

REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE MÉTODOS DE ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DE SOLOS DE USO AGROPECUÁRIO

Ana Cristina Barbosa Mares Gil*

Maria Raquel Veras de Carvalho*

Cristiano Morita Barrado*

Alberthmeiry Teixeira de Figueiredo*

Resumo: Na atividade agropecuária, os métodos de análise físico-química do solo são fundamentais para avaliar a fertilidade e as condições edáficas, possibilitando um manejo eficiente e sustentável. Essas análises são classificadas em dois grupos principais: físicas e químicas, ambas indispensáveis para compreender as propriedades que influenciam o desenvolvimento das culturas. O presente trabalho apresenta uma revisão sistemática da literatura sobre métodos de análise físico-química de solos de uso agropecuário, com foco nos parâmetros pH, textura e nutrientes disponíveis (NPK – fósforo, nitrogênio e potássio). Esses atributos são essenciais para diagnóstico da fertilidade, afetando a produtividade, o aproveitamento de fertilizantes e a sustentabilidade dos sistemas de manejo. O pH do solo indica seu grau de acidez ou alcalinidade, influenciando a disponibilidade de nutrientes e a atividade biológica, além de orientar práticas corretivas, como a calagem. A textura representa a proporção relativa de areia, silte e argila, influenciando propriedades como retenção de água, aeração e estabilidade estrutural; por sua vez, os macronutrientes NPK exercem funções vitais no desenvolvimento vegetal, atuando no crescimento, na fotossíntese, no desenvolvimento radicular e na resistência a estresses bióticos e abióticos. A revisão foi realizada nas bases Google Acadêmico, SciELO e repositórios universitários, considerando publicações dos últimos 10 anos (entre 2015 e 2025). Conclui-se que a análise integrada desses parâmetros fornece subsídios para um manejo do solo mais racional, favorecendo a produtividade agrícola e a conservação ambiental.

Palavras-chave: análise de solo; fertilidade do solo; parâmetros físico-químicos; manejo agropecuário; sustentabilidade.

* Instituto de Química – UF CAT: anacristinabmg@gmail.com, raquelveras@outlook.com.br, cristiano@ufcat.edu.br, alberth@ufcat.edu.br.

INTRODUÇÃO

O solo constitui um dos recursos naturais mais relevantes para o funcionamento dos ecossistemas, para a conservação do equilíbrio ambiental e para o desenvolvimento das atividades agropecuárias. Ele desempenha funções essenciais, como suporte físico às plantas, ciclagem de nutrientes, armazenamento de água e atuação como filtro natural de contaminantes (MENDES *et al.*, 2023).

Segundo Pereira *et al.* (2019), sua formação resulta das diversas interações entre fatores como clima, organismos, relevo, material de origem e tempo. Esses elementos determinam os atributos físicos, químicos, morfológicos e mineralógicos os quais são responsáveis pela variabilidade dos tipos de solo na paisagem.

Entretanto, a intensificação das práticas agrícolas tem ampliado a pressão sobre esse recurso, resultando em alterações físico-químicas que podem comprometer sua qualidade, sua capacidade produtiva e a sustentabilidade dos ecossistemas associados. Nesse contexto, a avaliação sistemática das propriedades do solo torna-se fundamental para orientar práticas de manejo adequadas, capazes de preservar a qualidade ambiental, a capacidade produtiva do solo e compreender os impactos decorrentes do uso agropecuário (FERRAZ; KUCHLER; SIMÕES, 2021).

Dessa forma, os métodos de análise físico-química do solo representam ferramentas indispensáveis para identificar variações em parâmetros como pH, matéria orgânica, textura, teor de nutrientes, condutividade elétrica, capacidade de troca catiônica, entre outros. Esses indicadores permitem diagnosticar o estado de conservação do solo, determinar sua aptidão agrícola e avaliar potenciais riscos de degradação, contaminação ou perda de fertilidade. Estudos demonstram que decisões críticas nas propriedades rurais dependem diretamente dos resultados laboratoriais, sendo a análise do solo um processo economicamente viável e tecnicamente decisivo para evitar desperdícios e impactos ambientais associados ao uso inadequado de fertilizantes (VEZZANI, 2025).

Assim, diante da diversidade de métodos existentes e da necessidade de selecionar abordagens adequadas para diferentes contextos de análise, torna-se relevante realizar uma revisão sistemática que identifique, descreva e compare as principais metodologias físico-químicas aplicadas à caracterização de solos utilizados na produção agrícola. Dessa forma, este estudo busca, a partir de uma revisão

sistemática da literatura, identificar os principais métodos empregados na caracterização físico-química de solos utilizados na agropecuária, analisando sua aplicabilidade, potencialidades, limitações e relevância para o manejo sustentável do solo.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. A Ciência do solo e a agropecuária.

O solo é um acúmulo de corpos naturais, compostos de partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicas, formadas por materiais minerais e orgânicos. Esses corpos preenchem a maior parcela da camada superficial das áreas continentais do nosso planeta, além disso, eles possuem matéria viva as quais podem sustentar a vegetação nos locais que ocorrem e em outros casos apresentam modificações resultantes da ação humana (EMBRAPA, 2025).

V.V. Dokuchaev (1846–1903), famoso por promover um modelo fatorial de formação do solo, realizou viagens pelo seus país e junto com seus assistentes constatou que na realidade o solo é o produto da interação de diferentes fatores e não apenas um aglomerado de material geológico. A partir da escola russa de Dokuchaev, foi possível a criação de um sistema de classificação do solo em diferentes grupos, o desenvolvimento do conceito de horizonte, a compreensão da distribuição dos solos na paisagem e o reconhecimento do conceito “fator de formação”, estabelecendo os fundamentos da Pedologia (PEREIRA et al., 2019).

No que se refere ao setor agropecuário, ele vem nas últimas décadas se destacando na economia nacional pela significativa produtividade e pela manutenção do equilíbrio da balança comercial. No entanto, um dos principais desafios da atualidade para o crescimento do Brasil consiste em conservar o avanço da produção agropecuária, sem ampliar os impactos sobre os recursos naturais. Esse desafio vem surgindo de debates internacionais e pressões sociais por um modelo de desenvolvimento que consiga harmonizar o progresso econômico com a preservação ambiental (SAMBUICHI et al., 2012).

Embora a agricultura e a pecuária disponham de elevada relevância na economia do Brasil e por conta dessa relevância contarem com pesquisa e

infraestrutura, até então a realidade é de que solos marginais são atribuídos aos cultivos de pastagens e lavouras, o que por sua vez contribui para o processo de deterioração das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, condição que prejudica a sustentabilidade do ecossistema (GALHARTE; CRESTANA, 2010).

Com o intuito de modificar essa situação, uma alternativa que pode ser interessante é a Integração lavoura-pecuária, a qual é baseada na rotação culturas agrícolas e atividades pecuárias, promovendo maior eficiência produtiva, com vantagens para ambas as atividades. A associação lavoura-pecuária, principalmente quando ligada ao sistema de plantio direto, possibilita uma série de benefícios ao produtor e ao ecossistema, como aumento do valor agregado, redução dos custos de produção e recuperação das propriedades produtivas do solo (GALHARTE; CRESTANA, 2010).

2. Propriedades químicas do solo.

O termo pH foi criado pelo bioquímico dinamarquês Sørensen, em 1909. O valor do pH indica acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma solução. A escala de pH pode variar de 0 a 14, onde o pH 7,0 indica neutralidade, o pH menor que 7,0 é considerado ácido e o pH maior que 7,0 indica soluções básicas. Já no caso dos solos, eles apresentam amplitude do valor de pH em água entre 3,0 e 9,0, embora os valores mais comumente observados ocorram numa faixa intermediária (4,5–7,5) (TIECHER, 2015).

Nesses casos, a acidez do solo não é composta apenas pelos H^+ presentes na fase líquida do solo, pois parte deles está adsorvido às cargas elétricas dos colóides da fase sólida. Assim, a acidez dos solos é dividida em 2 tipos: acidez ativa (na solução do solo) e acidez potencial (hidrogênio e alumínio adsorvido na fase sólida do solo). Na Ciência do Solo, os principais cátions presentes no solo são agrupados em cátions básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) e cátions ácidos (H^+ e Al^{3+}). Assim, um solo com alta concentração de cátions ácidos terá um pH ácido e um solo rico em cátions básicos terá um pH mais elevado (TIECHER, 2015).

Portanto, à medida que os vegetais absorvem nutrientes de carga positiva (K^+ , Mg^{++} , Ca^{++} etc.), eles liberam H^+ das raízes para a solução do solo, o que reduz o pH. Durante a reação dos fertilizantes nitrogenados com o solo, especificamente na

nitrificação (passagem de amônio para nitrato), também ocorre a liberação de H^+ , aumentando assim a acidez (PREZOTTI; GUARÇONI, 2013).

Nas diversas áreas do Brasil onde o café é semeado, os solos, em sua maioria são intemperizados – ou seja, solos que surgiram pelo desgaste e decomposição de rochas por processos físicos, químicos e biológicos, como a ação da água, do clima, de minerais e da vegetação. Esse intemperismo quando prolongado provoca algumas consequências como: acidez e baixas concentrações de nutrientes disponíveis para as plantas. Nesses casos, é necessário a aplicação de corretivos e fertilizantes ao solo para reverter essa situação. Diante disso, uma das técnicas mais adequadas para aumentar o pH do solo e reduzir a toxidez de elementos químicos como o Al^{3+} , é a aplicação de calcário (GUARÇONI, 2017).

A calagem é uma técnica consiste em adicionar cálcio e magnésio afim de neutralizar a acidez do solo, ou seja, ela atua com o objetivo de que o pH alcance o melhor ponto para o desenvolvimento normal da planta. Da mesma forma, essa técnica auxilia na redução do teor de alumínio e de manganês no solo, além de elevar os teores de cálcio, magnésio e a disponibilidade do fósforo. Melhora também as características físicas do solo, deixando o mais arejado, poroso e menos compacto, o que melhora a evolução da planta (VELOSO, 2020).

Do mesmo modo, para a produção de vegetais de boa qualidade é essencial fornecer a planta nutrientes específicos e em quantidade suficientes, desde o período inicial e crítico do desenvolvimento vegetal até a colheita, pois tanto a falta quanto o excesso de nutrientes são fatores que causam estresse fisiológico à planta e que influencia, diretamente, na produção e na qualidade final do produto; a Figura 1 exemplifica de modo simples, as principais funções dos macronutrientes nitrogênio, fósforo e potássio no desenvolvimento vegetal. Assim, cada espécie tem necessidades nutricionais diferentes e estudos relacionados a doses de fertilizantes são necessários (ARAÚJO et al., 2012).

Figura 1 - Principais funções dos macronutrientes nitrogênio, fósforo e potássio no desenvolvimento vegetal.



Fonte: Elaboração própria, com base em Silva (2018).

O potássio (K) do solo, por exemplo, é medido basicamente pelos métodos Mehlich-1 e Resina de troca catiônica. A maior parte do potássio (98%) está preso dentro dos minerais do solo, sendo denominado como estrutural e as plantas não conseguem utilizá-lo diretamente. Assim, apenas uma pequena parte do potássio que está ligado às cargas negativas das argilas, permanece livre em solução, sendo denominado como trocável. Como a maior parte do K está na forma estrutural, e a liberação para as formas disponíveis é lenta. Por isso, muitas vezes é preciso adubar o solo com potássio para atender à demanda das plantas (PREZOTTI; GUARÇONI, 2013).

O nitrogênio (N) é um nutriente essencial a todos os organismos vivos, sendo requerido em quantidades relativamente elevadas por conta o seu papel fundamental na composição de proteínas, ácidos nucleicos e outros compostos celulares. As proteínas sozinhas representam 60% ou mais do N em tecidos vegetais e células microbianas. Aproximadamente 95% do N presente no solo encontram-se na forma orgânica. Além dessa fração orgânica, existem as formas inorgânicas minerais (NH_4^+ ,

NO_2^- , NO_3^-), que são bem caracterizadas. Embora os seus conteúdos no solo sejam bem menores do que a fração orgânica elas desempenham um papel crucial na nutrição das plantas e em vários processos relativos ao ciclo do N (VIEIRA, 2017).

Segundo Marchão, Brunet e Becquer (2011), a caracterização das propriedades do solo é baseada em métodos analíticos convencionais, os quais demandam alto custo e necessidade de mão de obra. Diante dessa limitação, os autores desenvolveram um estudo com o objetivo de elaborar e avaliar um protocolo de preditivo, fundamentado na Espectroscopia de Reflectância no Infravermelho Próximo (NIR), voltado para quantificação de teores totais de nitrogênio em um solo. Os resultados obtidos indicaram que a técnica é viável e permite estimar de forma satisfatória os teores totais de nitrogênio do solo e com potencial de reduzir significativamente o número e o custo das análises pelo método de análise padrão, trazendo benefícios econômicos e ambientais.

Nos últimos tempos, surgiram tecnologias que possibilitam tratar resíduos orgânicos como esterco e iodo de esgoto de modo a diminuir seu potencial de poluição. Com esses tratamentos tem sido possível beneficiar-se desses elementos na agricultura tanto como fonte nutritiva para as plantas quanto como condicionadores de solo, isto é, substâncias que melhoram a estrutura e fertilidade do solo. Além disso, os materiais orgânicos contêm elementos como o nitrogênio (N), indispensável ao crescimento vegetal (MELLO; VITTI, 2002).

Já o fósforo (P) está entre os nutrientes mais essenciais para produção agrícola, contudo sua disponibilidade natural é muito limitada. Deste modo, o uso de fertilizantes fosfatados é fundamental para a instalação e continuidade de qualquer sistema agrícola sustentável, sendo um dos investimentos de custos mais elevados da agricultura comercial. Deste modo, em sistemas de culturas anuais, é primordial adotar recomendações adequadas para o manejo da adubação fosfatada, de maneira a aumentar a eficiência de uso do P (DE SOUSA et al., 2016).

3. Propriedades físicas do solo.

O solo apresenta heterogeneidade tanto na sua extensão horizontal quanto na sua profundidade, desta forma qualquer prática de manejo utilizada poderá provocar alterações na estrutura desse solo. No sistema de plantio direto, as modificações nas

propriedades físicas e químicas por todo o perfil estão de modo direto ligadas às interações de diversos fatores como tipo de solo (teor de argila, de areia, ou do grau de compactação inicial), histórico de adoção do sistema, uso de rotação de culturas, modos do emprego de nutrientes, pressão de contato do pneu-solo e massa das máquinas agrícolas (DE MORAES et al., 2016).

A pesquisa sobre as características físicas conforme os diferentes manejos empregues em um solo permitem identificar tanto a demanda e o tipo de intervenção a ser realizada com o intuito de melhorar a produtividade. A diminuição no rendimento das pastagens tem sido ligada ao manejo inapropriado da produtividade do solo, das espécies forrageiras cultivadas e da taxa de lotação animal, condições que podem prejudicar a estrutura física do solo (LIMA et al., 2013).

Os fragmentos do solo possuem diferentes granulometrias, variando de grandes grãos de areia a partículas de argila muito finas, as quais forma a textura do solo. De modo geral, as partículas do solo são reunidas em três porções do solo, cada uma contendo partículas que pertencem a uma determinada faixa de tamanho, sendo areia (2 mm a 0,02 mm de diâmetro), silte (0,02 mm a 0,002 mm) e argila (abaixo de 0,002 mm). Essa característica física do solo não é modificada por práticas culturais ou de manejo. A classe textural do solo é a interpretação da proporção (em g kg⁻¹ de solo) das partículas de diferentes granulometrias. O solo pode ter classe textural argilosa, média ou arenosa (FAGERIA; STONE, 2006)

4. Métodos de Análise Físico-Química do Solo

4.1. Determinação do pH do Solo

A determinação do potencial hidrogeniônico (pH) do solo é realizada, predominantemente, pelo método potenciométrico, o qual é baseado na medição da atividade do íon hidrogênio (H⁺) presente na solução do solo. Esse método utiliza um eletrodo de vidro sensível ao H⁺, associado a um eletrodo de referência, ambos acoplados a um potenciômetro ou pHmetro devidamente calibrado (SILVA, 2018; TEIXEIRA et al., 2017).

Segundo o Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (TEIXEIRA et al., 2017), o procedimento analítico envolve a secagem ao ar e a peneiração da amostra, seguida da preparação de uma suspensão solo:solução em proporção

previamente padronizada. As soluções mais utilizadas incluem água destilada e soluções salinas, como cloreto de cálcio (CaCl_2) e cloreto de potássio (KCl).

Estudos experimentais realizados em solos tropicais indicam que o uso de soluções salinas reduz a variabilidade das leituras, minimizando a influência da concentração de sais presentes no solo e proporcionando maior estabilidade e reprodutibilidade dos resultados (CLÓVIS, 2018).

A calibração do pHmetro com soluções tampão de pH conhecido constitui etapa indispensável para a confiabilidade dos resultados analíticos (TEIXEIRA et al., 2017).

4.2. Análise da Textura do Solo

A textura do solo refere-se à proporção relativa de partículas minerais de diferentes tamanhos: areia, silte e argila. Os métodos mais utilizados para sua determinação incluem o método da pipeta e o método do densímetro, ambos baseados na sedimentação das partículas em meio líquido, conforme a Lei de Stokes, a qual relaciona a velocidade de deposição das partículas ao seu diâmetro (TEIXEIRA et al., 2017; SILVA, 2018).

A análise textural é fundamental para a interpretação de propriedades físicas e químicas do solo, uma vez que solos argilosos tendem a apresentar maior capacidade de retenção de água e nutrientes, enquanto solos arenosos apresentam maior drenagem e menor fertilidade natural. Dessa forma, o conhecimento da textura auxilia na interpretação dos resultados de fertilidade e no manejo adequado do solo (CLÓVIS, 2018).

Segundo Teixeira et al. (2017) e Silva (2018), o procedimento metodológico inicia-se com a preparação da amostra, incluindo secagem, peneiramento e, quando necessário, a remoção de matéria orgânica e carbonatos. Em seguida, realiza-se a dispersão química das partículas, geralmente com o uso de agentes dispersantes, garantindo a separação individual das frações granulométricas.

Após a dispersão, a separação das frações é realizada por sedimentação controlada, sendo os métodos da pipeta e do densímetro os mais utilizados. No método da pipeta, alíquotas da suspensão são retiradas em tempos previamente definidos, permitindo a quantificação da fração argila e, posteriormente, das demais

frações. Já o método do densímetro baseia-se na leitura da densidade da suspensão em diferentes tempos de sedimentação (TEIXEIRA et al., 2017).

A confiabilidade da análise textural depende do rigor na execução das etapas metodológicas, especialmente no controle do tempo, da temperatura da suspensão e da eficiência da dispersão. Os resultados obtidos são utilizados para a classificação do solo por meio do triângulo textural. De forma simplificada, a classificação textural é obtida no local de cruzamento das linhas traçadas em função das quantidades existentes de areia, silte e argila nos locais indicados no triângulo (SILVA, 2018).

4.3. Determinação de Nutrientes Disponíveis (NPK)

4.3.1. Nitrogênio (N)

A determinação do nitrogênio no solo apresenta elevada complexidade analítica, uma vez que esse nutriente se encontra predominantemente associado à matéria orgânica. Dessa forma, os métodos empregados visam, em geral, à quantificação do nitrogênio total ou de formas específicas disponíveis às plantas (CLÓVIS, 2018).

O método de Kjeldahl é um dos procedimentos mais tradicionais e amplamente utilizados, consistindo na digestão da amostra com ácido sulfúrico concentrado, na presença de catalisadores, promovendo a conversão do nitrogênio orgânico em amônio. Posteriormente, o amônio formado é destilado e quantificado por titulação (TEIXEIRA et al., 2017).

4.3.2. Fósforo (P)

A determinação do fósforo disponível varia conforme o tipo de solo, por meio de métodos de extração química, seguidos de quantificação por técnicas espectrofotométricas. A escolha do método extrator está diretamente relacionada às características químicas do solo, especialmente o teor de argila e o grau de acidez (SILVA, 2018).

Em solos tropicais, o método Mehlich-1 é amplamente empregado devido à sua eficiência em solos ácidos e de baixa capacidade tampão. Estudos experimentais demonstram boa correlação entre os teores de fósforo extraídos por Mehlich-1 e a

resposta das culturas à adubação fosfatada, justificando sua ampla adoção em análises de rotina (CLÓVIS, 2018).

O extrator Mehlich-1 consiste em uma solução diluída de ácido clorídrico (HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$) e ácido sulfúrico (H_2SO_4 $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$), cuja ação promove a solubilização do fósforo fracamente adsorvido às partículas do solo, bem como de formas associadas a óxidos de ferro e alumínio (TEIXEIRA et al., 2017).

Após a extração, o fósforo é determinado por método colorimétrico, geralmente pela formação do complexo azul de molibdênio, cuja intensidade é proporcional à concentração do nutriente presente na amostra. A padronização das etapas de extração, do tempo de reação e da leitura espectrofotométrica é essencial para garantir a confiabilidade dos resultados analíticos (CLÓVIS, 2018).

4.3.3. Potássio (K)

A determinação do potássio disponível no solo é realizada, de forma rotineira, por fotometria de chama a partir do extrato obtido pelo método Mehlich-1. O princípio da técnica baseia-se na emissão de radiação característica pelo íon potássio quando excitado em uma chama, sendo a intensidade da emissão diretamente proporcional à concentração do elemento na amostra (TEIXEIRA et al., 2017).

De acordo com Teixeira et al. (2017), a extração do potássio trocável é comumente realizada com soluções como Mehlich-1 ou acetato de amônio. Após a obtenção do extrato, a amostra é aspirada para a chama do fotômetro, onde ocorre a excitação dos átomos de potássio e a emissão de luz característica, geralmente em torno de 766,5 nm.

A fotometria de chama apresenta como principais vantagens a rapidez analítica, a boa sensibilidade e o baixo custo operacional, sendo amplamente utilizada em análises de rotina. Entretanto, estudos indicam que o método pode sofrer interferências de outros cátions presentes no extrato, especialmente sódio e cálcio, exigindo cuidados na calibração e, quando necessário, na diluição das amostras (CLÓVIS, 2018).

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho caracteriza-se como uma revisão sistemática da literatura, conduzida de acordo com etapas previamente definidas. Foram selecionados artigos científicos, manuais técnicos e publicações institucionais que abordassem métodos de análise físico-química de solos de uso agropecuários.

As buscas foram realizadas em bases de dados como Web of Science, Scopus, Scientific Electronic Library Online - SciELO, Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Science Direct, Google Acadêmico, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), livros e capítulos de livros, incluindo os últimos 10 anos entre 2016 - 2025.

Utilizaram-se como descritores: “análise de solos”, “pH do solo”, “textura do solo”, “nutrientes disponíveis”, “nitrogênio”, “fósforo” e “potássio”. Os critérios de inclusão abrangeram estudos que apresentassem descrição metodológica clara e aplicabilidade em solos de uso agropecuário. Foram excluídos trabalhos fora do escopo temático ou sem rigor metodológico. O levantamento foi efetuado no período de novembro de 2025 a janeiro de 2026.

Após a seleção, os estudos foram analisados qualitativamente, com ênfase na descrição dos métodos empregados, princípios analíticos e implicações para a interpretação dos resultados.

RESULTADOS

A análise comparativa dos métodos de determinação dos parâmetros físico-químicos do solo evidencia que as técnicas clássicas continuam predominantes nos laboratórios de análise de solos de uso agropecuário no Brasil. Essa predominância está associada, principalmente, à simplicidade operacional, ao baixo custo e à ampla padronização desses métodos (SILVA, 2018; BRASIL, 2017).

No que se refere à determinação do pH do solo, os resultados da revisão indicam que o método potenciométrico com eletrodo de vidro permanece como referência para análises de rotina. Esse método apresenta elevada precisão, rapidez e boa reprodutibilidade, sendo amplamente recomendado por manuais oficiais e validado por estudos experimentais. Embora tecnologias mais modernas, como

sensores automáticos e sistemas contínuos de monitoramento, estejam disponíveis, sua aplicação ainda se restringe, em grande parte, a ambientes de pesquisa, enquanto o método clássico atende de forma satisfatória às demandas laboratoriais do setor agropecuário (TEIXEIRA et al., 2017; CLÓVIS, 2018).

Para a análise da textura do solo, os resultados demonstram que os métodos baseados na sedimentação das partículas minerais em meio líquido, fundamentados na Lei de Stokes, continuam sendo amplamente utilizados. Métodos como o da pipeta e do densímetro mantêm-se como padrão em laboratórios de análise de solos agrícolas devido à sua confiabilidade, baixo custo e ampla aceitação institucional. Técnicas modernas, como a difração a laser, apresentam maior rapidez e automação; contudo, o elevado custo dos equipamentos e a necessidade de calibração específica limitam sua aplicação em análises de rotina, especialmente em laboratórios públicos e privados voltados ao atendimento agrícola (TEIXEIRA et al., 2017; SILVA, 2018).

Em relação aos macronutrientes, observa-se que os métodos clássicos continuam sendo amplamente empregados para a determinação de nitrogênio, fósforo e potássio. O método de Kjeldahl permanece como referência para a determinação do nitrogênio total do solo, apresentando elevada confiabilidade quando executado sob condições padronizadas. Para o fósforo disponível, os métodos de extração química, especialmente o Mehlich-1, associados à quantificação por espectrofotometria, demonstram boa correlação com a resposta das culturas à adubação fosfatada, principalmente em solos tropicais ácidos. Já para o potássio, a fotometria de chama destaca-se pela rapidez analítica, sensibilidade e baixo custo operacional, sendo amplamente utilizada em análises de rotina (TEIXEIRA et al., 2017).

Apesar do avanço de técnicas instrumentais mais sofisticadas, como espectrometria de emissão óptica e métodos automatizados de análise multielementar, os resultados da revisão indicam que os métodos clássicos permanecem como base para fins de recomendação agrônômica. Isso se deve, sobretudo, ao respaldo conferido por manuais oficiais, à ampla padronização e à compatibilidade desses métodos com os sistemas de interpretação de fertilidade adotados no Brasil (BRASIL, 2017).

Dessa forma, os resultados evidenciam que a escolha dos métodos analíticos deve considerar não apenas a modernidade da técnica, mas também sua adequação

às condições do solo, aos objetivos da análise e à infraestrutura disponível. A padronização dos procedimentos e o controle de qualidade dos laboratórios permanecem como fatores essenciais para garantir a confiabilidade dos resultados e a correta interpretação agronômica, reforçando a relevância contínua dos métodos clássicos na análise físico-química de solos de uso agropecuário (BRASIL, 2017).

A Tabela 1 abaixo apresenta uma comparação dos principais métodos de análises físico-químicas do solo, para cada parâmetro avaliado, utilizados em solos de uso agropecuário, seus princípios analíticos e suas principais vantagens.

Tabela 1 – Comparação dos principais métodos de análise físico-química do solo utilizados em solos de uso agropecuário

PARÂMETRO	MÉTODO	PRINCÍPIO ANALÍTICO	PRINCIPAIS VANTAGENS
pH do solo	Potenciometria (eletrodo de vidro)	Medição da diferença de potencial elétrico relacionada à atividade do íon H^+	Simplicidade, rapidez, boa precisão e ampla padronização
Textura do solo	Sedimentação (pipeta/densímetro)	Velocidade de deposição das partículas em meio líquido (Lei de Stokes)	Baixo custo, boa reprodutibilidade e ampla aceitação
Nitrogênio (N)	Método de Kjeldahl	Digestão ácida e quantificação do N convertido em amônio	Confiabilidade, aplicação consolidada e padronização
Fósforo (P)	Extração química + espectrofotometria	Formação de complexo colorido proporcional à concentração de P	Sensibilidade, boa precisão e aplicabilidade em solos tropicais

Potássio (K)	Fotometria de chama	Emissão de radiação característica do K em chama	Rapidez, precisão e baixo custo operacional
--------------	---------------------	--	---

Fonte: Elaborada pela autora com base em Teixeira et al. (2017), Silva (2018), Brasil (2017) e Clóvis (2018).

CONCLUSÕES

A revisão sistemática realizada demonstra a importância dos métodos de análise físico-química do solo para o manejo agropecuário sustentável. Os parâmetros pH, textura e nutrientes disponíveis (N, P e K) são essenciais para o diagnóstico da fertilidade e para a tomada de decisões relacionadas à calagem e adubação.

Os métodos descritos na literatura técnica e nos manuais oficiais mostram-se adequados às condições dos solos brasileiros, desde que aplicados com rigor técnico e interpretados de forma contextualizada. Dessa forma, a utilização integrada dessas metodologias contribui para o uso racional de insumos agrícolas e para a sustentabilidade dos sistemas produtivos.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, H. S.; QUADROS, B. R. D.; CARDOSO, A. I. I.; CORRÊA, C. V. Doses de potássio em cobertura na cultura da abóbora. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 42, p. 469–475, 2012.
- ASSUNÇÃO DELEON BERNARDES, D.; SILVA, F. A. N. Análises químicas do solo e o controle de qualidade dos laboratórios. *Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas*, v. 6, n. 3, p. 120–136, 2012.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos*. Brasília, DF: MAPA, 2017.
- CLÓVIS, E. de M. *Determinação da concentração de fósforo em latossolo amarelo por imagens digitais no município de Itacoatiara-AM*. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos) – Universidade Federal do Amazonas, Itacoatiara, 2018.

- DE MORAES, M. T.; DEBIASI, H.; FRANCHIN, J. C.; SILVA, V. R. Benefícios das plantas de cobertura sobre as propriedades físicas do solo. In: **PRÁTICAS alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água**. [S.l.]: [s.n.], 2016. p. 34–48.
- DE SOUSA, D. M. G.; REIN, T. A.; SANTOS JUNIOR, J.; JOAO, D. D. G. D. S. *Manejo da adubação fosfatada para culturas anuais no Cerrado*. Planaltina, DF: Embrapa, 2016. (Circular Técnica, 33).
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Manual de métodos de análise de solo*. 6. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2025.
- FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. *Qualidade do solo e meio ambiente*. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006.
- FERRAZ, R. P. D.; KUCHLER, P. C.; SIMÕES, M. A. A intensificação do uso agrícola do solo: uma trajetória para o desenvolvimento sustentável da agricultura brasileira. In: COSTA, A. J. S. T.; LIMA, C. S. (org.). *Natureza e sociedade: perspectivas de ação e análise*. Curitiba: Bagai, 2021. p. 236–248. DOI: 10.37008/978-65-81368-55-5.19.09.21.
- GALHARTE, C. A.; CRESTANA, S. Avaliação do impacto ambiental da integração lavoura-pecuária: aspecto conservação ambiental no Cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, p. 1202–1209, 2010.
- GUARÇONI, A. Saturação por bases para o cafeeiro baseada no pH do solo e no suprimento de Ca e Mg. *Coffee Science*, Lavras, v. 12, n. 3, p. 327–336, jul./set. 2017.
- LIMA, I. M. A.; ARAÚJO, M. C.; BARBOSA, R. S. Avaliação das propriedades físicas do solo em sistemas silvipastoris na região centro-norte do estado do Piauí. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v. 9, n. 1, p. 117–124, 2013.
- MARCHÃO, R. L.; BRUNET, D.; BECQUER, T. *Predição dos teores de carbono e nitrogênio do solo utilizando espectroscopia de infravermelho próximo*. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Brasília, DF: Embrapa, 2011.
- MELLO, S. C.; VITTI, G. C. Desenvolvimento do tomateiro e modificações nas propriedades químicas do solo em função da aplicação de resíduos orgânicos sob cultivo protegido. *Horticultura Brasileira*, v. 20, p. 200–206, 2002.

- MENDES, G. G. et al. Análises química, física e microbiológica de solos em sistemas de cultivo convencional e orgânico/agroecológico. *Revista de Geografia (UFJF)*, v. 13, n. 1, 2023. DOI: 10.34019/2236-837X.2023.v13.40108.
- PEREIRA, M. G. et al. Formação e caracterização de solos. In: TULLIO, L. (org.). *Formação, classificação e cartografia dos solos*. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019. cap. 1, p. 1–20.
- PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI, A. M. *Guia de interpretações de análise de solo e foliar*. Vitória, ES: Incaper, 2013.
- SAMBUICHI, R. H. R. et al. *A sustentabilidade ambiental da agropecuária brasileira: impactos, políticas públicas e desafios*. Brasília, DF: IPEA, 2012.
- SILVA, S. B. *Análise de solos para ciências agrárias*. 2. ed. Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2018.
- TEIXEIRA, P. C. et al. *Manual de métodos de análise de solo*. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017.
- TIECHER, T. *A química antes da química do solo*. Frederico Westphalen, RS: URI, 2015.
- VELOSO, C. A. C. et al. Correção da acidez do solo. In: BRASIL, E. C.; CRAVO, M. da S.; VIEGAS, I. de J. M. (ed.). *Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará*. 2. ed. rev. e atual. Brasília, DF: Embrapa, 2020.
- VEZZANI, F. M. Saúde do solo e a produção agrícola. *Boletim Agrônomo*, Porto Alegre, v. 3, n. 1, p. 4–10, jan. 2025.
- VIEIRA, R. F. *Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas*. Brasília, DF: Embrapa, 2017.