

Universidade Federal do Mato Grosso do Sul

Bacharelado Química Tecnológica

Análise do Solo Sul Mato Grossense para cultivo de Eucalipto

André Martins Medina

Campo Grande – MS

2025

André Martins Medina

Análise do Solo Sul Mato Grossense para cultivo de Eucalipto

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Instituto de Química como requisito básico para a conclusão do Curso de Bacharelado em Química Tecnológica

Orientador (a): Prof^a Dr^a Danieli Cristine Anversa

Campo Grande - MS

2025



ATA

Aos dezoito dias do mês de novembro do ano de dois mil e vinte e cinco, às oito horas, reuniu-se a Banca Examinadora composta pelos membros Danieli Cristine Anversa (UFMS), Wellyta de Oliveira Ferreira (IAGRO) e Jorge Luiz Raposo Junior(UFMS) sob a presidência da primeira, para avaliar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado "Compatibilidade do Solo Sul Mato Grossense para Plantação de Eucalipto" do estudante ANDRÉ MARTINS MEDINA (RGA 2022.2302.008-6) do Curso de Bacharelado em Química Tecnológica, sob a orientação da Prof.^a Dr.^a Danieli Cristine Anversa. A presidente da Banca Examinadora declarou abertos os trabalhos, agradeceu a presença de todos os Membros e concedeu a palavra ao estudante que expôs o trabalho. Terminada a exposição, os senhores membros da Banca Examinadora iniciaram as arguições. Terminadas as arguições, a presidente da Banca Examinadora fez suas considerações. A seguir, a Banca Examinadora reuniu-se para avaliação, e após, emitiu parecer expresso conforme segue:

Membros da banca	Conceito
Danieli Cristine Anversa (UFMS)	APROVADO
Wellyta de Oliveira Ferreira (IAGRO)	APROVADO
Jorge Luiz Raposo Junior (UFMS)	APROVADO

Campo Grande - MS, 02 de dezembro de 2025

Documento assinado eletronicamente por **Danieli Cristine Anversa, Professora do Magistério Superior**, em 02/12/2025, às 12:39, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Jorge Luiz Raposo Junior, Professor do Magisterio Superior**, em 02/12/2025, às 13:02, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



**NOTA
MÁXIMA
NO MEC**

**UFMS
É 10!!!**



Documento assinado eletronicamente por **WELLYTA DE OLIVEIRA FERREIRA**, Usuário Externo, em 03/12/2025, às 09:43, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6045185** e o código CRC **04425C40**.

INSTITUTO DE QUÍMICA

Av Costa e Silva, s/nº - Cidade Universitária Fone:
CEP 79070-900 - Campo Grande - MS

Referência: Processo nº 23104.019644/2024-94

SEI nº 6045185

AGRADECIMENTOS

Chegou o grande dia!

Primeiramente, agradeço a Deus, que me concedeu a capacidade e a oportunidade de ampliar meus conhecimentos e chegar até aqui. A Ele, toda a honra e a glória. Agradeço também à Santa Rita de Cássia, de quem sou devoto, por ter me acompanhado e intercedido por mim durante toda esta caminhada. Sua presença espiritual foi fundamental para que eu mantivesse a fé e a perseverança nos momentos mais desafiadores. Expresso minha profunda gratidão aos meus pais, pelo amor, apoio incondicional e por sempre acreditarem no meu potencial. Sem o incentivo e a confiança deles, nada disso seria possível. Sou imensamente grato às pessoas que serviram de inspiração para a realização deste trabalho. Durante meu estágio de um ano na lagro, vivenciei experiências marcantes que despertaram meu interesse e encantamento por esta área. Agradeço especialmente à Wellyta, cuja influência e exemplo contribuíram significativamente para o desenvolvimento deste tema. Na minha trajetória na Química, deixo um agradecimento especial ao Climei, por todo o apoio, incentivo e ajuda constantes ao longo dessa jornada acadêmica. Registro, ainda, meu reconhecimento às pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a concretização deste trabalho: Tia Ramona, Bianca, Matilde, Allan e Rita. Cada um teve uma parcela importante nesta conquista, que não é apenas minha, mas de todos nós. Agradeço também às companheiras que estiveram ao meu lado durante o percurso: Valéria, minha parceira na lagro, pela confiança e companheirismo; e Gabi, colega de curso, por estar sempre presente, me acalmando e apoiando nos momentos de dificuldade. Por fim, deixo uma homenagem especial às pessoas queridas que não estão mais aqui, mas que marcaram profundamente a minha vida. Sérgio, que em vida sempre acreditou em mim e, se estivesse presente, certamente se alegraria com esta conquista. E o meu avô Luiz, que, mesmo com suas limitações, sempre me esperava acordado e demonstrava, em silêncio, toda sua admiração e carinho. A todos vocês, o meu mais sincero muito obrigado. Essa vitória é nossa!

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo comparar as características químicas e físicas dos solos sul-mato-grossenses com aquelas recomendadas em áreas utilizadas para o cultivo de eucalipto, a fim de compreender as diferenças que influenciam a produtividade e a sustentabilidade dos plantios. O problema investigado relaciona-se à necessidade de avaliar a qualidade e o manejo do solo diante da expansão da silvicultura, considerando os impactos sobre a fertilidade, acidez e disponibilidade de nutrientes. Foram coletadas amostras de solo representativas, sendo estas submetidas a análises químicas e físicas, incluindo granulometria, pH, teores de macro e micronutrientes, bem como a determinação da saturação por bases e alumínio. Os resultados demonstraram que os solos destinados ao cultivo de eucalipto apresentaram maior acidez e presença significativa de minerais como gibbsita, caulinita e goethita, que reduzem a disponibilidade de nutrientes essenciais. Em contraste, os solos sul-mato-grossenses exibiram maior capacidade de retenção de nutrientes e melhores condições de fertilidade natural, ainda que com variações regionais. Conclui-se que o manejo adequado e a correção da acidez são fatores fundamentais para otimizar a produtividade em áreas de silvicultura, reforçando a importância do monitoramento contínuo da qualidade do solo e da adoção de práticas sustentáveis para a conservação e o uso racional dos recursos naturais.

Palavras-chave: solo; eucalipto; fertilidade; acidez; sustentabilidade.

ABSTRACT

This study aimed to compare the chemical and physical characteristics of soils from Mato Grosso do Sul with those observed in areas used for eucalyptus cultivation, in order to understand the differences that influence plantation productivity and sustainability. The research problem concerns the need to assess soil quality and management in light of the expansion of silviculture, considering the impacts on fertility, acidity, and nutrient availability. Representative soil samples were collected and subjected to physicochemical analyses, including particle size distribution, pH, macro- and micronutrient contents, as well as base and aluminum saturation. The results showed that soils used for eucalyptus cultivation exhibited higher acidity and a significant presence of minerals such as gypsum, kaolinite, and goethite, which reduce the availability of essential nutrients. In contrast, soils from Mato Grosso do Sul presented a greater capacity for nutrient retention and better natural fertility conditions, although with regional variations. It is concluded that proper management and acidity correction are key factors for optimizing productivity in silvicultural areas, reinforcing the importance of continuous soil quality monitoring and the adoption of sustainable practices to ensure the conservation and rational use of natural resources.

Keywords: soil; eucalyptus; fertility; acidity; sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Perfil típico de Latossolo do Mato Grosso do Sul.....	20
Gráfico 1 – Comparativo entre os parâmetros do solo sul-mato-grossense e solo ideal para eucalipto	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Solos analisados.....	22
Tabela 2 – Comparaçao entre atributos físico-químicos dos solos do Mato Grosso do Sul e os considerados ideais para o cultivo de eucalipto.....	23

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CTC – capacidade de troca catiônica
EDTA – Ácido etilenodiaminotetracético dissódico
Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IAC – Instituto Agronômico de Campinas
MO – Matéria orgânica
ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU – Organização das Nações Unidas
TFSE – Terra fina seca em estufa

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	09
2. JUSTIFICATIVA.....	10
3. OBJETIVOS	14
4. METODOLOGIA DA PESQUISA.....	15
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	19
6. CONCLUSÕES	27
7. REFERÊNCIAS	29

1. INTRODUÇÃO

No Mato Grosso do Sul, grande parte das áreas destinadas à produção florestal — particularmente para o cultivo de eucalipto — são constituídas por solos altamente intemperizados, com predominância de argilas de baixa atividade, elevados teores de óxidos de ferro e alumínio e reduzida disponibilidade de nutrientes essenciais. Essas condições refletem não apenas a natureza geoquímica da região, mas também o histórico de processos pedogenéticos que influenciam diretamente parâmetros críticos como capacidade de troca catiônica (CTC), acidez potencial ($H+Al$) e a dinâmica de adsorção de fósforo.

A compreensão detalhada desses atributos químicos se torna indispensável para o manejo adequado das extensas áreas de plantio de eucalipto, uma cultura altamente sensível à acidez do solo e à presença de alumínio trocável, mas extremamente responsiva à correção química, aplicação racional de fertilizantes e adequação da fertilidade ao longo do perfil. A interação entre as características mineralógicas — como a predominância de caulinita, goethita e gibbsita — e os processos de disponibilidade de nutrientes torna o solo sul-mato-grossense um ambiente quimicamente desafiador, mas de grande potencial produtivo quando manejado com precisão.

Nesse cenário, a comparação entre solos do Mato Grosso do Sul com os idealmente utilizados segundo literatura da Embrapa para as plantações de eucalipto, fornece uma visão ampla dos contrastes químicos, físicos e mineralógicos que moldam o comportamento da cultura. Essa comparação permite identificar limitações intrínsecas, potenciais de melhoria, respostas diferenciais à corretivos e fertilizantes, bem como estratégias de manejo baseadas em princípios da Química do Solo, como reações de neutralização, complexação, adsorção e equilíbrio ácido-base.

Assim, este trabalho apresenta um panorama aprofundado das características químicas dos solos analisados, discutindo sua influência no desenvolvimento do eucalipto, a capacidade produtiva esperada, os desafios associados à fertilidade natural e as intervenções químicas necessárias para otimizar o desempenho florestal.

2. JUSTIFICATIVA

A modernização da agricultura e o avanço nas técnicas de cultivo do solo estão profundamente ligados ao contexto histórico da Revolução Industrial. A partir do século XX, essa conexão se intensificou, impulsionando o desenvolvimento de pesquisas e a subsequente transformação do campo. Esse período foi marcado pela introdução de maquinário agrícola de maior porte, tecnologias avançadas de manejo e a intensiva aplicação de insumos químicos (como fertilizantes e defensivos). Tais inovações resultaram em ganhos significativos de produtividade, permitindo, inclusive, a exploração de áreas antes consideradas "desertos agrícolas" ou impróprias para o cultivo. Nesse panorama de produção em larga escala, a compreensão das interações físicas e químicas do solo torna-se absolutamente fundamental para a gestão sustentável e a continuidade dessa produção agrícola moderna.

No caso do Mato Grosso do Sul, a modernização no campo contribuiu para a área da agricultura, trazendo uma alternativa de uso da terra, o que favoreceu a ocupação produtiva de grandes extensões territoriais com culturas florestais tecnificadas tal qual o eucalipto.

Nas últimas décadas o cultivo do eucalipto tem exercido forte influência econômica no estado sul-mato-grossense. Esse crescimento está atrelado à crescente demanda da indústria de celulose, bem como de seus derivados e subprodutos, sendo que os municípios de Três Lagoas, Ribas do Rio Pardo, Brasilândia, Água Clara e Selvíria destacam-se por apresentarem grandes áreas de plantio (IBÁ, 2023; EMBRAPA, 2020).

A formação do solo nas regiões destacadas acima é fortemente composta por rochas sedimentares provenientes da Formação Bauru e, também, em menor proporção, das rochas da Formação Serra Geral. Essa origem geológica influencia sua composição geoquímica e, segundo estudos, os minerais predominantes incluem caulinita, goethita e gibbsita associados a processos intensos de intemperismo tropical, que são característicos da região Centro-Oeste (SANTOS et al., 2018).

Por ser compostos por esses minerais, os solos apresentam características químicas como elevada acidez, baixa saturação por bases e alta capacidade de

adsorção de fósforo, o que torna o manejo químico um fator crucial para o cultivo do eucalipto (NOVAIS et al., 2007).

Devido às suas características climáticas, essa região é influenciada tanto pelo intemperismo químico quanto pelo intemperismo físico, processos essenciais na formação dos solos. O intemperismo físico atua, principalmente, por meio da fragmentação das rochas sem alterar sua composição química, sendo que esse processo é impulsionado por fatores como a variação térmica diária (amplitude térmica), comum no clima tropical. A dilatação e contração dos minerais constituintes da rocha, causada pela mudança de temperatura entre o dia e a noite, gera microfraturas e fissuras, facilitando a desagregação do material de origem.

Outros aspectos importantes são os geográficos e geológicos, que exercem influência direta sobre a formação e o comportamento dos solos. As áreas de cultivo de eucalipto estão localizadas, majoritariamente, no leste do estado, integrando o Planalto da Bacia do Paraná. Essa região possui altitudes médias entre 300 e 600 metros, com relevo plano a suavemente ondulado.

Essa configuração topográfica favorece o escoamento da água e contribui para a formação de solos profundos, bem drenados e com baixa suscetibilidade à erosão, sendo essas condições ideais para o desenvolvimento profundo do eucalipto.

O clima predominante é o tropical com estação seca (Aw, segundo Köppen), com temperaturas médias anuais entre 22 °C e 26 °C. Essa sazonalidade favorece processos de lixiviação intensa, que resultam na perda de cátions básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+) e no aumento da concentração de óxidos de ferro (Fe_2O_3) e de alumínio (Al^{3+}), especialmente nos latossolos.

A vegetação nativa da região é composta por fitofisionomias de Cerrado, com baixa produção de matéria orgânica de qualidade e dinâmica lenta de ciclagem de nutrientes. Isso, somado ao clima e ao relevo, acentua a acidez do solo, sua baixa fertilidade natural e alta capacidade de adsorção de fósforo — fatores que exigem manejo químico criterioso.

Outro aspecto relevante é o teor de matéria orgânica, que influencia diretamente a estrutura do solo. Solos tropicais intensamente cultivados tendem a

apresentar baixos teores de matéria orgânica, tornando-se mais suscetíveis à compactação, especialmente com o uso de maquinário pesado ou práticas inadequadas de preparo (REICHERT et al., 2007). A compactação reduz a porosidade, dificulta a infiltração de água e restringe o crescimento das raízes, fatores que comprometem o desenvolvimento das plantas. A compatibilidade entre o solo e a cultura depende de um conjunto de propriedades físico-químicas que regulam sua estrutura, retenção de nutrientes e resistência à degradação.

Fatores como textura, composição mineralógica, teor de matéria orgânica e capacidade de troca de cátions (CTC) são fundamentais para a estabilidade do sistema solo-planta (RESENDE et al., 2014). Nos solos tropicais, predominam argilas, como a caulinita, além de altos teores de óxidos de ferro e alumínio, que conferem carga variável às partículas. Essa carga influencia diretamente nos processos de flocação, dispersão e formação de agregados. Em ambientes com baixa matéria orgânica e alta acidez, como os Latossolos distróficos do Mato Grosso do Sul, observa-se maior suscetibilidade à compactação, devido à porosidade reduzida e à formação de agregados instáveis sob pressão mecânica (MEURER, 2012).

Fatores edáficos, como a compactação do solo, representam um sério obstáculo, pois comprometem o crescimento e a movimentação eficiente de água e de nutrientes no perfil. Apesar da expansão contínua do cultivo de eucalipto na região, persistem lacunas críticas no conhecimento técnico, especialmente no que tange à relação entre os tipos de solo predominantes, sua susceptibilidade à compactação e os impactos diretos desse fenômeno no desempenho florestal. Com o objetivo de promover uma silvicultura mais eficiente, produtiva e ambientalmente sustentável, este trabalho visa preencher essa lacuna de entendimento. Faremos isso por meio de uma análise comparativa detalhada entre os solos sul-mato-grossenses em sua condição natural e aqueles considerados ideais para plantações de eucalipto, com foco na compatibilidade do solo e nos fatores físico-químicos que modulam essa relação.

O estado do Mato Grosso do Sul vem apresentando um destaque como polo de produção florestal do Brasil, principalmente no cultivo de eucalipto voltado para indústria de celulose e papel. Esses avanços estão diretamente relacionados à expansão de áreas de plantio em regiões onde o solo apresenta limitações químicas,

porém oferecem condições físicas favoráveis ao desenvolvimento radicular e ao manejo mecanizado.

A escolha do solo é um fator determinante para o cultivo de eucalipto, uma vez que sua morfologia, composição química e mineralógica interferem diretamente na disponibilidade de nutrientes, comportamento da água no perfil e dinâmica dos corretivos e fertilizantes aplicados. No entanto, grande parte das áreas plantadas encontram-se em locais com solos dos tipos Latossolos distróficos e Argissolos com baixa fertilidade natural e elevada acidez, o que exige um manejo intensivo para garantir a sustentabilidade do sistema produtivo.

3. OBJETIVOS

3.1 GERAL

O objetivo deste trabalho é analisar a compatibilidade dos solos do Mato Grosso do Sul para o cultivo do eucalipto, considerando suas características físicas, químicas, mineralógicas e estruturais, bem como fatores climáticos, geológicos e manejo, que influenciam sua fertilidade, compactação e produtividade. Dessa forma, busca-se compreender as interações entre solo e planta e identificar os principais desafios e potencialidades para o desenvolvimento de uma silvicultura mais eficiente, produtiva e ambientalmente sustentável.

3.2 ESPECÍFICOS

- Caracterizar os principais tipos de solos encontrados no território sul-mato-grossense com ênfase onde ocorre o cultivo de eucalipto;
- Identificar as exigências específicas para desenvolvimento do eucalipto;
- Verificar a adequação físico-química dos solos sul-mato-grossenses em relação às necessidades nutricionais e estruturais do eucalipto;
- Avaliar as limitações e desafios apresentados pelos solos da região para cultivo da espécie;
- Sugerir práticas de manejo e correção do solo de forma sustentável que possam contribuir para produtividade do plantio de eucalipto no estado.

4. METODOLOGIA DA PESQUISA

4.1 Determinação do pH do solo

O pH do solo foi determinado pelo método potenciométrico, que mede a atividade dos íons hidrogênio livres em suspensão. Para isso, mediu-se 10 cm³ de terra fina seca em estufa (TFSE) com o auxílio de um cachimbo dosador de solos, que é específico para tal. Em seguida, foram adicionados a 25 mL de água destilada como solução extratora, na proporção 1:2,5. A suspensão foi agitada por 5 minutos em mesa agitadora orbital a 220 rpm e deixada em repouso por 30 minutos. A seguir foi realizada a leitura em pHmetro previamente calibrado com soluções-tampão pH 4,0, 7,0 e 10,0. A técnica utilizada foi a potenciometria, em que o eletrodo do tipo de vidro responde à concentração dos íons H⁺ em solução, gerando um potencial elétrico que é convertido em unidades de pH (EMBRAPA, 2017). Uma técnica alternativa seria a titulação clássica (titulação ácido-base), na qual titulante é o hidróxido de sódio (NaOH) com concentração 0,025 mol L⁻¹ e o titulado é o ácido clorídrico (HCl) com adicionado a amostra, sendo utilizado como indicador a fenolftaleína que irá mudar de incolor para rosa.

4.2 Determinação de fósforo disponível

O fósforo disponível foi determinado pelo método espectrofotométrico utilizando a solução extratora de Mehlich1, também chamada de solução duplo-ácida ou de Carolina do Norte, que é composta por HCl 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹. Para tanto, mediu-se 3 cm³ de TFSE com o auxílio de cachimbo dosador de solos e, após a adição de 30 mL da solução de Mehlich1, a suspensão solo-extrator foi agitada por 5 minutos a 220 rpm em mesa agitadora orbital e, em seguida, deixada em repouso por uma (1) noite (aproximadamente 16 horas) para que ocorresse a decantação de toda a parte sólida. No dia seguinte, foram pipetados 5 mL do extrato, tomando-se cuidado para pipetar apenas o líquido límpido sem a parte sólida, visto que a ausência de turbidez é um fator importante para a determinação correta do fósforo pelo método espectrofotométrico. A esses 5 mL de extrato foram adicionados 10 mL de solução de molibdato de amônio em meio ácido e uma medida calibrada de ácido ascórbico (\pm 30 mg), em seguida foi realizada a agitação manual e a solução obtida foi deixada em repouso por 30 minutos para a formação do complexo azul de molibdênio, sendo que a intensidade da coloração azul desenvolvida é diretamente

proporcional à concentração de fósforo na amostra de solo, ou seja, quanto maior a intensidade da coloração azul, maior a concentração de fósforo na amostra. A determinação foi realizada em espectrofotômetro UV-Vis a 660 nm. O método baseia-se na colorimetria molecular (espectrofotometria UV-Vis), em que a absorção de luz por um composto colorido está diretamente relacionada à concentração de P presente no solo (EMBRAPA, 2017).

4.3 Determinação de cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+})

Os cátions trocáveis foram extraídos do solo com solução de KCl 1,0 mol L⁻¹ e, para tal extração, foram medidos 5 cm³ de TFSE com o cachimbo dosador de solos, adicionados 50 mL dessa solução extratora, seguido de agitação em mesa agitadora orbital a 220 rpm por 5 minutos. A suspensão obtida foi deixada em repouso para decantação da parte sólida por uma (1) noite (aproximadamente 16 horas) e, no dia seguinte, foram pipetados 10 mL de líquido límpido para cada determinação necessária, sendo 10 mL para a determinação de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, 10 mL para a determinação de Ca^{2+} e outros 10 mL para a determinação de Al^{3+} , sendo que a todas essas alíquotas pipetadas foram adicionados 10 mL de água destilada.

Para a determinação de Ca^{2+} e Mg^{2+} empregou-se a titulação complexométrica com solução de EDTA 0,005 mol L⁻¹, sendo que o procedimento utilizado nessa determinação está descrito a seguir:

Determinação de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$: A alíquota de 10 mL de extrato + 10 mL de água destilada foram adicionados 2 mL de solução-tampão pH 10 (composta de hidróxido de amônio (NH_4OH), cloreto de amônio (NH_4Cl), sulfato de magnésio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), EDTA, cianeto de potássio (KCN) e trietanolamina), 2 gotas do indicador negro de eriocromo T e, em seguida, foi realizada a titulação com solução de EDTA 0,005 mol L⁻¹ até a mudança de coloração do indicador de vermelho-vinho para azul.

Determinação de Ca^{2+} : A outra alíquota de 10 mL de extrato + 10 mL de água destilada foram adicionados 2 mL de solução-coquetel de hidróxido de sódio (composta de hidróxido de sódio (NaOH), cianeto de potássio (KCN) e trietanolamina), 2 gotas do indicador calcon e, em seguida, foi realizada a titulação

com solução de EDTA 0,005 mol L⁻¹ até a mudança de coloração do indicador de vermelho-rosado para azul.

Determinação de Mg²⁺: Essa determinação é realizada de forma indireta por meio de cálculos, sendo que o resultado para Mg²⁺ é dado pela diferença entre o resultado obtido para Ca²⁺ + Mg²⁺ e o obtido para Ca²⁺, ou seja, [Mg²⁺] = [Ca²⁺ + Mg²⁺] – [Ca²⁺].

Já o alumínio trocável (Al³⁺) foi determinado por titulação ácido-base com NaOH 0,01 mol L⁻¹, utilizando azul de bromotimol como indicador. Para essa determinação foi utilizada a última alíquota de 10 mL de extrato pipetada com a adição de 10 mL de água destilada, então foram adicionadas 6 gotas do indicador azul de bromotimol e, em seguida, procedeu-se com a titulação com solução de NaOH 0,01 mol L⁻¹ até a mudança de coloração do indicador de amarelo para verde.

Assim, as técnicas aplicadas foram a titulometria complexométrica para a determinação de Ca²⁺ e Mg²⁺ e a titulometria ácido-base para a determinação Al³⁺. Alternativamente, estes cátions podem ser quantificados por espectrofotometria de absorção atômica (EMBRAPA, 2017 e IAC, 2001).

4.4 Determinação da capacidade de troca catiônica (CTC)

A capacidade de troca catiônica não é obtida por medição direta, mas calculada a partir dos resultados das análises de cátions trocáveis e acidez potencial. A CTC efetiva (*t*) corresponde à soma dos cátions básicos (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e Na⁺) mais o Al³⁺ trocável. Já a CTC a pH 7,0 (*T*) é calculada como a soma dos cátions básicos mais o valor da acidez potencial (H⁺+Al³⁺). A saturação por bases (V%) é expressa pela relação entre a soma de bases e a CTC total multiplicada por 100. Portanto, trata-se de um cálculo indireto, baseado em resultados previamente obtidos por titulometria e espectrofotometria (EMBRAPA, 2017).

4.5 Determinação da matéria orgânica (M.O.)

O teor de matéria orgânica foi determinado pelo método espectrofotométrico utilizando como extratora a solução sulfocrômica (mistura de dicromato de sódio – $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ com ácido sulfúrico – H_2SO_4). Para essa determinação foram medidos 1,5 cm³ de TFSE com o cachimbo coletor de solos, adicionaram-se 15 mL de solução sulfocrômica e a suspensão obtida foi para banho-maria com tampa a 74 °C por 30 minutos. Passado esse tempo, a suspensão foi deixada em repouso por 10 minutos para que esfriasse, em seguida foram adicionados 15 mL de água destilada e essa mistura foi levada para mesa agitadora orbital por 5 minutos a 220 rpm. Após a agitação a suspensão foi deixada em repouso por uma (1) noite (aproximadamente 16 horas) para decantação de toda a parte sólida. No dia seguinte foram pipetados 5 mL do extrato, tomando-se cuidado para pipetar apenas o líquido límpido sem a parte sólida, visto que a ausência de turbidez é um fator importante para a determinação correta da matéria orgânica pelo método espectrofotométrico. A esses 5 mL de extrato foram adicionados 5 mL de água destilada, em seguida foi realizada a agitação manual e imediatamente procedeu-se a leitura das amostras em espectrofotômetro UV-Vis a 650 nm. O método utilizado está baseado na colorimetria molecular, em que a absorção de luz por um composto colorido, que nesse caso é a cor verde do íon Cr(III) reduzido pelo carbono orgânico, está diretamente relacionada à concentração de matéria orgânica presente no solo (IAC, 2001).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A compreensão detalhada das características dos solos do Mato Grosso do Sul é essencial para avaliar sua compatibilidade com o cultivo florestal, especialmente do eucalipto. A região, especialmente na porção leste do estado — que inclui os municípios de Três Lagoas, Ribas do Rio Pardo e Brasilândia — apresenta solos majoritariamente classificados como Latossolos e Argissolos, desenvolvidos a partir de materiais da Formação Bauru. Sendo que estes são solos profundos, bem drenados, com textura predominantemente média a argilosa, mas que apresentam limitações químicas importantes para o cultivo intensivo de espécies exigentes como o eucalipto (SANTOS et al., 2018). Conforme ilustrado na Figura 1, observa-se a distribuição típica dos solos no Centro-Oeste, destacando a presença de Latossolos e Neossolos Quartzarénicos em áreas próximas a cursos d'água.

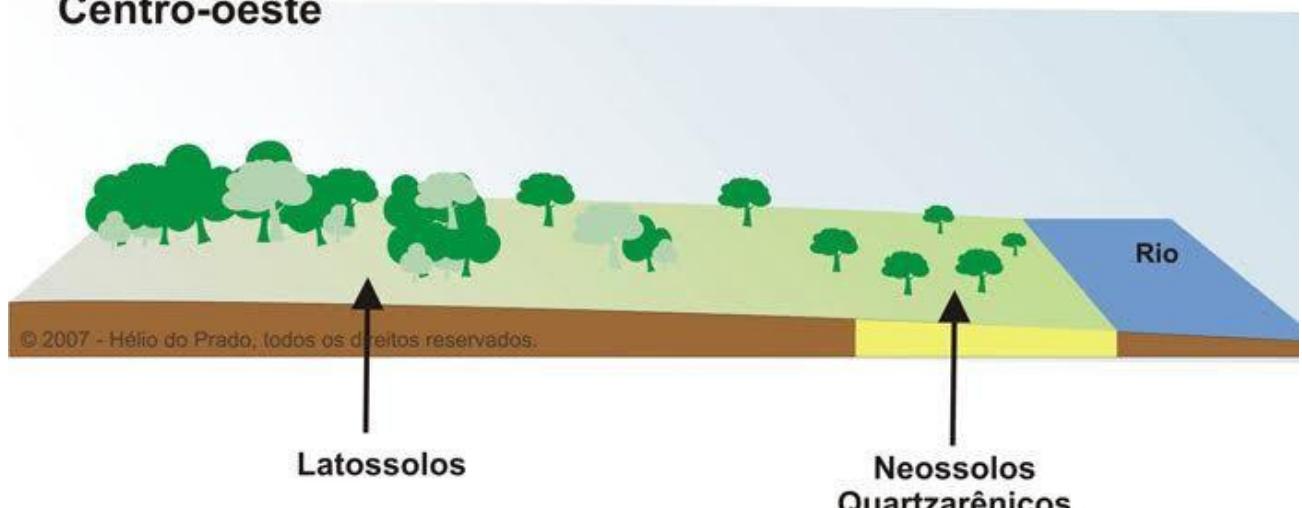
Do ponto de vista químico, os solos sul-mato-grossenses possuem pH ácido (entre 4,2 e 5,2), com alta saturação de alumínio (Al^{3+}) — que está entre 0,3 e 0,6, o que com base nos dados da Embrapa, já é considerado alto — e baixa saturação por bases (V%), além de baixa disponibilidade de fósforo (geralmente inferior a 6 mg/dm³). Essas condições são características de solos altamente intemperados, comuns em regiões tropicais, onde predominam minerais secundários como caulinita, goethita e gipsita (RESENDE et al., 2014). A acidez elevada e a presença de óxidos de ferro e alumínio favorecem a adsorção específica de íons fosfato, reduzindo sua disponibilidade para as plantas (NOVAIS et al., 2007).

Fisicamente, esses solos também apresentam baixa matéria orgânica (< 2%) e alta suscetibilidade à compactação, especialmente quando submetidos a preparo convencional com máquinas pesadas. A densidade aparente frequentemente ultrapassa 1,4 g/cm³ em áreas cultivadas, dificultando a penetração das raízes e a infiltração de água (REICHERT et al., 2007).

A Figura 1 apresenta o perfil típico de Latossolo do Mato Grosso do Sul. Os Latossolos são solos profundos, bem drenados e com uma boa estrutura para o desenvolvimento das raízes das plantas. Embora sejam solos com uma fertilidade natural relativamente baixa devido à lixiviação de nutrientes, especialmente em regiões tropicais, eles possuem grande potencial para o cultivo de eucalipto, desde que sejam adotadas práticas adequadas de manejo.

Figura 1 – Perfil típico de Latossolo do Mato Grosso do Sul

Centro-oeste



Fonte: PRADO, Hélio do. *Tipos de solos da região Centro-Oeste*.

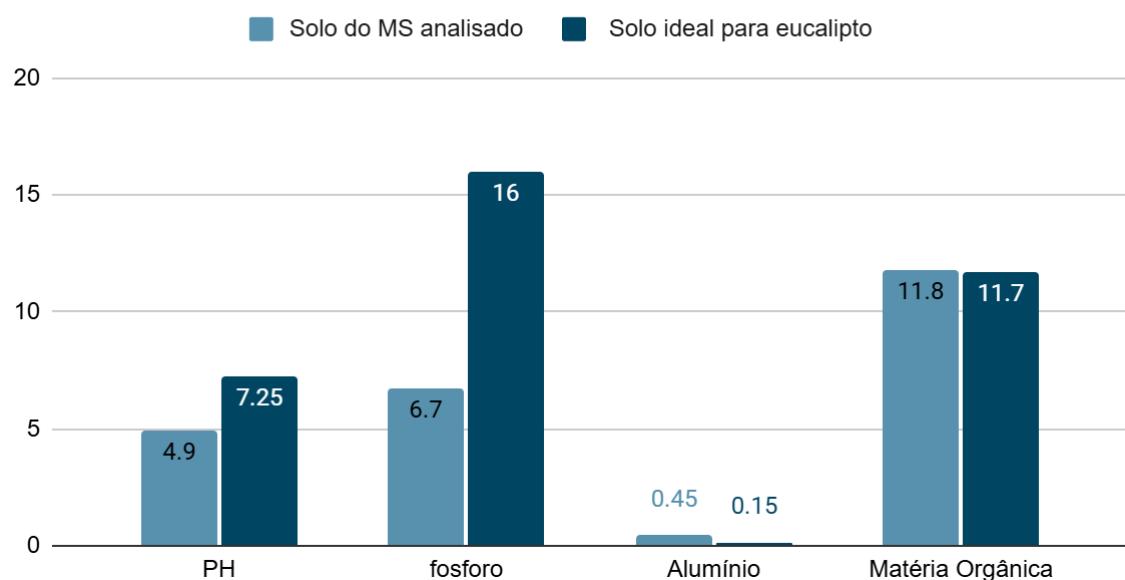
O eucalipto, uma espécie que se adapta a uma ampla variedade de solos, pode crescer bem em Latossolos, desde que haja a correção do pH e a adubação adequada para suprir as deficiências nutricionais que esses solos possam ter. O uso de técnicas como a adubação de base e o controle da acidez do solo são fundamentais para garantir a produtividade da plantação, já que o eucalipto demanda uma boa disponibilidade de nutrientes, especialmente nitrogênio, fósforo e potássio.

Além disso, os Latossolos têm a vantagem de serem solos que retêm bem a água, mas sem causar o encharcamento das raízes, o que é ideal para o eucalipto, que requer boa drenagem. A presença desses solos na região Centro-Oeste, em áreas mais altas e com cobertura vegetal predominante, como o cerrado, confere uma ótima perspectiva para o cultivo de eucalipto em Mato Grosso do Sul, especialmente se combinada ao manejo sustentável do solo, a escolha de variedades adequadas da espécie e a implementação de técnicas de conservação do solo. Portanto, para o cultivo de eucalipto no Centro-Oeste, os Latossolos se destacam como solos favoráveis, permitindo uma boa adaptação da planta, desde que as intervenções necessárias sejam feitas para garantir a fertilidade e o manejo adequado. Em contraste, os solos considerados ideais para o cultivo de eucalipto, segundo EMBRAPA (2020) e Ker et al. (2012), apresentam características físico-químicas bem distintas, sendo elas: pH entre 5,5 e 6,5, baixa saturação de alumínio, alta disponibilidade de fósforo ($>15 \text{ mg/dm}^3$) e capacidade de troca conforme

demonstrado no Gráfico 1. Os solos do Mato Grosso do Sul apresentam limitações em diversos parâmetros quando comparados ao solo ideal para o cultivo do eucalipto, essas propriedades favorecem o crescimento radicular profundo do eucalipto, maior aproveitamento de nutrientes e água, e permitem altas produtividades com menor exigência de correções químicas frequentes.

Gráfico 1 – Comparativo entre os parâmetros do solo sul-mato-grossense e solo ideal para eucalipto

Comparação de parâmetros do solo : MS vs Solo ideal para eucalipto



Fonte: Com base em dados do EMBRAPA (2006), FERNANDES (2013) e informações obtidas na literatura especializada.

A comparação entre os dois tipos de solo (ideal e o encontrado no Mato Grosso do Sul) é mostrada na tabela 2, sendo que a mesma mostra a média dos dados apresentados na tabela 1, que por sua vez traz os dados obtidos da realização das análises de amostras de solos diversas, no qual foram analisados vários parâmetros para tornar esses solos aptos ao cultivo eficiente de eucalipto. Sendo esta uma cultura florestal de alto desempenho, amplamente cultivada em regiões tropicais e subtropicais, que exige condições climáticas específicas para expressar seu máximo potencial produtivo. Embora seja uma espécie considerada rústica, o

seu crescimento acelerado, a elevada taxa fotossintética e a grande demanda hídrica e nutricional exigem solos com características físico-químicas favoráveis.

Tabela 1 – Solos analisados

Amostras	pH	P (mg/dm ³)	Al (cmolc/dm ³)	MO (g/kg)
A1	5,7	2,8	0,0	9,7
A2	5,3	1,6	0,5	7,0
A3	5,1	3,0	0,6	15,1
A4	5,7	2,3	0,0	12,1
A5	5,6	3,4	0,3	14,2
A6	5,3	1,8	0,5	13,8
A7	5,7	11,8	0,0	13,3
A8	5,9	1,5	0,0	11,2
A9	5,7	1,1	0,0	10,3

A1 a A6: Município Brasilândia; A7 a A9: Município Três Lagoas

Tabela 2 – Comparação entre atributos físico-químicos dos solos do Mato Grosso do Sul e os considerados ideais para o cultivo de eucalipto

Propriedade	Solos do MS analisados	Solo ideal para cultivo de eucalipto
pH	5,1-5,9	6,5-8,0
P (mg/dm ³)	1,6-11,8	15,0-17,0
Al (cmolc/dm ³)	0,0-0,6	0,0-0,3
MO (g/kg)	9,7-13,8	9,5-13,9

Fontes: EMBRAPA. *Zoneamento edafoclimático para Eucalyptus spp.* Colombo: Embrapa Florestas, 2020.

Entre as principais exigências, destaca-se o pH entre 5,1 a 5,9 , faixa na qual os nutrientes essenciais estão mais disponíveis, e o alumínio tóxico (Al^{3+}) se encontra em concentrações reduzidas. Solos fora desse intervalo de pH apresentam alta adsorção de fósforo, prejudicando a absorção desse nutriente considerado vital para o desenvolvimento radicular e a formação de biomassa. A saturação por bases elevada (acima de 50%) também é importante, pois indica presença suficiente de cálcio, magnésio e potássio em formas assimiláveis. Além disso, solos com alta capacidade de troca catiônica (CTC ≥ 10 cmolc/kg) são capazes de reter e fornecer nutrientes ao longo do tempo, evitando perdas por lixiviação e reduzindo a frequência de adubações corretivas. A presença de matéria orgânica em níveis adequados

(≥3%) contribui para o aumento da CTC, melhora a estrutura do solo, estimula a microbiota benéfica e favorece o ciclo de nutrientes, proporcionando um ambiente radicular mais saudável.

Do ponto de vista físico, o solo ideal deve ser profundo, bem drenado, com textura média a argilosa e boa agregação estrutural. Essas condições garantem boa retenção de água sem causar encharcamento, além de permitir a penetração profunda das raízes — uma característica marcante do eucalipto, que explora grandes volumes de solo em busca de água e nutrientes. A baixa densidade aparente (entre 1,1 e 1,3 g/cm³) também é essencial para garantir porosidade adequada, facilitando a aeração e o crescimento radicular.

Portanto, o solo ideal para o cultivo de eucalipto deve reunir condições químicas equilibradas e estrutura física estável, permitindo que a planta expresse seu alto potencial genético, minimize estresses ambientais e maximize o rendimento florestal. Tais condições não apenas garantem produtividade, mas também reduzem o impacto ambiental do cultivo intensivo, uma vez que diminuem a necessidade de correções frequentes e o uso excessivo de insumos químicos.

Correções como calagem para elevar o pH, adubação fosfatada com fontes solúveis, aumento da matéria orgânica via cobertura vegetal e controle de compactação com preparo mínimo do solo são essenciais.

Para garantir o bom desempenho do eucalipto em Latossolos, é essencial a adoção de práticas de manejo que corrijam as limitações naturais desses solos e promovam um ambiente adequado ao desenvolvimento da cultura. A calagem profunda é uma das principais estratégias, sendo utilizada para neutralizar a acidez e reduzir o teor de alumínio trocável, elevando o pH do solo para a faixa ideal, o que favorece a absorção de nutrientes pelas raízes. Em seguida, a adubação fosfatada torna-se necessária devido à baixa disponibilidade natural de fósforo nos Latossolos, elemento essencial para o crescimento das plantas, especialmente em estágios iniciais.

Outra prática importante é a gessagem, técnica de aplicar gesso, indicada principalmente quando há deficiência de cálcio e magnésio em camadas mais profundas do solo, contribuindo para o aumento da saturação por bases e para o

desenvolvimento radicular em profundidade. A incorporação de matéria orgânica, por meio de adubação verde ou compostagem, também é recomendada para melhorar a fertilidade e a estrutura do solo, promovendo maior atividade biológica e retenção de nutrientes. Além disso, o manejo conservacionista do solo, como a redução do tráfego de máquinas e o uso de cobertura vegetal, auxilia na diminuição da compactação, mantendo a densidade aparente dentro dos limites ideais e facilitando a penetração das raízes.

Essas práticas, quando integradas de forma planejada, elevam a qualidade do ambiente edáfico, tornando os Latossolos altamente produtivos e compatíveis com o cultivo de eucalipto em regiões como o Mato Grosso do Sul, onde esses solos são amplamente predominantes. Dessa forma, a combinação dos dados teóricos e práticos aponta que os solos do Mato Grosso do Sul, apesar das limitações naturais, podem ser manejados para oferecer condições adequadas ao cultivo tecnificado do eucalipto, garantindo produtividade sustentável e menor impacto ambiental.

5.1. Química Verde

O presente trabalho aborda a sustentabilidade por meio da comparação das propriedades físicas e químicas de solos sul-mato-grossenses em seu estado natural e em áreas de plantação de eucaliptos. Esta análise visa compreender como o uso intensivo da terra afeta a fertilidade do solo, o equilíbrio químico e, crucialmente, a conservação ambiental. Mais do que uma simples investigação laboratorial, o estudo estabelece um diálogo direto com os princípios da química verde (Anastas e Warner, 1998). Tais princípios servem como diretrizes para orientar a ciência química a ser mais limpa e intrinsecamente comprometida com a proteção do meio ambiente.

No que se refere à prevenção, este trabalho contribui ao identificar possíveis impactos do cultivo de eucalipto sobre o solo, oferecendo subsídios para práticas de manejo que evitem a sua degradação. A economia de reagentes e a síntese de produtos menos perigosos não se aplicam diretamente ao escopo, já que não há produção de compostos químicos, mas a pesquisa minimiza desperdícios ao utilizar quantidades otimizadas de amostras e reagentes. O princípio de projetar produtos

químicos mais seguros também não é diretamente aplicável, embora os reagentes utilizados sejam empregados em condições controladas, reduzindo riscos.

Quanto ao uso de solventes e auxiliares mais seguros, o estudo contempla parcialmente esse princípio, pois os métodos analíticos recorrem a substâncias em pequena escala, reduzindo a geração de resíduos, ainda que não eliminem totalmente impactos ambientais. A eficiência energética também é considerada, uma vez que os procedimentos não exigem grande consumo de energia e o objetivo final é propor alternativas de manejo agrícola menos intensivas. Já o uso de matérias-primas renováveis aparece de forma indireta, uma vez que o solo e o cultivo de eucalipto podem ser manejados de forma sustentável, ainda que na prática essa renovabilidade dependa de políticas adequadas de conservação.

O princípio da redução de derivados não é aplicável, pois não há modificação estrutural de moléculas, mas a catálise é contemplada de forma indireta, considerando-se que alguns processos analisados no laboratório envolvem mecanismos catalíticos, como a decomposição de peróxido de hidrogênio na presença de metais, que contribuem para compreender a dinâmica química do solo. A degradação planejada, por sua vez, se relaciona ao trabalho na medida em que este analisa a disponibilidade e a transformação da matéria orgânica, que é muito importante para a manutenção da fertilidade e para o equilíbrio dos nutrientes.

Outro ponto importante é o princípio da análise em tempo real para prevenção da poluição, atendido parcialmente pelo estudo ao identificar condições de acidez, níveis de nutrientes e desequilíbrios químicos que podem funcionar como indicadores de risco ambiental. Finalmente, o princípio da química intrinsecamente mais segura para prevenção de acidentes é cumprido, já que as análises foram realizadas com técnicas clássicas de laboratório em ambiente controlado, garantindo condições seguras tanto para o pesquisador quanto para a destinação final dos resíduos.

Assim, pode-se afirmar que o trabalho atende ou se aproxima de sete dos doze princípios da Química Verde, especificamente aqueles relacionados à prevenção, economia de recursos, segurança, eficiência energética, uso responsável de reagentes, processos catalíticos e monitoramento ambiental. Os demais não se aplicam diretamente ao estudo, mas fornecem uma base conceitual

para possíveis aprimoramentos em futuras pesquisas, como o desenvolvimento de metodologias de análise ainda mais limpas e o uso de reagentes alternativos. Nesse sentido, a reflexão sobre a Química Verde evidencia que, mesmo em uma pesquisa voltada para análises de solos, é possível alinhar ciência, sustentabilidade e responsabilidade ambiental, contribuindo não apenas para a produção florestal, mas também para a conservação dos recursos naturais, em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente o ODS 15, que trata do uso sustentável dos ecossistemas terrestres.

6. CONCLUSÕES

Dessa maneira o estado de Mato Grosso do Sul tem se consolidado como uma das principais regiões do Brasil para o desenvolvimento do setor florestal e à instalação de indústrias ligadas à cadeia produtiva da celulose e papel. Essa escolha estratégica por parte das empresas está relacionada a um conjunto de fatores ambientais, logísticos, políticos e econômicos que tornam o estado atrativo mesmo diante de desafios naturais, tais como as limitações dos solos, sendo elas: pH no intervalo 4,2 a 5,6, que é classificado como solo ácido, sendo que o ideal para o eucalipto é alcalino, teor de alumínio entre 0,3 a 0,6, que pela literatura da Embrapa já é considerado moderado para alto e baixa concentração de fósforo. Todos esses parâmetros, se comparados aos ideais para o plantio de eucalipto, não seriam compatíveis com o seu cultivo.

No entanto, o setor florestal investiu fortemente em tecnologias de correção e manejo do solo. Dentre essas correções está a calagem, onde é utilizado o calcário, um produto de baixo custo que está presente em abundância nos municípios de Bodoquena e Bonito e é um corretor da acidez do solo fornecendo, ainda, cálcio e magnésio. Outro tipo de correção utilizada é a adubação com compostos fosfatados, que serve para corrigir a deficiência em fósforo apresentada pelos solos do Mato Grosso do Sul. O uso de insumos modernos, viabiliza a implantação de florestas comerciais altamente produtivas mesmo em áreas originalmente pouco aptas. Além disso, o estado possui clima favorável, com estação seca bem definida, alta incidência solar e temperaturas médias ideais para o crescimento rápido do eucalipto. Essa combinação de fatores, mesmo em solos inicialmente pobres, permite ciclos de colheita mais curtos e produtividade competitiva, o que reduz os custos operacionais e amplia a viabilidade econômica dos projetos.

O posicionamento logístico estratégico do Mato Grosso do Sul também está sendo decisivo para a implantação das plantações de eucalipto e das indústrias de papel e celulose, visto que o estado está interligado por rodovias e ferrovias importantes, como a BR-163 e a Malha Oeste, além de estar próximo a portos hidroviários e marítimos, o que facilita o escoamento da produção para os mercados interno e externo. No aspecto institucional, o Governo Estadual oferece incentivos fiscais, linhas de crédito e infraestrutura, além de manter diálogo constante com o setor produtivo, por meio de programas de desenvolvimento industrial. Isso tem

atraído grandes empresas, como Suzano, Eldorado Brasil e Arauco, que encontraram no estado condições favoráveis para projetos de longo prazo.

Embora o solo do Mato Grosso do Sul não apresente, em sua condição natural, alta compatibilidade com o cultivo do eucalipto, a conjugação de tecnologia agrícola avançada, estratégias empresariais sólidas e apoio institucional permitiu a superação dessas limitações. O resultado é a consolidação do estado como um dos principais polos florestais do país, demonstrando como a inovação e planejamento estratégico podem transformar desafios em oportunidades.

7. REFERÊNCIAS

- ANASTAS, P. T.; WARNER, J. C. *Green Chemistry: Theory and Practice*. New York: Oxford University Press, 1998.
- EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo*. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017.
- EMBRAPA. *Zoneamento edafoclimático para Eucalyptus spp*. Colombo: Embrapa Florestas, 2020.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- FERNANDES, L. A. *Manejo e conservação do solo no cultivo de espécies florestais*. 2. ed. Curitiba: UFPR, 2013. 198 p.
- IAC. Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais. Campinas, SP. Instituto Agronômico de Campinas (IAC), 2001.
- IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. *Relatório anual 2023*. Brasília, DF: IBÁ, 2023.
- KER, J. C. et al. *Classificação, caracterização e manejo dos solos*. 2. ed. Viçosa, MG: SBCS, 2012.
- MEURER, E. J. *Fundamentos de química do solo*. 6. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2012.
- NOVAIS, R. F. et al. *Fertilidade do solo*. Viçosa, MG: SBCS, 2007.
- REICHERT, J. M. et al. Diagnóstico da compactação do solo em sistemas agrícolas. *Revista Plantio Direto*, n. 100, p. 22-28, 2007.
- RESENDE, M. et al. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. 6. ed. Lavras: UFLA, 2014.
- SANTOS, H. G. dos et al. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.