corretivos é avaliada pelo poder de neutralização (PN) e pelo poder relativo de neutralização total (PRNT), que indicam a capacidade do produto de neutralizar a acidez e sua velocidade de reação no solo. A escolha do corretivo deve considerar velocidade de ação, duração do efeito, segurança, custo e disponibilidade regional, equilibrando eficiência agrônômica e viabilidade econômica (Cantarella et al., 2022).

O manejo adequado dos parâmetros químicos do solo por meio da calagem é determinante para o sucesso produtivo do girassol, especialmente em solos arenosos com baixo poder tampão como os predominantes no Noroeste do Paraná. A cultura apresenta tolerância baixa à acidez do solo, com desenvolvimento ótimo em pH CaCl_2 entre 5,5 e 6,0 e saturação por bases superior a 60 a 70% (Castro e Farias, 2005; Cantarella et al., 2022).

Em condições de pH abaixo de 5,5, o girassol apresenta restrição severa do crescimento radicular decorrente da toxicidade por Al^{3+} , comprometendo a absorção de Ca^{2+} e Mg^{2+} ,

nutrientes essenciais para a formação do capítulo e para o enchimento de grãos. A acidez do solo intensifica a disponibilidade de Al^{2+} , que inibe o alongamento radicular ao prejudicar a divisão celular no ápice da raiz, resultando em raízes mais curtas, espessadas e com menor emissão de raízes laterais (Scapinelli et al., 2016). Estudos conduzidos por Amabile et al. (2003) no Cerrado demonstraram que o girassol responde positivamente à elevação da saturação por bases, com incrementos expressivos de crescimento e produtividade conforme a calagem eleva o V% do solo para os níveis adequados à cultura.

CRITÉRIOS PARA A RECOMENDAÇÃO DE CALAGEM

A aplicação de calcário é necessária quando a acidez do solo atinge níveis que limitam o crescimento das plantas, absorção de nutrientes e a atividade microbiana. Na recomendação de calagem, os critérios brasileiros variam conforme o estado e o manual adotado, porque cada região calibrou seus métodos em função de classes de solo, clima e sistemas de cultivo. Para saber o momento propício para realizar a calagem, é preciso levar em análise parâmetros que são obtidos pela análise de solo (Nolla e Anghinoni, 2006).

O pH do solo é um dos principais indicadores químicos usados na avaliação da fertilidade e no diagnóstico da acidez. Em termos conceituais, “solo ácido” não é apenas “solo com pH baixo”: trata-se de uma condição em que a elevada atividade de H^+ na solução do solo. Além disso, a presença de acidez trocável favorecem o solo a ter baixa saturação por bases (V%), maior solubilidade de alumínio e, conseqüentemente, risco de toxicidade de Al^{3+} e menor disponibilidade de nutrientes, com impactos diretos no crescimento radicular e na produtividade. Por isso, embora o pH seja um excelente parâmetro da acidez, a decisão de calagem no Brasil normalmente é feita por critérios calibrados regionalmente, que integram pH e/ou índices derivados da CTC e da saturação por bases, variando entre estados e manuais técnicos (Nava et al., 2024).

Do ponto de vista analítico, é importante diferenciar pH medido em água (pH- H_2O) e pH medido em solução salina (pH- $CaCl_2$). O pH em $CaCl_2$ ($0,01 \text{ mol L}^{-1}$) é amplamente usado por fornecer resultados mais estáveis do que o pH em água, que pode variar mais com mudanças temporárias na concentração de sais do solo. Assim, a interpretação de “acidez alta” ou “baixa” deve sempre especificar qual método de pH está sendo utilizado e, preferencialmente, seguir as

faixas do manual adotado. Segundo Cantarella et al. (2022), valores de pH em $\text{CaCl}_2 < 5,0$ enquadram-se de acidez alta a muito alta, enquanto valores $\geq 5,6$ indicam acidez baixa e valores $> 6,0$ correspondem a acidez muito baixa, situação próxima à neutralidade química para muitas culturas, embora o alvo ideal dependa da exigência da cultura e do sistema de manejo.

A saturação por bases (V%) é um dos critérios mais utilizados no Brasil para orientar a calagem, pois expressa a proporção da CTC ocupada por cátions básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) e, por consequência, reflete o equilíbrio entre bases e acidez no complexo de troca Sousa e (Lobato, 2004). Em manuais estaduais brasileiros de calagem e adubação, o V% é interpretado por classes de fertilidade/acidez, variando conforme a região. De acordo com Cantarella et al. (2022), valores $< 25\%$ são considerados muito baixos, $25\text{--}50\%$ baixos, $50\text{--}70\%$ médios e $70\text{--}90\%$ altos, com correspondência direta com faixas de pH em CaCl_2 . Além de classificar o estado de acidez, o V% é empregado de forma operacional para calcular a dose de corretivo no método oficial paulista, a necessidade de calagem é estimada elevando-se o V% atual (V_1) para um V% desejado (V_2), definido conforme a cultura, com ajuste pelo PRNT do corretivo. No Paraná, a lógica também se baseia no método da saturação por bases, utilizando CTC(T) e V%, estimados a partir da soma de bases (SB) e de parâmetros de acidez, o que reforça que a recomendação de calagem deve seguir calibrações regionais e metas ajustadas à cultura (Bordin et al., 2024).

A saturação por alumínio (m%) é um critério decisivo na avaliação da acidez por expressar a proporção de Al^{3+} na CTC efetiva do solo. Em termos práticos, valores elevados de m% indicam maior participação relativa do alumínio no complexo de troca e maior probabilidade de toxicidade por Al^{3+} , com efeitos diretos sobre o crescimento radicular. Por isso, além do pH, o m% é amplamente utilizado em recomendações brasileiras para caracterizar a intensidade da acidez e apoiar decisões de manejo, principalmente quando interpretado em conjunto com a saturação por bases (V%). Em geral, a condição mais restritiva ocorre quando há m% alto associado a V% baixo, pois isso reflete um solo com predominância de acidez no complexo de troca e menor disponibilidade relativa de bases. O Manual de adubação e calagem do Paraná propõe faixas classificatórias para ambos os índices. Para m%, os valores são classificados como muito baixo ($< 5\%$), baixo ($5\text{--}10\%$), médio ($11\text{--}20\%$), alto ($21\text{--}50\%$) e muito alto ($> 50\%$). Para V%, as classes são muito baixo ($< 20\%$), baixo ($21\text{--}35\%$), médio ($36\text{--}50\%$), alto ($51\text{--}70\%$) e muito alto ($> 70\%$), havendo ainda a indicação de condição a evitar quando $V\% > 90\%$. Assim, em laudos de rotina, solos enquadrados em $m\% \geq 21\%$ (alto/muito alto) e

simultaneamente em $V\% \leq 35\%$ (baixo/muito baixo) apresentam maior probabilidade de limitação química ao crescimento de raízes e, portanto, requerem maior atenção quanto à necessidade e ao manejo da correção da acidez (Pauletti et al., 2019).

Além desses critérios, os teores de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) no solo devem ser monitorados, pois esses nutrientes desempenham funções estruturais e fisiológicas essenciais e também influenciam o equilíbrio químico do ambiente radicular. Entretanto, os valores de referência para interpretação de Ca e Mg não são universais e variam conforme o manual regional adotado. No Paraná, por exemplo, a interpretação é feita por classes a partir do teor trocável: para Ca^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), considera-se muito baixo $< 0,5$, baixo $0,5-1,0$, médio $1,1-2,0$, alto $2,1-6,0$ e muito alto $> 6,0$; e para Mg^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), muito baixo $< 0,2$, baixo $0,2-0,4$, médio $0,5-1,0$, alto $1,1-2,0$ e muito alto $> 2,0$. Assim, a calagem e a escolha do calcário (magnesiano ou calcítico) devem ser discutidas com base nessas faixas, principalmente quando Ca e/ou Mg se encontram nas classes inferiores (Pauletti et al., 2019).

No Estado de São Paulo, o Boletim 100 ressalta que o teor de Ca^{2+} no solo está muito ligado ao próprio estado de acidez. Por isso, para fins de recomendação de calagem, o cálcio é frequentemente melhor avaliado por um indicador integrado, especialmente a saturação por bases ($V\%$), que expressa a ocupação da CTC por cátions básicos e se relaciona com a melhoria do ambiente radicular. Para o teor de Mg^{2+} trocável na camada de 0-20 cm, são considerados baixos valores $< 5,0 \text{ mg dm}^{-3}$, médio entre $5,0$ e $8,0 \text{ mg dm}^{-3}$ e alto quando $> 8,0 \text{ mg dm}^{-3}$. Dessa forma, quando o Mg^{2+} se encontra na classe baixa, recomenda-se maior atenção ao manejo corretivo, preferindo-se corretivos com maior teor de magnésio (calcário dolomítico) quando a calagem for indicada, a fim de elevar o suprimento do nutriente e melhorar as condições químicas do solo (Cantarella et al., 2022).

MÉTODOS DE RECOMENDAÇÃO DE CALAGEM PARA O GIRASSOL

A dose de calcário pode ser estimada por diferentes critérios, definidos conforme a região, o sistema de manejo e as características químicas e tamponantes do solo. O método da saturação por bases ($V\%$) é um dos critérios mais utilizados no Brasil para recomendação de calagem, pois relaciona a produtividade das culturas à proporção de cátions básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+) ocupando os sítios de troca do solo. No Paraná, assim como em outros estados, a lógica

do método é corrigir a acidez elevando o V% do valor atual (V_1 , obtido na análise de solo) para um valor definido conforme a exigência da cultura (V_2), criando um ambiente químico mais favorável ao crescimento radicular e à absorção de nutrientes. A necessidade de calagem (NC) é então calculada a partir da diferença entre o V% desejado e o atual, considerando a capacidade tampão do solo (T), podendo ser ajustada pelo PRNT do calcário (Pauletti et al., 2019). A fórmula geral é:

$$NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = [(V_2 - V_1) \times CTC_{pH7}] / (100 \times PRNT)^*$$

* NC = necessidade de calagem; V_1 = saturação por bases atual; V_2 = saturação desejada (70% para o girassol); T = CTC a pH 7 (em cmolc dm^{-3}); e PRNT = poder relativo de neutralização total do calcário (Embrapa, 2022).

O método de neutralização do Al^{3+} e fornecimento de Ca^{2+} e Mg^{2+} , consolidado nas recomendações de Minas Gerais (5ª Aproximação), cuja fórmula está descrita a seguir. Esta alternativa para calagem busca um duplo objetivo: reduzir a toxicidade por alumínio e elevar os teores de cálcio e magnésio a níveis adequados ao bom desenvolvimento radicular. Para o girassol, recomenda-se considerar tolerância máxima de 5% de saturação por alumínio (m%) e exigência mínima de $3,0 \text{ cmolc dm}^{-3}$ de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, com ajuste do cálculo pelo fator Y em função da textura do solo (Castro e Farias, 2005).

$$NC = Y \times [\text{Al}^{3+} - (\text{mt}/100) \times t] + Y \times [X - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})] \times 100 / PRNT$$

O método SMP (Shoemaker, McLean e Pratt) é amplamente utilizado no Sul do Brasil, especialmente no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina. O pH SMP mede indiretamente a acidez potencial e o grau de tamponamento do solo, refletindo a quantidade de acidez associada principalmente aos sítios de troca (H^+ e Al^{3+}). Solos com maior acidez potencial promovem maior redução do pH da solução tampão, e a necessidade de calagem é estimada por tabelas ou equações de calibração regionais (CQFS-RS/SC, 2016). Em solos com baixa capacidade tampão, como os arenosos do Noroeste do Paraná, o método SMP pode não estimar de forma adequada a real necessidade de calagem, sendo necessário recorrer a equações específicas baseadas em teores de matéria orgânica e alumínio trocável (CQFS-RS/SC, 2016).

O método do tampão IPR/UEM foi proposto como alternativa ao SMP para a estimativa indireta da acidez potencial do solo, utilizando reagentes de menor toxicidade em substituição

aos componentes do tampão SMP convencional. O procedimento é semelhante ao SMP, diferindo pela utilização de uma solução tampão formulada com imidazol, MES (ácido 2-(N-morfolino) etanosulfônico) e lactato de cálcio, ajustada para pH 7,5, reagentes estes considerados menos nocivos os utilizados no tampão SMP. Trata-se de um método recente, em processo de avaliação e calibração regional, especialmente para solos do Noroeste do Paraná, e representa importante avanço na segurança laboratorial sem perda de aplicabilidade prática (Bordin et al., 2024).

O método pelo alumínio calcula a dose de calcário diretamente a partir do teor de Al^{3+} trocável: $NC (t ha^{-1}) = Al^{3+} \text{ trocável (cmolc dm}^{-3}) \times f$, onde o fator f varia conforme a tolerância da cultura à acidez. Para o girassol, utiliza-se $f = 2,0$, em razão da sensibilidade da cultura ao alumínio trocável. Esse método tem foco principal na toxicidade por alumínio e pode não elevar o pH de forma ampla, sendo recomendado quando o principal objetivo é eliminar a fitotoxicidade sem necessariamente atingir o pH ideal (Velo et al., 2020).

A necessidade de calagem, independentemente do método empregado, deve ser determinada com base na análise química do solo, considerando pH, Al^{3+} trocável, Ca^{2+} , Mg^{2+} , saturação por bases e acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$). É importante ressaltar que, no Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná, não há valor de referência específico de V_2 para a cultura do girassol, sendo necessário adotar as recomendações do Estado de São Paulo ($V_2 = 70\%$) ou outros manuais regionais calibrados (Pauletti e Motta, 2019; Cantarella et al., 2022).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A acidez do solo representa um dos principais fatores limitantes à produtividade do girassol nos solos tropicais e subtropicais brasileiros, especialmente em regiões como o Noroeste do Paraná, onde predominam solos arenosos com pH $CaCl_2$ entre 4,2 e 4,8 e elevada saturação por alumínio. O girassol é uma cultura com baixa tolerância à acidez, exigindo pH $CaCl_2$ entre 5,5 e 6,0 e saturação por bases superior a 70% para expressão satisfatória do seu potencial produtivo. A calagem é a prática mais eficiente e de melhor custo-benefício para a correção da acidez do solo, neutralizando o alumínio tóxico, elevando o pH, aumentando a disponibilidade de Ca^{2+} e Mg^{2+} e melhorando a CTC efetiva do solo. Os diferentes métodos de recomendação de calagem disponíveis no Brasil – saturação por bases (V%), neutralização do

Al³⁺ com fornecimento de Ca²⁺ e Mg²⁺, SMP, IPR-UEM e incubação com acetato – devem ser escolhidos conforme as características edáficas e os manuais regionais calibrados.

REFERÊNCIAS

AMABILE, R.F.; GUIMARÃES, D.P.; FARIAS NETO, A.L. Análise de crescimento de girassol em Latossolo com diferentes níveis de saturação por bases no cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, p.219-224, 2003.

AMABILE, R.F.; MONTEIRO, V.A.; AQUINO, F.D.V.; CARVALHO, C.G.P.; RIBEIRO JÚNIOR, W.Q.; FERNANDES, F.D.; SANTORO, V.L. **Avaliação de genótipos de girassol em safrinha no Cerrado do Distrito Federal**. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE GIRASSOL, 17, 2007, Uberaba. **Anais**. Londrina: Embrapa Soja, 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE CALCÁRIO AGRÍCOLA – ABRACAL. **Principais estados produtores de calcário agrícola no Brasil**. Fernandópolis: Comprerural, 2021. 9p. Disponível em: '<https://www.comprerural.com/conheca-os-5-maiores-estados-produtores-de-calcario-agricola-do-brasil/>'. Acesso em: 14 jul. 2025.

BORDIN, A.V.; NOLLA, A.; CASTALDO, J.H.; SILVA, F.H.; SILVA, T.G. Avaliação de métodos de determinação da acidez potencial e proposta alternativa do tampão IPR/UEM ao SMP para solos do noroeste do Paraná. **Revista Caderno Pedagógico**, Curitiba, v.21, n.6, p.01 31.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 14 Ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2013. 990 p.

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; MATTOS JR., D.; BOARETTO, R.M.; RAIJ, B.V. (eds.). **Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2022. 374p.

CARRÃO-PANIZZI, M.C.; MADARINO, J.M.G. Produtos proteico do girassol. IN: LEITE, R.M.V.B.C.; BRIGHENTI, A.M.; CASTRO, C. (Ed.). **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa soja, 2005. p.51-52.

CARVALHO, C.R.L.; MANTOVANI, D.M.B. Culturas Oleaginosas: Girassol e suas Aplicações. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v.22, n.3, p.45 58, 2018.

CASTRO, C.; FARIAS, J.R.B. Ecofisiologia do girassol. IN: LEITE, R.M.V.B.C.; BRIGHENTI, A.M.; CASTRO, C. (Ed.). **Girassol no Brasil**. Londrina: Editora Embrapa soja, 2005. p.163-170.

CASTRO, V.R.; FURTADO, M.C.S.; BERMÚDEZ, V.M.S.; SILVA, E.F.; NASCIMENTO, V.L.V. Avaliação da qualidade oleoquímica das sementes de gergelim (*Sesamum indicum*) e

girassol (*Helianthus annuus*). **Research, Society and Development**, Itabira, v.10, n.7 p.1-2, 2021.

CHAVES, L.H.G.; FARIAS, C.H.A. Escória de siderurgia como corretivo da acidez do solo: alternativas e desafios. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.35, n.1, p.185–195, 2022.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Boletim da Safra de Grãos 2º Levantamento - Safra 2024/25**. Brasília: Conab, 2024. 99p. Disponível em: '<https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safra/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/2o-levantamento-safra-2024-25/boletim-da-safra-de-graos>'. Acesso em: 3 jul. 2025.

CORREA, K.L.; GOMES, F.D.; NASCIMENTO, A.P.; MORAIS, D.R.; MANCINI-FILHO, J. Physicochemical and nutritional properties of vegetable oils from Brazil diversity and their applications in the food industry. **Foods**, Basel, v.13, p.1565, 2024.

COSTA, J.J.F.; SILVA, E.B.; COELHO, F.F.; TIECHER, T.; BISSANI, C.A.; FILIPPI, D. Atributos químicos relacionados à acidez e capacidade de troca de cátions de solos do Rio Grande do Sul com diferentes graus de intemperização. **Acta Iguazu**, Foz do Iguaçu, v.8, n.2, p.81–100, 2019.

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 – Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.

DAL MOLIN, S.J.; ERNANI, P.R.; GERBER, J.M. Soil acidification and nitrogen release following application of nitrogen fertilizers. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Champaign, v.51, n.20, p.2551–2558, 2020.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Calagem (cultura da cebola)**. Brasília: EMBRAPA, 2022. 2p. Disponível em: '<https://www.embrapa.br/hortalicas/cebola/calagem>'. Acesso em: 13 jun. 2025.

EMBRAPA. – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Avaliação do teor e produtividade de óleo em genótipos de girassol**. Londrina: Embrapa soja, 2015. 125p. Disponível em: '<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/132575/1/RNPG.p.125128.pdf>'. Acesso em: 17 set. 2024.

EMBRAPA. – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultura do girassol: produção de biodiesel e outras utilidades**. Brasília: Embrapa soja, 2009. 2p. Disponível em: '<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2444704/prosa-rural---cultura-do-girassol-producao-de-biodiesel-e-outrasutilidades#:~:text=O%20principal%20interesse%20da%20produção,usada%20na%20produção%20de%20ração>'. Acesso em: 17 set. 2024.

EMBRAPA. – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Inclusão social e diversificação são objetivos da produção de biodiesel na agricultura familiar**. Brasília: EMBRAPA, 2010.

2p. Disponível em: '[https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/biocombustivel/69279-inclusão -social -e- diversificação – sao – objetivos – da – producao – de – biodiesel – na - agricultura-familiar.html](https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/biocombustivel/69279-inclusao-social-e-diversificacao-sao-objetivos-da-producao-de-biodiesel-na-agricultura-familiar.html)

ERNANI, P.R.; SANTOS, F.C.; ALMEIDA, J.A. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. 2 Ed. Florianópolis: Editora da UDESC, 2016. 326p.

FOLONI, J.S.S.; SANTOS, D.H.; TIRITAN, C.S. Resposta da mamona a doses excessivas de calcário. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v.8, n.2, p.85-90, 2013.

FREIRE, L.R.; BALIEIRO, F.C.; ZONTA, E.; ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G.; LIMA, E.; GUERRA, J.G.M.; FERREIRA, M.B.C.; LEAL, M.A.A.; CAMPOS, D.V.B.; POLIDORO, J.C. **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro**. Seropédica: Editora Universidade Rural, 2013. 430p.

GAZZOLA, A.; FERREIRA, C.T.G.; CUNHA, D.A; BORTOLINI, E.; PAIAO, G.D.; PRIMIANO, I.V.; PESTANA, J.; ANDRÉIA, M.S.C.D.; OLIVEIRA, M.S. **A cultura do girassol**. Piracicaba: USP/ESALQ, 2012. 69P. (Trabalho didático da disciplina LVP0506 Plantas Oleaginosas)

GOIÁS. Governo de Goiás. Destaque do mês – Agro em Dados – Junho de 2025a: **Girassol**. Goiânia: SEAPA, 2025. 12p. Disponível em: '[https://goias.gov.br/agricultura/destaque-domes-agro-em-dados-junho-2025 girassol](https://goias.gov.br/agricultura/destaque-domes-agro-em-dados-junho-2025-girassol)'. Acesso em: 16 jul. 2025.

GRANDO, D.L.; DEPONTI, L.P.; RODRIGUES, M.L.; MARTINS, C.G.; NATALE, W.; SCHMITT, D.E.; SIQUEIRA, G.N.; PALERMO, N.M.; KAMINSKI, J.; BRUNETTO, G. Potential acidity determination for soils with high soil organic matter. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.49, p. e0240146, 2025.

HAO, T.; ZHU, Q.; ZENG, M.; SHEN, J.; SHI, X.; LIU, X.; ZHANG, F.; VRIES, W. Impacts of nitrogen fertilizer type and application rate on soil acidification rate under a wheat-maize double cropping system. **Journal of Environmental Management**, London, v.270, p. e110888, 2020.

KISSEL, D.E.; SONON, R.W. Comparison of Soil pH Methods on Soils of North America. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.74, n.1, p.311-320, 2010.

KOCHIAN, L.V.; HOEKENGA, O.A.; PIÑEROS, M.A. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v.55, p.459-493, 2004.

LIMA, R.L.S.; SEVERINO, L.S.; FERREIRA, G.B.; AZEVEDO, C.A.V.; SOFIATTI, V.H.C. Soil exchangeable aluminum influencing the growth and leaf tissue macronutrients content of castor plants. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.27, n.4, p.10-15, 2014.

MARQUES, J.P.; VAZ, C.M.P.; SÍGOLO, J.B.; RODRIGUES, V.G.S. Soils of the Ribeira Valley (Brazil) as environmental protection barriers: characterization and adsorption of lead and cadmium. **Sustainability**, Basel, v.14, n.9, art. 5135, 2022.

MONTEIRO, L.P.C.; LUZ, C.C.; MAINIER, F.B. Comparação de oleaginosas para a produção de biodiesel. **Engvista**, Niterói, v.17, n.2, p.222-233, 2015.

NATALE, W.; PRADO, R.M.; ROZANE, D.E.; ROMUALDO, L.M. Efeitos da calagem na fertilidade do solo e na nutrição e produtividade da goiabeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.1475-1485, 2007.

NAVA, G.; BRUNETTO, G.; BENATI, J.A.; BARRETO, C.F.; NAVROSKI, R.; TRENTIN, E.; MARCHEZAN, C. Correção e adubação do solo. In: MARTINS, C.R.; LAZAROTTO, M.; MALGARIM, M.B. (Ed.). **Nogueira-pecã: cultivo, benefícios e perspectivas**. Brasília: Embrapa, 2024. p. 189-204.

NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Critérios de calagem para a soja no sistema plantio direto consolidado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.3, p.475-483, 2006.

NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J. C. L. (Orgs.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 1017p.

OFOE, R.; THOMAS, R.H.; ASIEDU, S.K.; WANG-PRUSKI, G.; FOFANA, B.; ABBEY, L. Aluminum in plant: benefits, toxicity and tolerance mechanisms. **Frontiers in Plant Science**, Basel, v.13, 2022.

PANDA, S.K.; BALUSKA, F.; MATSUMOTO, H. Aluminum stress signaling in plants. **Plant Signaling & Behavior**, Nova York, v.4, n7, p.592-597, 2009.

PAULETTI, V.; MOTTA, A.C.V. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. 2. ed. Curitiba: Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (NEPAR SBCS), 2019. 289p.

PAVAN, M.A.; RITCHEY, K.D.; CANTARELLA, H.; LAVARDA, R.C.; QUADROS, A.F. Efeito da calagem na relação solo-água e resposta do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.963-975, 2005.

PEREIRA, D.R.M.; GODOY, M.M.; SAMPAIO, C.C.; SILVA, T.V.; FELIX, M.J.D.; OLIVEIRA, R.L.R. Uso do girassol (*Helianthus annuus*) na alimentação animal: aspectos produtivos e nutricionais. **Revista Veterinária e Zootecnia**, Botucatu, v.23, n.2, p.174-183, 2016.

PRADO, R.M.; COUTINHO, E.L.M.; ROQUE, Cassiano Garcia; VILLAR, M.L.P. Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivos da acidez do solo no cultivo da alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.4, p.539-546, 2002.

RAIJ, B. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 350p.

RODRIGO, A.J.; EDER P.G.; GUILHERME, A.B. Impact of irrigation on yield and energy balance of the production of oil and cake of two sunflower varieties. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.6, p.1048-1057, 2012.

SCAPINELLI, A.; DEINA, F.R.; VALADÃO JUNIOR, D.D.; VALADÃO, F.C.A.; PEREIRA, L. B. Sistema radicular e componentes produtivos do girassol em solo compactado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.75, n.4, p.474-486, 2016.

SCHAFFRATH, V.R.; TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J.; GONÇALVES, A.C.A. Variabilidade e correlação espacial de propriedades físicas de solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.4, p.1369-1377, 2008.

SCHWERZ, T.; JAKELAITIS, A.; TEIXEIRA, M.B.; SOARES, F.A.L.; TAVARES, C.J. Produção de girassol cultivado após soja, milho e capim-marandu, com e sem irrigação suplementar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n.5, p.470-475, 2015.

SPARKS, D. L. **Environmental soil chemistry**. 2 Ed. San Diego: Academic Press, 2003. 352 p.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. (Ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3 Ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574p.

TEIXEIRA, W.G.; ÁLVAREZ, V.H.; NEVES, Júlio C.L.; Paulucio, R.B. New methods for estimating lime requirement to attain desirable pH values in Brazilian soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.44, e0200008, 2020.

TUSAR, H.M.; UDDIN, M.K.; MIA, S.; SUHI, A.A.; WAHID, S.B.A.; KASIM, S.; SAIRI, N.A.; ALAM, Z.; ANWAR, F. Biochar–Acid Soil Interactions - A review. **Sustainability**, Basel, v.15, n.18, p.13366, 2023.

USDA. **Oilseeds: World Markets and Trade**. Washington: Foreign Agricultural Service, 2026. 41 p. Disponível em: '<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/oilseeds.pdf>'. Acesso em: 02 jan. 2026.

VELOSO, C.A.C.; ARAUJO, S.M.B.; RODRIGUES, J.E.L.F.; SILVA, A.R. Correção da acidez do solo. In: BRASIL, E.C.; CRAVO, M.S.; VIEGAS, I.J.M. (Ed.). **Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará**. 2 Ed. Brasília: Embrapa, 2020. p.121-131.

WALLY, M.S.; BISSANI, C.A.; SANTOS, V.P.; BORTOLON, L.; BORTOLON, E.S.O.; ANDREAZZA, R.; GIANELLO, C. Efeito de escórias de siderurgia na acidez do solo e no crescimento de plantas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.31, n.3, p.911- 920, 2015.