

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - *CAMPUS* SÃO JOÃO EVANGESLISTA
BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

Calebe Ribeiro Salema

Lucas Rocha Ferreira

**INOVAÇÃO NO MANEJO DE PASTAGENS EM PIQUETES: uma proposta de
software para adubação e calagem**

São João Evangelista

2026

CALEBE RIBEIRO SALEMA
LUCAS ROCHA FERREIRA

**INOVAÇÃO NO MANEJO DE PASTAGENS EM PIQUETES: uma proposta de
software para adubação e calagem**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus* São João Evangelista para a obtenção do título de Bacharel em Sistemas de Informação.

Orientador: Profa. Dra. Geovália Oliveira Coelho

Coorientador: Prof. Dr. Adéliton da Fonseca de Oliveira

São João Evangelista

2026

Calebe Ribeiro Salema

Lucas Rocha Ferreira

INOVAÇÃO NO MANEJO DE PASTAGENS EM PIQUETES: uma proposta de
software para adubação e calagem

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus* São João Evangelista para a obtenção do título de Bacharel em Sistemas de Informação.

Aprovado em: 09/02/2026 pela banca examinadora:

Profa. Dra. Geovália Oliveira Coelho - IFMG (Orientador)

Prof. Dr. Adéliton da Fonseca de Oliveira - IFMG (Coorientador)



Documento assinado digitalmente

FABIO RODRIGUES MARTINS

Data: 02/03/2026 10:44:34-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Fábio Rodrigues Martins - IFNMG

S163i Salema, Calebe Ribeiro.
Inovação no manejo de pastagens em piquetes: uma proposta de software para adubação e calagem/ Calebe Ribeiro Salema, Lucas Rocha Ferreira– 2026.
61f.: il.

Orientador: Dra. Geovália Oliveira Coelho.
Coorientador: Dr. Adéliton da Fonseca de Oliveira.
Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado em Sistemas de Informação) – Instituto Federal Minas Gerais. *Campus* São João Evangelista, 2026.

1. Adubação. 2. Calagem. 3. Python. 4. MySQL. I. Salema, Calebe Ribeiro. II. Ferreira, Lucas Rocha. III. Instituto Federal de Minas Gerais *Campus* SJE. IV. Título.

CDD 005.1

Catálogo: Esther Soares Cunha - CRB-6/4333

Dedico este trabalho à minha família, que sempre foi meu alicerce, oferecendo amor, apoio e paciência em cada etapa desta caminhada. Aos meus amigos, pela amizade verdadeira, pelas palavras de incentivo e pelos momentos de alegria que tornaram o percurso mais leve.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, pela fé que me sustentou, pela força concedida nos momentos de dificuldade e pela inspiração constante que iluminou meu caminho durante toda esta jornada acadêmica. Sem Sua presença, este trabalho não teria se concretizado.

À minha família, expresso minha eterna gratidão pelo apoio incondicional, pela paciência e pela confiança depositada em mim. Vocês foram meu alicerce e minha motivação para seguir em frente, mesmo diante dos maiores desafios.

Aos meus amigos, agradeço pela amizade sincera, pelo incentivo e pela compreensão nos momentos em que precisei me dedicar intensamente a este estudo. Cada palavra de apoio e cada gesto de carinho foram fundamentais para tornar esta caminhada mais leve.

Aos professores, registro minha profunda admiração e gratidão pela dedicação, competência e generosidade com que compartilharam seus conhecimentos e experiências. Cada orientação recebida contribuiu não apenas para a realização deste trabalho, mas também para meu crescimento intelectual e pessoal.

Por fim, agradeço a todos que, de forma direta ou indireta, colaboraram para a concretização deste estudo. Este trabalho é fruto da união de esforços, da confiança e do incentivo de cada pessoa que esteve presente nesta trajetória.

“Nenhum vento é favorável para quem não sabe aonde vai.”

Sêneca

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver uma aplicação *web* voltada à recomendação de adubação e calagem em piquetes rotativos, por meio de um sistema de suporte à decisão. A proposta busca contribuir para o gerenciamento de pequenas propriedades agrícolas, oferecendo maior precisão e eficiência no manejo do solo. Para o desenvolvimento da aplicação, foram utilizadas tecnologias consolidadas de *software*, como a linguagem de programação *Python*, o *framework Django* e o Sistema Gerenciador de Banco de Dados MySQL, responsáveis pela estruturação e gerenciamento dos dados. O sistema considera informações provenientes da análise de solo, processando-as para realizar cálculos específicos e, a partir deles, gerar recomendações personalizadas ao usuário. Os resultados evidenciam o potencial da solução como ferramenta de apoio à tomada de decisão, promovendo práticas agrícolas mais sustentáveis e otimizadas.

Palavras-chave: Adubação. Calagem. *Python*. MySQL.

ABSTRACT

The present academic work had as an objective developing a web application centered around the recommendation of fertilization and liming in rotational grazing paddocks, by the means of a decision supporting system. The proposal seeks to contribute to the management of small agricultural properties, offering more precision and efficiency in soil management. For the development of the application, consolidated software technology were used, such as the programming language Python, the framework Django and the MySQL Database Management System, responsible for the structuring and management of data. The system considers data originating from the soil analyses, processing it to perform specific calculations and, based on them, generate personalized recommendations for the user. The results highlight the solution's potential as a tool to support decision-making, promoting more sustainable and optimized agricultural practices.

Keywords: Fertilization. Liming. Python, MySQL.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Diagrama de Caso de Uso	50
Figura 2 - Tela de Login	51
Figura 3 - Tela Inicial	52
Figura 4 - Meus Terrenos.	52
Figura 5 - Novo Terreno.....	53
Figura 6 - Análises de Solo do Terreno.	53
Figura 7 - Nova Análise	54
Figura 8 - Amostra de Solo da Superfície (0cm - 20cm).....	54
Figura 9 - Amostra de Solo da Subsuperfície (20cm - 40cm)	55
Figura 10 - Recomendação.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação química do pH do solo	22
Tabela 2 – Classificação agrônômica do pH do solo.....	22
Tabela 3 – Recomendações de adubação e calagem para piquetes rotativos	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AJAX - *Asynchronous JavaScript and XML*

ATP - Trifosfato de Adenosina

Ca - Cálcio

CSS - *Cascading Style Sheets*

CTC - Cátions

DRY - *Don't Repeat Yourself*

FNR - Fosfato natural reativo

H - Hidrogênio

HTML - *HyperText Markup Language*

IFMG - Instituto Federal de Minas Gerais

IoT - *Internet das Coisas*

ITP - Índice Tampão de Fósforo

K - Potássio

Mg - Magnésio

MO - Matéria Orgânica

MS - Matéria Seca

MTV - *Model-Template-View*

N - Nitrogênio

P - Fósforo

pH - Potencial Hidrogeniônico

RDBMS - *Relational Database Management System*

SGBDR - Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados Relacional

SQL - *Structured Query Language*

SSP - Superfosfato simples

TSP - Superfosfato triplo

UFRB - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

UML - *Unified Modeling Language*

UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

XML - *Extensible Markup Language*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos	15
1.1.1	<i>Objetivo geral</i>	16
1.1.2	<i>Objetivos específicos</i>	16
1.2	Justificativa	16
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO	18
2.1	Manejo Sustentável de Pastagens em Piquetes	18
2.2	Importância da Adubação em Pastagens	19
2.3	Análise de Solo	20
2.3.1	<i>Crêterios de Interpretaçaõ das Análises de Solos</i>	21
2.3.2	<i>Acidez do solo e implicações na fertilidade</i>	22
2.3.3	<i>Interpretaçaõ e recomendaçaõ de fósforo, enxofre e micronutrientes</i>	23
2.4	Calagem	24
2.5	Adubação Fosfatada	26
2.6	Adubação Nitrogenada	27
2.7	Adubação Potássica	28
2.8	Micronutrientes e Enxofre	28
2.8.1	<i>Enxofre (S)</i>	29
2.8.2	<i>Micronutrientes</i>	29
2.9	Adubação e Calagem como Práticas de Reposição Nutricional	30
2.10	Inovação Tecnológica no Agronegócio: Agricultura Digital	31
2.11	Integração da Tomada de Decisão Agronômica via <i>Software</i>	32
2.12	Ferramentas Tecnológicas Utilizadas	33
2.12.1	<i>Python</i>	33
2.12.2	<i>Django</i>	34
2.12.3	<i>MySQL</i>	35
2.12.4	<i>CSS (Cascading Style Sheets)</i>	35
2.12.5	<i>HTML (HyperText Markup Language)</i>	36

2.12.6	<i>JavaScript</i>	37
2.13	Trabalhos Correlatos	37
3	METODOLOGIA	40
3.1	Caracterização da Pesquisa	40
3.2	Técnicas de Coleta de Dados	40
3.3	Resultados e Discussão – Análise Comparativa (Campo x Academia)	40
3.4	Métodos e Procedimentos	43
4	RESULTADOS	47
4.1	Levantamento de Requisitos	47
4.1.1	<i>Requisitos Funcionais</i>	47
4.1.2	<i>Requisitos Não Funcionais</i>	48
4.2	Perfis de Usuário	49
4.3	Sistema Desenvolvido	49
5	CONCLUSÃO	55
	REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

As pastagens agrícolas representam a base da alimentação de diversas espécies de animais de produção, incluindo bovinos, ovinos, caprinos e equinos. Segundo CARNEVALLI, R. A. 2014, essas pastagens são compostas principalmente por plantas forrageiras dos grupos das gramíneas e leguminosas, que desempenham funções complementares tanto na nutrição animal quanto na melhoria das características do solo. As gramíneas, como capim, aveia e azevém, caracterizam-se pelo maior teor de carboidratos, enquanto as leguminosas, como alfafa e amendoim forrageiro, apresentam maior concentração de proteínas e contribuem para a melhoria da qualidade do solo (ALVES; REIS; NETO, 2015).

Além de atender às necessidades nutricionais dos rebanhos, as pastagens agrícolas também desempenham funções ambientais fundamentais, como a conservação do solo, a fixação de carbono, a manutenção da biodiversidade e a regulação do microclima. No contexto brasileiro, as pastagens têm papel estratégico para a sustentabilidade da pecuária e para a segurança alimentar de milhares de produtores rurais (AGRO, 2023b).

Para assegurar a longevidade e produtividade das áreas forrageiras, o manejo adequado das pastagens torna-se indispensável. De acordo com a EMBRAPA 2020b, manejo de pastagens é um conjunto de práticas agronômicas e zootécnicas¹ que envolvem o planejamento do pastejo, o controle da taxa de lotação, o tempo de descanso das áreas forrageiras e a reposição de nutrientes por meio da adubação e da calagem. Entre os métodos mais eficazes destaca-se o sistema de piquetes rotativos, que consiste na divisão da propriedade em áreas menores utilizadas em rodízio pelos animais. Essa prática favorece a recuperação da vegetação entre os períodos de pastejo, melhora o aproveitamento dos nutrientes presentes no solo, reduz o desgaste físico das plantas forrageiras e contribui para a estabilidade ecológica e econômica do sistema produtivo (EMBRAPA, 2020a; REHAGRO, 2024).

Entretanto, a ausência de manejo técnico ou a adoção de práticas inadequadas pode acarretar uma série de prejuízos à pastagem e ao solo, comprometendo gravemente o desempenho produtivo da propriedade rural. O pastejo contínuo, a superlotação animal, a compactação do solo e a ausência de rotação entre as áreas de pastagem resultam na degradação da cobertura vegetal, no aumento da erosão, na perda de matéria orgânica e na redução da capacidade de retenção de

¹ Zootécnica refere-se ao conjunto de técnicas aplicadas à criação, alimentação, reprodução e manejo de animais domésticos com fins produtivos. Engloba aspectos como bem-estar, rendimento e eficiência zootécnica dentro dos sistemas agropecuários.

água e nutrientes (DIAS-FILHO, 2017; AGRO, 2023a). Esses fatores não apenas afetam negativamente a produtividade das culturas forrageiras, como também elevam os custos de manutenção da área e dificultam a recuperação dos ecossistemas impactados.

Diante dos desafios enfrentados na produção agropecuária, especialmente pelos pequenos produtores rurais, torna-se essencial a adoção de práticas inovadoras que promovam maior eficiência e sustentabilidade no manejo das pastagens. Este trabalho propõe o desenvolvimento de um *software* voltado para a adubação e calagem em piquetes, com o objetivo de democratizar o acesso a ferramentas tecnológicas e facilitar a tomada de decisões no campo. A proposta busca, sobretudo, atingir o pequeno produtor, oferecendo suporte técnico acessível e promovendo a conscientização sobre a importância da análise de solo como base para um manejo racional e produtivo. A análise do solo é uma prática fundamental para avaliar a fertilidade, identificar deficiências nutricionais e orientar a aplicação correta de insumos, contribuindo diretamente para o aumento da produtividade e a preservação dos recursos naturais (SYNGENTA, 2023; IAGRO, 2022).

Com o objetivo de oferecer soluções técnicas para esses desafios, este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema inteligente, baseado em plataforma *web*, voltado à gestão estratégica do manejo de pastagens. A proposta consiste na integração de dados provenientes de análises químicas do solo com algoritmos de recomendação técnica, que indicarão práticas otimizadas de calagem e adubação específicas para cada área piqueteada. Essa abordagem visa automatizar parte do processo decisório do produtor rural, contribuindo para o uso racional dos insumos agrícolas e promovendo maior assertividade na aplicação de corretivos e fertilizantes (HERLING VALDO RODRIGUES LUZ, 2022; PAULO, 2021). A iniciativa está alinhada com os princípios da agricultura digital, que busca tornar as atividades agropecuárias mais eficientes, produtivas e ambientalmente sustentáveis.

Com a utilização do software, espera-se uma melhoria significativa na qualidade da forragem produzida, aumento da produtividade dos rebanhos, redução do desperdício de insumos e mitigação dos impactos ambientais associados ao uso excessivo de fertilizantes. Espera-se ainda que a proposta contribua para a modernização da pecuária por meio da incorporação de tecnologias digitais, ampliando o acesso dos produtores rurais a ferramentas de apoio à decisão técnica (SCICROP, 2025). Com isso, acredita-se que o sistema contribuirá não apenas para o aumento da rentabilidade das propriedades, mas também para a consolidação de práticas agropecuárias mais conscientes, eficientes e sustentáveis.

1.1 Objetivos

1.1.1 *Objetivo geral*

O objetivo geral do trabalho é desenvolver um sistema *web* para recomendação de calagem e adubação em pastagens agrícolas aplicado em piquetes rotativos.

1.1.2 *Objetivos específicos*

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Realizar diagnóstico do solo (conforme dados tabelados);
- Quantificar calagem e adubação;
- Implementar em ambiente computacional a metodologia proposta;
- Testar o sistema com dados laboratoriais existentes e avaliar seu desempenho;
- Levantar critérios técnicos para recomendação em piquetes;
- Armazenar informações no banco de dados para futuras comparações.

1.2 **Justificativa**

A agropecuária brasileira tem avançado significativamente, porém muitos produtores ainda enfrentam desafios relacionados à má gestão das pastagens, o que acarreta tanto prejuízos econômicos quanto impactos ambientais expressivos. A utilização ineficiente do solo, associada à escassa adoção de práticas baseadas em dados, resulta na deterioração progressiva das áreas forrageiras, comprometendo a produtividade animal e o equilíbrio do ecossistema (DIAS-FILHO, 2017). Diante desse cenário, torna-se imperativo desenvolver soluções inovadoras que integrem conhecimentos agrônômicos a tecnologias digitais, a fim de promover um manejo mais eficiente e sustentável.

Nesse contexto, a implementação de sistemas inteligentes e automatizados apresentasse como uma estratégia promissora para reverter esse quadro. Ferramentas que incorporem análises químicas do solo e algoritmos de recomendação podem oferecer aos produtores dados precisos para a tomada de decisão, permitindo a dosagem correta de insumos, a prática de calagem e adubação adequadas, bem como, a adoção de métodos como o piquete rotativo. Tal abordagem não só reduz incertezas como também contribui para a otimização dos recursos, ampliando a eficiência produtiva e minimizando os impactos ambientais (SCICROP, 2025).

Além dos benefícios técnicos e econômicos, a proposta deste trabalho tem forte relevância social. Ao proporcionar acesso facilitado a ferramentas de agrupamento de dados e monitoramento, a solução tecnológica pode democratizar a agricultura de precisão, beneficiando especialmente pequenos e médios produtores que enfrentam dificuldades para incorporar inovações no dia a dia. Assim, promove-se um ambiente mais equitativo no meio rural, onde o conhecimento técnico e a inovação passam a ser aliados fundamentais para a sustentabilidade da produção (PAULO, 2021).

Ao promover o uso racional de insumos e práticas agronômicas baseadas em dados, o sistema proposto contribui diretamente para o aumento da produtividade do sistema como um todo. A dosagem correta de calcário e fertilizantes, aliada ao manejo rotativo dos piquetes, favorece o crescimento uniforme das forrageiras, melhora a taxa de lotação e reduz os períodos de escassez alimentar, impactando positivamente o desempenho animal e a rentabilidade da propriedade (CRUZ; LIMA; SALMAN, 2017).

Outro aspecto relevante é o incentivo ao produtor rural para conhecer melhor o seu solo. A análise química do solo é uma ferramenta essencial para identificar deficiências nutricionais e orientar intervenções específicas, evitando desperdícios e promovendo o uso eficiente dos recursos naturais (SYNGENTA, 2023; IAGRO, 2022). Ao incorporar essa prática ao cotidiano do produtor por meio de uma interface digital intuitiva, o projeto estimula a tomada de decisão consciente e técnica.

Pensando na realidade do campo, o *software* proposto será desenvolvido com foco na facilidade de uso, adotando uma abordagem minimalista e funcional. A interface será simplificada, com linguagem acessível e recursos visuais que permitam ao produtor navegar com autonomia, mesmo sem familiaridade com tecnologias avançadas. Essa característica é fundamental para garantir a inclusão digital, especialmente entre pequenos e médios produtores, que muitas vezes enfrentam barreiras de acesso à informação (BRASIL, 2018; EMBRAPA, 2024).

Em síntese, a necessidade de integrar ciência agronômica e tecnologias digitais reside na urgência de enfrentar os problemas decorrentes do manejo inadequado das pastagens. Ao conectar inovação, precisão na gestão e sustentabilidade, o desenvolvimento de um sistema automatizado de recomendação para práticas de calagem e adubação torna-se uma ferramenta estratégica para garantir não só a continuidade da produtividade agropecuária, mas também a preservação dos recursos naturais e a promoção de um desenvolvimento rural mais responsável e sustentável.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta o referencial teórico utilizado nesse trabalho, visando oferecer um embasamento teórico sólido que sustente a criação da solução tecnológica do mesmo. O referencial apresenta os principais conceitos sobre o manejo sustentável de pastagens em piquetes, adubação e calagem como práticas de reposição nutricional, discute sobre a agricultura digital e integração da tomada de decisão agrônômica via utilização de *software*. Além disso, aborda conceitos sobre as principais tecnologias utilizadas no desenvolvimento deste trabalho.

2.1 Manejo Sustentável de Pastagens em Piquetes

O manejo de pastagens em piquetes, também denominada pastejo rotacionado, é uma técnica de manejo de pastagens em que a área de pastejo é dividida em piquetes (pequenos espaços) e os animais são movidos periodicamente entre eles (SILVA J. G. DA COSTA, 2004). Essa prática busca otimizar o aproveitamento da forragem, conservar a fertilidade dos solos e promover a sustentabilidade dos sistemas de produção animal. Além disso, essa estratégia é reconhecida por favorecer a longevidade das áreas forrageiras e a estabilidade ecológica das propriedades rurais. Segundo CARNEVALLI (2012), o sistema de pastejo rotacionado, permite maior controle sobre a dinâmica de pastejo, favorecendo a recuperação das plantas forrageiras entre os ciclos, o equilíbrio ambiental e o aumento da eficiência produtiva.

Segundo CARNEVALLI, ROBERTA APARECIDA 2012, o sistema de pastejo rotacionado favorece significativamente o desempenho zootécnico dos animais, ao proporcionar ganhos de peso, reduzir a pressão sobre o solo e promover melhorias na qualidade nutricional da forragem. Além disso, essa estratégia contribui para o controle mais eficiente de pragas e doenças, ao permitir maior equilíbrio entre vegetação e carga animal. A divisão da área em piquetes, associada à alternância do uso com base em critérios fisiológicos da planta, como a interceptação luminosa de aproximadamente 95%, possibilita a utilização da forragem em seu ponto ideal. Essa prática evita o acúmulo de biomassa senescente, como colmos² e folhas mortas, que comprometeriam a produtividade do pasto e o valor nutritivo da dieta dos animais (CARNEVALLI ROBERTA APARECIDA SILVA, 2001; POMPEU ROBERTO C. F. FONTINELE, 2018).

² Colmos é a haste de gramíneas, como por exemplo a parte da haste do trigo que fica nos campos depois da colheita (AGRO20, 2025)

2.2 Importância da Adubação em Pastagens

A adubação de pastagens representa um dos principais fatores para a sustentabilidade e a produtividade dos sistemas pecuários brasileiros. Em regiões tropicais, como o Brasil, os solos apresentam naturalmente baixa fertilidade, elevada acidez e deficiência de nutrientes essenciais, especialmente de fósforo, cálcio e magnésio. Nesse contexto, a reposição de nutrientes por meio da adubação e da calagem torna-se indispensável para manter a capacidade produtiva das forrageiras e evitar a degradação das áreas de pastagem. Segundo a Embrapa; Gado de Corte, a ausência de práticas adequadas de correção e adubação é uma das principais causas da degradação das pastagens no país, resultando em queda da produtividade, compactação do solo, erosão e redução da capacidade de suporte animal (EMBRAPA, 2016).

Do ponto de vista zootécnico, a adubação exerce impacto direto sobre a produção animal. Pastagens bem nutridas apresentam maior acúmulo de biomassa, melhor qualidade nutricional e maior teor de proteína bruta, o que se reflete em ganhos de peso mais acelerados e maior eficiência alimentar. Além disso, a correção da fertilidade do solo permite que os animais atinjam o peso de abate em menor tempo, aumentando a eficiência do sistema de produção. Estudos conduzidos pela Embrapa demonstram que áreas adubadas podem sustentar até, três vezes, mais animais por hectare em comparação com áreas não adubadas, evidenciando o papel estratégico da adubação na intensificação sustentável da pecuária (MACEDO, 2004).

Sob a ótica econômica, a adubação de pastagens deve ser entendida como investimento e não como custo. A reposição de nutrientes aumenta significativamente a produtividade por área, reduzindo os custos fixos por unidade de produto e elevando a rentabilidade da atividade. Em um país onde mais de 90% da carne bovina é produzida em sistemas a pasto, a adoção de práticas de correção e adubação deixou de ser um diferencial competitivo e passou a ser uma necessidade estratégica para garantir a competitividade da pecuária nacional (COSTA *et al.*, 2010).

É importante destacar que a adubação deve ser planejada em duas fases distintas: a adubação de formação e a adubação de manutenção. Na fase de formação, durante a implantação da pastagem, a adubação garante o estabelecimento vigoroso das forrageiras e o desenvolvimento radicular adequado. Já na fase de manutenção, a reposição contínua de nutrientes é fundamental para preservar a produtividade ao longo dos anos e evitar a queda na qualidade da pastagem. A Embrapa recomenda que ambas as fases sejam sempre baseadas em análises de solo, ajustando as doses de fertilizantes e corretivos conforme as necessidades específicas de cada área (EMBRAPA, 2016).

Outro aspecto relevante é a relação entre adubação e calagem. A aplicação de fertilizantes só é plenamente eficiente quando acompanhada da correção da acidez do solo pela aplicação de calcário (calagem). A calagem aumenta a saturação por bases, melhora a disponibilidade de nutrientes e reduz os efeitos tóxicos do alumínio, criando condições favoráveis para o aproveitamento dos fertilizantes aplicados. Sem a calagem, parte significativa dos nutrientes adicionados pode ser inutilizada, comprometendo a eficiência do investimento (MACEDO, 2004).

Por fim, a adoção de tecnologias de apoio, como *softwares* de manejo de pastagens, pode otimizar o processo de recomendação de adubação e calagem. Esses sistemas permitem calcular automaticamente as doses ideais de fertilizantes e corretivos com base em dados de análise de solo, espécie forrageira e metas de produção, promovendo maior precisão técnica e redução de custos. Dessa forma, a integração entre práticas agronômicas e ferramentas digitais representa uma inovação importante para a pecuária moderna, contribuindo para a intensificação sustentável e para a preservação dos recursos naturais (EMBRAPA, 2020b).

2.3 Análise de Solo

A análise do solo constitui uma ferramenta indispensável para o manejo racional da fertilidade e para a tomada de decisões agronômicas fundamentadas em critérios técnicos. Existem diferentes modalidades de procedimentos laboratoriais disponíveis, e a escolha entre elas deve ser orientada pelos objetivos específicos da avaliação, seja para fins de correção da acidez, recomendação de adubação ou monitoramento da qualidade do solo ao longo do tempo. Entre essas modalidades, destacam-se as análises de rotina, amplamente utilizadas como suporte técnico para a definição das doses de corretivos e fertilizantes adequadas às exigências nutricionais de cada cultura, garantindo maior eficiência no uso dos insumos e contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas produtivos (IBEAS, 2021).

Uma análise de rotina considerada completa contempla parâmetros relacionados à fertilidade, incluindo a quantificação de macro e micronutrientes essenciais, a determinação do teor de matéria orgânica (MO) e a caracterização granulométrica ou textural, que permite avaliar a proporção relativa de areia, silte e argila. Esses elementos fornecem informações fundamentais para o diagnóstico da qualidade química e física do solo, possibilitando a identificação de limitações e o estabelecimento de estratégias de manejo mais precisas. Dessa forma, a análise de rotina não apenas subsidia recomendações de calagem e adubação, mas também contribui para práticas agrícolas mais eficientes, econômicas e ambientalmente responsáveis, consolidando-se

como um instrumento central na agricultura moderna (IBEAS, 2021).

2.3.1 *Crêterios de Interpreta o das Análises de Solos*

O pH, denominado potencial hidrogeniônico, constitui um parâmetro fundamental para a caracteriza o química do solo, uma vez que expressa a concentra o de íons hidrog nio H^+ presentes na soluço do solo. Esse indicador   também conhecido como acidez ativa, por refletir diretamente a intensidade da acidez disponível para intera o com as raízes das plantas e com os processos químicos e biológicos do ambiente edáfico. A unidade de medida utilizada   *mol* de H^+ por litro de soluço, sendo que, por exemplo, uma concentra o de 10^{-6} *mol* H^+ /L corresponde a um pH igual a 6. O cálculo   realizado pela expressão matemática:

$$pH = \log 1/[H^+]$$

Assim, para uma soluço com $H^+ = 10$, obt m-se:

$$pH = \log 1/(10^{-6}) = 6$$

Esse valor evidencia a rela o inversa entre a concentra o de íons hidrog nio e o pH, de modo que menores concentra es de H^+ resultam em valores mais elevados de pH, caracterizando ambientes menos ácidos e, em alguns casos, próximos   neutralidade.

A interpreta o dos resultados provenientes das análises de solos realizadas pelos laboratórios vinculados ao Programa de Fertilidade do Solo de Minas Gerais (IBEAS, 2021), sob coordena o da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado, fundamenta-se em critérios sistematizados. Tais parâmetros, embora de caráter geral e não ajustados às especificidades edáficas, climáticas, culturais ou de manejo, constituem instrumentos relevantes para a distin o de áreas agrícolas em diferentes níveis de probabilidade de resposta   aplica o de nutrientes, permitindo, assim, a classifica o em distintas categorias de fertilidade.

  importante destacar que a resposta das espécies cultivadas, bem como de seus respectivos cultivares, apresenta ampla variabilidade em rela o   tolerância ou sensibilidade a fatores como acidez ativa, acidez trocável, satura o por bases, satura o por alumínio e disponibilidade de nutrientes essenciais. Nesse sentido, a categoriza o da fertilidade do solo não deve ser interpretada de forma isolada, mas sim em consonância com as exigências específicas de cada sistema produtivo, seja agrícola, pecuário ou florestal (IBEAS, 2021). Essa rela o entre a acidez do solo e suas implica es produtivas pode ser melhor compreendida a partir da Tabela 1,

que apresenta as faixas de pH e suas respectivas classificações química e agronômica.

Tabela 1 – Classificação química do pH do solo

Faixa de pH	Classificação Química
< 4,5	Acidez muito elevada
4,5 – 5,0	Acidez elevada
5,1 – 6,0	Acidez média
6,1 – 6,9	Acidez fraca
7,0	Neutra
7,1 – 7,8	Alcalinidade fraca
> 7,8	Alcalinidade elevada

Fonte: (IBEAS, 2021). Análise do solo: determinações, cálculos e interpretação.

Tabela 2 – Classificação agronômica do pH do solo

Faixa de pH	Classificação Agronômica
< 4,5	Muito baixo
4,5 – 5,4	Baixo
5,5 – 6,0	Bom
6,1 – 7,0	Alto
> 7,0	Muito alto

Fonte: (IBEAS, 2021). Análise do solo: determinações, cálculos e interpretação.

2.3.2 *Acidez do solo e implicações na fertilidade*

A avaliação da acidez do solo envolve diferentes parâmetros que permitem compreender tanto a acidez ativa, expressa pelo pH, quanto a acidez trocável, associada à presença de alumínio em formas disponíveis. Além disso, são considerados a saturação por alumínio e por bases, a capacidade tampão, estimada por meio da acidez potencial, e o teor de matéria orgânica. Esses indicadores são fundamentais para interpretar a fertilidade do solo, uma vez que a acidez influencia diretamente a disponibilidade de nutrientes e a dinâmica do complexo de troca catiônica (IBEAS, 2021).

A acidez do solo está intimamente relacionada com a disponibilidade de cálcio e magnésio, elementos essenciais para o equilíbrio nutricional das plantas, bem como com a presença de manganês e outros micronutrientes. A interpretação dos resultados de análises

laboratoriais considera faixas de classificação que variam de muito baixo a muito bom, abrangendo características como carbono orgânico, matéria orgânica, cálcio e magnésio trocáveis, acidez trocável, soma de bases, acidez potencial, capacidade de troca de cátions (CTC³) efetiva e a CTC determinada em pH 7, além das saturações por alumínio e por bases. Esses parâmetros permitem identificar limitações químicas e orientar práticas de manejo adequadas, como a calagem e a adubação (IBEAS, 2021).

A acidez ativa, ou pH, pode ser interpretada tanto por critérios químicos quanto agronômicos, sendo um dos principais indicadores da qualidade química do solo. Já a disponibilidade de potássio e fósforo apresenta dinâmica distinta. No caso do potássio, a capacidade tampão dos solos de Minas Gerais é considerada desprezível, não interferindo na eficiência de extração pelo método *Mehlich-1*⁴ nem na absorção pelas plantas, razão pela qual se adota uma única classificação para esse nutriente. O fósforo, por sua vez, apresenta forte interação com a capacidade tampão do solo, o que influencia diretamente sua extração pelo método *Mehlich-1* e sua absorção pelas plantas. Dessa forma, a interpretação da disponibilidade de fósforo deve considerar variáveis como o teor de argila e o valor de fósforo remanescente, que refletem a capacidade do solo em reter ou disponibilizar esse nutriente (IBEAS, 2021).

Em síntese, a análise integrada da acidez, da matéria orgânica, da soma e saturação de bases, da acidez potencial e da disponibilidade de fósforo e potássio fornece subsídios essenciais para o diagnóstico da fertilidade do solo. Esses parâmetros permitem estabelecer recomendações técnicas mais precisas e sustentáveis, assegurando maior eficiência no uso de corretivos e fertilizantes e contribuindo para a manutenção da produtividade agrícola em diferentes sistemas de cultivo (IBEAS, 2021).

2.3.3 Interpretação e recomendação de fósforo, enxofre e micronutrientes

A interpretação e recomendação de fósforo no solo deve considerar que as classes de fertilidade, apresentadas de acordo com o teor de argila ou com o valor de fósforo remanescente, são definidas para amostras que representam a fertilidade média e para culturas de ciclo curto, abrangendo todo o ciclo vital das plantas. No entanto, quando se trata da fase de implantação, a fertilidade local do solo, no ponto de transplântio ou semeadura, precisa ser significativamente

³ A capacidade de troca catiônica (CTC) representa o potencial do solo de reter e disponibilizar nutrientes essenciais às plantas, funcionando como um indicador direto da sua fertilidade (RONQUIM, 2010).

⁴ O método Mehlich-1 é empregado na quantificação do fósforo disponível no solo, sobretudo em áreas adubadas com fosfatos naturais. Baseia-se na extração por solução ácida de HCl e H₂SO₄, capaz de solubilizar o fósforo associado ao cálcio, normalmente indisponível às plantas (CAFÉ, 2021).

maior. Por essa razão, os valores de referência estabelecidos para fósforo devem ser multiplicados por pelo menos cinco vezes. Já a fertilidade média necessária para manutenção varia conforme o grupo de culturas: em povoamentos florestais, recomenda-se metade dos valores de referência; em culturas perenes, cerca de três quartos; e em hortaliças, até quatro vezes os valores indicados (IBEAS, 2021).

No caso do potássio, as classes de fertilidade para manutenção permanecem as mesmas ou podem ser ajustadas para níveis superiores, dependendo das exigências nutricionais das culturas e da capacidade produtiva das lavouras. De forma semelhante, mas com menor intensidade, o teor de enxofre disponível, determinado por extração com fosfato monocálcico em ácido acético (HOEFT; WALSH; KEENEY, 1973), é influenciado pela capacidade tampão de sulfatos do solo. Pela dinâmica diferenciada entre fósforo e enxofre, o fósforo tende a permanecer na camada de incorporação de fertilizantes, enquanto o enxofre apresenta maior mobilidade, deslocando-se para camadas subsuperficiais. Por isso, a interpretação generalizada do enxofre disponível deve considerar amostras compostas que representem a fertilidade média dessas camadas, especialmente em culturas de ciclo curto (IBEAS, 2021).

Na fase de implantação, os teores de enxofre devem ser pelo menos três vezes maiores do que os valores médios de referência. Para manutenção, recomenda-se que povoamentos florestais apresentem cerca de 60% dos valores indicados, culturas perenes 80% e hortaliças o dobro. Quanto aos micronutrientes, em Minas Gerais há pouca informação de calibração experimental, embora sejam frequentes as deficiências de zinco e boro em diversas culturas (EMBRAPA, 2002). Para uma primeira aproximação interpretativa, são utilizadas classes de fertilidade para zinco, manganês, ferro e cobre, extraídos pelo método *Mehlich-1*, e para boro, extraído com água quente. Essas faixas de interpretação permitem identificar situações de deficiência ou suficiência nutricional, ainda que de forma preliminar, e fornecem subsídios para recomendações de adubação mais adequadas (IBEAS, 2021).

2.4 Calagem

A calagem é uma prática fundamental no manejo de pastagens, especialmente em solos tropicais, que apresentam elevada acidez e baixa disponibilidade de nutrientes essenciais. Sua aplicação corrige a acidez do solo, neutraliza o alumínio tóxico e fornece cálcio (Ca) e magnésio (Mg), elementos indispensáveis para o crescimento e desenvolvimento das plantas forrageiras. Além disso, a calagem aumenta a saturação por bases (a calagem corrige a acidez do solo, adiciona cálcio e magnésio e aumenta a saturação por bases, melhorando a fertilidade e

favorecendo o crescimento das forrageiras), melhora a capacidade de troca catiônica (CTC) e cria condições favoráveis para o aproveitamento dos fertilizantes aplicados, tornando a adubação mais eficiente (MACEDO, 2004).

A recomendação da quantidade de calcário a ser aplicada deve sempre ser baseada em análise de solo, considerando parâmetros como saturação por bases atual e desejada, CTC e o poder relativo de neutralização total (PRNT) do corretivo. A fórmula utilizada para o cálculo da necessidade de calagem é:

$$NC = \frac{(V2 - V1) \cdot T}{PRNT}$$

Onde:

- NC: necessidade de calcário (t/ha)
- V2: saturação por bases desejada (%)
- V1: saturação por bases atual (%)
- T: capacidade de troca catiônica (CTC) a pH 7 (cmolc/dm³)
- PRNT: poder relativo de neutralização total do calcário (%)

Exemplo prático:

Se o solo apresenta V1 = 30%, deseja-se V2 = 60%, CTC = 10 cmolc/dm³ e PRNT = 80%, então:

$$NC = \frac{(60 - 30) \cdot 10}{80} = \frac{300}{80} = 3,75 \text{ t/ha}$$

Esse cálculo demonstra que, para corrigir a acidez e atingir a saturação por bases desejada, seriam necessárias aproximadamente 3,75 toneladas de calcário por hectare.

A aplicação do calcário deve ser realizada de forma uniforme sobre a área e, preferencialmente, incorporada ao solo para maior eficiência. Em sistemas de manejo intensivo de pastagens, a calagem periódica é indispensável para garantir a longevidade da pastagem, evitar a degradação e aumentar a resposta das plantas à adubação nitrogenada e fosfatada.

Portanto, a calagem não deve ser vista apenas como uma prática corretiva, mas como parte integrante do manejo sustentável das pastagens. Sua adoção garante maior produtividade, melhor aproveitamento dos insumos e contribui para a sustentabilidade da pecuária brasileira (COSTA *et al.*, 2010).

2.5 Adubação Fosfatada

O fósforo (P) é um dos nutrientes mais limitantes para a produção de pastagens em solos tropicais, devido à sua baixa disponibilidade natural e alta fixação pelos óxidos de ferro e alumínio presentes nesses solos. Esse elemento desempenha papel essencial no desenvolvimento radicular das plantas, favorecendo o estabelecimento inicial da pastagem e garantindo maior capacidade de absorção de água e nutrientes. Além disso, o fósforo participa de processos metabólicos fundamentais, como a transferência de energia (ATP⁵), a síntese de ácidos nucleicos e a formação de membranas celulares, sendo indispensável para o crescimento vigoroso das forrageiras (COSTA *et al.*, 2010).

De acordo com recomendações da Embrapa, em solos de baixa fertilidade deve-se aplicar entre 40 a 80 kg/ha de P₂O₅ para assegurar o adequado suprimento de fósforo às plantas. Essa faixa de recomendação busca atender tanto às necessidades imediatas da forrageira quanto à construção da fertilidade do solo a médio prazo, uma vez que o fósforo apresenta baixa mobilidade e tende a se acumular na camada superficial (EMBRAPA, 2016).

As principais fontes de fósforo utilizadas na adubação de pastagens incluem:

- Superfosfato simples (SSP): além de fósforo, fornece cálcio e enxofre, contribuindo para a nutrição equilibrada da planta;
- Superfosfato triplo (TSP): apresenta maior concentração de fósforo e rápida disponibilidade, sendo indicado para situações que exigem resposta imediata;
- Fosfato natural reativo (FNR): apresenta liberação gradual de fósforo, favorecendo a sustentabilidade do sistema. É recomendado para solos ácidos e de baixa fertilidade;
- A escolha da fonte fosfatada deve considerar fatores como o tipo de solo, o nível de acidez, a espécie forrageira cultivada e os objetivos do sistema de produção. Em sistemas intensivos de pecuária, a adubação fosfatada é indispensável para garantir altas taxas de lotação e produtividade animal, enquanto em sistemas de baixa tecnologia pode ser utilizada de forma estratégica para recuperar áreas degradadas.

Portanto, a adubação fosfatada não deve ser vista apenas como uma prática corretiva, mas como um investimento essencial para a longevidade e sustentabilidade das pastagens. Sua adoção garante maior eficiência no uso dos demais nutrientes, melhora a qualidade da forragem e contribui para a intensificação sustentável da pecuária brasileira (MACEDO, 2004).

⁵ Trifosfato de adenosina (ATP) é a fonte de energia para uso e armazenamento em nível celular (KRAUSE, 2020).

2.6 Adubação Nitrogenada

O nitrogênio (N) é considerado o nutriente mais importante para a produção de pastagens tropicais. Sua deficiência compromete diretamente o crescimento vegetativo, a produção de biomassa e a qualidade da forragem, reduzindo a capacidade de suporte animal. O nitrogênio participa de processos vitais como a síntese de proteínas, enzimas e clorofila, sendo indispensável para o metabolismo energético das plantas (COSTA *et al.*, 2010).

A recomendação da dose de nitrogênio deve ser baseada na meta de produção de matéria seca (MS⁶) e na eficiência de uso do nutriente pela planta. A fórmula utilizada é:

$$\text{Dose de N} = \frac{\text{Meta de produção (kg MS/ha)}}{\text{Eficiência de uso do N}}$$

Em condições práticas, recomenda-se aplicar entre 50 a 100 kg/ha de N por aplicação, podendo chegar a 300 kg/ha/ano em sistemas intensivos de produção animal. Essa estratégia permite parcelar a adubação ao longo do ano, acompanhando os períodos de maior demanda da pastagem e evitando perdas por lixiviação ou volatilização (MACEDO, 2004).

Principais fontes de nitrogênio utilizadas em pastagens:

- Ureia: fonte mais concentrada e de menor custo, porém sujeita a perdas por volatilização de amônia.
- Sulfato de amônio: além de fornecer N, contribui com enxofre (S), importante para a síntese de aminoácidos.
- Nitrato de amônio: apresenta menor risco de volatilização, sendo indicado em situações específicas de manejo.

A escolha da fonte e da dose deve considerar fatores como tipo de solo, espécie forrageira, regime de chuvas e nível tecnológico do sistema de produção. Em sistemas intensivos, a adubação nitrogenada é indispensável para garantir altas taxas de lotação e produtividade animal, enquanto em sistemas de baixa tecnologia pode ser utilizada de forma estratégica para recuperar áreas degradadas.

Portanto, a adubação nitrogenada representa um dos pilares da intensificação sustentável da pecuária, promovendo maior eficiência produtiva e contribuindo para a preservação dos recursos naturais (EMBRAPA, 2016).

⁶ Matéria Seca (MS) é a fração sólida da forragem obtida após a remoção da água, representando os nutrientes disponíveis e servindo como base para comparar a produção entre plantas forrageiras (EMBRAPA GADO DE CORTE, n.d.).

2.7 Adubação Potássica

O potássio (K) é um nutriente essencial para o metabolismo das plantas forrageiras, desempenhando papel fundamental na regulação da abertura e fechamento dos estômatos⁷, o que influencia diretamente a eficiência do uso da água e a resistência à seca. Além disso, o K atua na ativação de enzimas, na síntese de carboidratos e proteínas e na translocação de fotoassimilados⁸, contribuindo para o vigor e a persistência das pastagens (COSTA *et al.*, 2010).

A recomendação geral para solos de baixa a média fertilidade é a aplicação de 40 a 80 kg/ha de K₂O, ajustando a dose conforme os resultados da análise de solo e as exigências da espécie forrageira cultivada. Em sistemas intensivos de produção animal, a adubação potássica deve ser realizada de forma parcelada, acompanhando o calendário de adubação nitrogenada e fosfatada, para garantir maior eficiência e evitar perdas por lixiviação (EMBRAPA, 2016).

Principais fontes de potássio utilizadas em pastagens:

- Cloreto de potássio (KCl): fonte mais comum e de menor custo, com alta solubilidade e rápida disponibilidade para as plantas.
- Sulfato de potássio (K₂SO₄): além de fornecer potássio, contribui com enxofre (S), sendo indicado em situações onde há deficiência desse nutriente ou em sistemas que exigem maior equilíbrio nutricional.

A escolha da fonte deve considerar fatores como: custo disponibilidade regional e a presença de outros nutrientes no corretivo de acidez do solo. Em solos arenosos ou em regiões de alta pluviosidade, recomenda-se maior atenção ao parcelamento das doses para reduzir perdas por lixiviação.

Portanto, a adubação potássica é indispensável para garantir a longevidade das pastagens, aumentar a tolerância das plantas ao estresse hídrico e potencializar a resposta à adubação nitrogenada e fosfatada. Sua adoção contribui para sistemas de produção mais eficientes e sustentáveis (MACEDO, 2004).

2.8 Micronutrientes e Enxofre

⁷ Estômatos são pequenas estruturas presentes principalmente na epiderme das folhas, formadas por duas células especializadas chamadas células-guarda.

⁸ Fotoassimilados são os carboidratos produzidos pela fotossíntese nas folhas, que servem como fonte de energia e matéria-prima para o crescimento e são transportados pelo floema para órgãos de consumo e armazenamento da planta (WIKIPÉDIA, 2026).

Além dos macronutrientes primários (N, P e K), o fornecimento de enxofre (S) e de micronutrientes é fundamental para assegurar o equilíbrio nutricional das pastagens e evitar limitações na produtividade (COSTA; BENDAHAN, 2024).

2.8.1 *Enxofre (S)*

O enxofre é essencial para a síntese de aminoácidos como metionina, cisteína e triptofano, que são componentes básicos das proteínas. Também participa da formação de enzimas e vitaminas, influenciando diretamente a qualidade da forragem produzida (MARINHO, 2003). Em solos tropicais, especialmente arenosos e de baixa fertilidade, a deficiência de enxofre é relativamente comum.

- Recomendação geral: aplicar entre 20 e 40 kg/ha de S, ajustando conforme análise de solo e histórico de uso da área (COSTA *et al.*, 2010).
- Fontes comuns: sulfato de amônio, superfosfato simples e gesso agrícola, que além de fornecer S contribuem para a correção da acidez subsuperficial.

2.8.2 *Micronutrientes*

Os micronutrientes, embora exigidos em menores quantidades, desempenham funções vitais no metabolismo das plantas (COSTA, 2020):

- Zinco (Zn): atua na síntese de auxinas e enzimas, favorecendo o crescimento radicular e o perfilhamento.
- Cobre (Cu): participa da fotossíntese e da lignificação⁹, aumentando a resistência das plantas a doenças.
- Molibdênio (Mo): essencial para a fixação biológica de nitrogênio, pois compõe a enzima nitrogenase.

Deficiências de micronutrientes são mais frequentes em solos arenosos, altamente intemperizados ou muito explorados, onde a remoção contínua de nutrientes pela produção animal não é compensada por reposição adequada. A aplicação pode ser feita via solo ou foliar, dependendo da espécie forrageira e das condições de manejo (COSTA, 2020).

A adubação com enxofre e micronutrientes deve ser vista como parte integrante do

⁹ Lignificação é um processo bioquímico que abrange desde a formação dos monolignóis até a polimerização da lignina na parede celular (SILVA *et al.*, 2020).

manejo nutricional das pastagens. Embora muitas vezes negligenciados, esses elementos garantem maior eficiência no uso dos macronutrientes, aumentam a longevidade da pastagem e contribuem para a intensificação sustentável da pecuária (COSTA; BENDAHAN, 2024).

Após a explanação sobre a importância da adubação em pastagens e a descrição dos principais nutrientes envolvidos: como cálcio, fósforo, nitrogênio, potássio, micronutrientes e enxofre, torna-se relevante apresentar um quadro que sintetize as recomendações práticas de manejo. A Tabela 2 exemplifica de maneira resumida as doses indicadas para a formação e manutenção de piquetes rotativos, destacando a necessidade de calagem, a reposição de fósforo e potássio, o parcelamento da adubação nitrogenada e a aplicação de micronutrientes conforme análise de solo. Essa sistematização permite visualizar de forma clara como os conceitos discutidos se traduzem em práticas de campo, facilitando a compreensão e aplicação das recomendações técnicas.

Tabela 3 – Recomendações de adubação e calagem para piquetes rotativos

Nutriente	Formação	Manutenção (piquetes rotativos)
Calcário	V% 50–60%	Reaplicar conforme análise (4–5 anos)
Fósforo (P ₂ O ₅)	40–80 kg/ha	Fosfatagem a cada 2–3 anos
Potássio (K ₂ O)	40–60 kg/ha	40–100 kg/ha/ano parcelado
Nitrogênio (N)	40–60 kg/ha	100–300 kg/ha/ano parcelado
Enxofre (S)	10–20 kg/ha	10–20 kg/ha/ano
Micronutrientes	Conforme análise	Conforme análise

Fonte: (IBEAS, 2021). Análise do solo: determinações, cálculos e interpretação.

2.9 Adubação e Calagem como Práticas de Reposição Nutricional

A fertilidade do solo representa um dos principais fundamentos para a sustentabilidade dos sistemas forrageiros, sendo diretamente responsável pela qualidade e produtividade das pastagens. Nesse contexto, as práticas de adubação e calagem configuram intervenções indispensáveis para o manejo do solo e o bom desenvolvimento das plantas. A adubação consiste na aplicação de nutrientes ao solo para corrigir deficiências nutricionais, seja ela de origem orgânica ou mineral, deve ser realizada com base em análise química do solo, considerando não apenas os níveis de nutrientes disponíveis, mas também as exigências específicas da forrageira cultivada e o sistema de produção adotado (ZONTA *et al.*, 2024). A

correta interpretação desses dados é decisiva para garantir a eficiência na reposição nutricional e a sustentabilidade da área de pastagem. Já a calagem consiste em aplicar calcário ao solo para corrigir a acidez, promovendo a neutralização do alumínio tóxico, elemento prejudicial ao desenvolvimento radicular das plantas (RESENDE; BOTREL; ALVIM, 2021). Essa prática também contribui para o aumento da disponibilidade de cálcio e magnésio, elementos essenciais à nutrição vegetal e ao equilíbrio químico do sistema produtivo (EMBRAPA, 2020a).

Segundo SOUZA *et al.* 2006, a aplicação combinada de calcário e esterco bovino (adubo) contribui significativamente para a redução da capacidade de adsorção de fósforo, além de aumentar a disponibilidade de nutrientes essenciais às plantas. Essa combinação também promove a elevação do Índice Tampão de Fósforo (ITP), que é um indicador da capacidade do solo em resistir a variações na concentração de fósforo em solução, o que favorece o aproveitamento eficiente do fósforo pelas culturas forrageiras e, conseqüentemente, o desempenho produtivo da área.

2.10 Inovação Tecnológica no Agronegócio: Agricultura Digital

A digitalização do campo tem promovido mudanças significativas na forma como as atividades agropecuárias são planejadas e executadas. O avanço de tecnologias emergentes, como *softwares* inteligentes, sensores remotos e algoritmos de suporte à decisão, tem possibilitado a adoção de práticas mais precisas, econômicas e ambientalmente sustentáveis. Nesse contexto, destaca-se que a convergência entre *Internet das Coisas* (IoT), inteligência artificial e computação em nuvem constitui a base da chamada Agricultura 4.0 (KUBOTA; ROSA, 2023). Essa tríade tecnológica é aplicável a diversas dimensões da produção rural, incluindo o manejo de pastagens, onde pode ser empregada na coleta de dados agronômicos em tempo real, análise preditiva e geração de recomendações técnicas personalizadas para cada área produtiva.

O avanço da agricultura digital tem possibilitado o desenvolvimento de ferramentas tecnológicas voltadas à otimização do manejo agronômico. Um exemplo notável é o *software* AdubaTec, criado pela Embrapa em parceria com a Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), com o objetivo de fornecer recomendações técnicas de calagem e adubação baseadas em dados da análise química do solo e nas exigências específicas da cultura cultivada (SILVA M. L. D. DA ARAUJO, 2019). A plataforma, de acesso gratuito e interface intuitiva, permite que produtores e técnicos insiram informações como tipo de cultivo, estágio de desenvolvimento, clima e produtividade esperada, recebendo como retorno as quantidades ideais de nutrientes a serem aplicadas, especialmente nitrogênio, fósforo e potássio.

2.11 Integração da Tomada de Decisão Agronômica via *Software*

A constante evolução e complexidade das atividades agrícolas têm exigido dos produtores rurais um nível cada vez mais elevado de precisão, organização e eficiência em suas práticas de manejo. Paralelamente, cresce a necessidade de adotar estratégias sustentáveis que conciliem produtividade com responsabilidade ambiental. Nesse cenário, destaca-se o papel da tecnologia digital como aliada na transformação dos processos agronômicos, especialmente por meio da utilização de *softwares* especializados (SENAR GOIÁS, 2023).

Essas ferramentas computacionais permitem a consolidação de grandes volumes de dados provenientes do campo, como análises de solo, histórico de produtividade, práticas anteriores de fertilização e georreferenciamento¹⁰, em uma estrutura lógica e acessível. Ao processar essas informações com algoritmos otimizados e bancos de dados agronômicos, os *softwares* oferecem aos usuários recomendações precisas, adaptadas às características específicas de cada talhão ou piquete. Dessa forma, práticas como adubação e calagem deixam de ser decisões genéricas e passam a ser orientadas por parâmetros técnicos sólidos, aumentando a eficiência do uso de insumos e promovendo uma gestão mais inteligente e sustentável das pastagens (EMBRAPA, 2022).

Softwares agronômicos contemporâneos possuem a capacidade de integrar múltiplas variáveis que influenciam diretamente o desempenho das atividades rurais, como aspectos físicos, químicos, biológicos e econômicos. Essa integração resulta em uma visão sistêmica e abrangente da propriedade, permitindo aos produtores decisões mais estratégicas, seguras e personalizadas.

No contexto da adubação e calagem, tais ferramentas se tornam indispensáveis, uma vez que essas práticas exigem precisão técnica na interpretação de dados do solo e da forragem. Através da coleta, processamento e análise de informações como pH, teor de matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes e histórico de fertilização, os *softwares* conseguem recomendar intervenções específicas, otimizando o uso de insumos e evitando problemas como excesso de acidez ou deficiência nutricional (EMBRAPA, 2021). Com isso, o uso de tecnologia aplicada à gestão agronômica contribui diretamente para reduzir desperdícios, melhorar a eficiência produtiva e mitigar impactos ambientais, fortalecendo a sustentabilidade do sistema de pastagens em piquetes.

¹⁰ O georreferenciamento constitui um processo técnico e cartográfico destinado à identificação precisa da localização de um imóvel rural, por meio da utilização de coordenadas geográficas padronizadas e de informações detalhadas referentes à sua forma, dimensões, área e limites legais.

A proposta deste projeto insere-se de forma estratégica no contexto da modernização do agronegócio, ao desenvolver uma solução digital voltada para a recomendação inteligente de práticas de adubação e calagem em sistemas de pastagens manejados por piquetes. Segundo FERREIRA; ANDRADE 2022, ferramentas digitais no campo potencializam a gestão agronômica ao transformar dados em decisões embasadas, contribuindo para maior sustentabilidade e produtividade. O *software* será fundamentado em dados agronômicos objetivos, georreferenciados e atualizados, permitindo uma análise espacial integrada das condições de solo, histórico de manejo e exigências nutricionais específicas das áreas produtivas.

Ao aliar tecnologia à tomada de decisão, espera-se promover um significativo avanço na gestão agronômica, contribuindo para a redução de desperdícios de insumos, o aumento da eficiência produtiva e o fortalecimento da sustentabilidade ambiental do sistema. Essa abordagem representa não apenas um aprimoramento técnico-operacional, mas também uma evolução no modelo de planejamento agrícola, alinhada aos princípios da agricultura digital e de precisão.

2.12 Ferramentas Tecnológicas Utilizadas

Para a construção do *software* proposto neste trabalho, foram adotadas tecnologias consolidadas no cenário da engenharia de *software* e amplamente empregadas em ambientes de produção real.

2.12.1 Python

A codificação *web* do *software* será realizado com a linguagem de programação *Python*. Segundo MENEZES 2024, *Python* é uma linguagem muito utilizada por desenvolvedores por vários fatores, como por exemplo; é uma linguagem de programação com uma baixa curva de aprendizagem, ela é de código aberto, sendo possível sua utilização por qualquer pessoa, o *Python* tem uma extensa biblioteca padrão, o que torna seu desenvolvimento mais ágil, também o *Python* é multiplataforma, o que significa que ele tem capacidade de rodar em diferentes sistemas operacionais sem mudanças significativas no código, ela se destaca também pela sua versatilidade, pois o *Python* tem a capacidade de atuar em diferentes frentes se tornando uma linguagem versátil, o *Python* também é uma linguagem com um alto nível de produtividade, pois sua sintaxe é simples e contém grande número de bibliotecas disponíveis, permitindo desenvolver soluções rápidas e eficientes (MENEZES, 2024).

Python é uma linguagem de programação de alto nível, interpretada e de propósito

geral, projetada para priorizar a legibilidade do código e a produtividade do desenvolvedor (FAGUNDES, 2025). Sua sintaxe clara e concisa permite a escrita de algoritmos com menos linhas de código em comparação a outras linguagens tradicionais, como *Java* ou *C++* (TECH, 2024). Essa característica torna o *Python* especialmente adequado para aplicações que exigem agilidade no desenvolvimento e facilidade de manutenção.

Além disso, *Python* é multiparadigma, suportando programação procedural, orientada a objetos e funcional, o que amplia sua versatilidade em diferentes contextos computacionais. A linguagem é amplamente utilizada no desenvolvimento de aplicações *web*, automação de tarefas, ciência de dados, inteligência artificial, *machine learning* (aprendizagem de máquina), engenharia de *software* e computação científica, sendo adotada por empresas como *Google*, *Netflix*, *Spotify* e *NASA* (DEVMEDIA, 2023; TECH, 2024).

A escolha da linguagem de programação *Python* fundamenta-se em sua reconhecida facilidade para o desenvolvimento de aplicações. Trata-se de uma linguagem de fácil compreensão e aplicação, o que favorece sua utilização em diferentes contextos acadêmicos e profissionais. Além disso, destaca-se pela eficiência na resolução dos desafios inerentes ao desenvolvimento de *software*, especialmente no contexto da proposta deste trabalho, que consiste na implementação de um sistema *web* voltado à realização de cálculos a partir da análise de dados (MARTINS, 2023).

2.12.2 *Django*

Django é um *framework web* de alto nível, gratuito e *open source* (código aberto), desenvolvido em *Python*, que tem como objetivo acelerar o processo de criação de aplicações robustas, seguras e escaláveis (DJANGO SOFTWARE FOUNDATION, 2025). Criado com foco na produtividade e na reutilização de código, o *Django* adota o princípio *DRY* (*Don't Repeat Yourself* – Não se Repita) e promove uma arquitetura limpa e pragmática (FOUNDATION, 2025a).

O *framework* segue o padrão arquitetural *MTV* (*Model-Template-View*, Modelo-Controlador-Visão), que organiza o código em três camadas principais:

- *Model*: define a estrutura e regras dos dados da aplicação;
- *Template*: gerencia a apresentação visual das informações;
- *View*: controla a lógica de negócio e a interação entre modelo e interface.

Com o intuito de otimizar o processo de desenvolvimento, será adotado o *framework Django*. Reconhecido internacionalmente, o *Django* consolidou-se como uma das principais ferramentas para a construção de aplicações *web* de grande porte, em razão de sua robustez,

escalabilidade e ampla comunidade de suporte (DJANGO STARS, 2025). Essa reputação decorre, sobretudo, de sua arquitetura bem estruturada, da segurança oferecida e da capacidade de acelerar a implementação de projetos complexos, características que justificam sua escolha para o presente trabalho.

2.12.3 *MySQL*

MySQL é um sistema de gerenciamento de banco de dados relacional (RDBMS - *Relational Database Management System*) de código aberto, amplamente reconhecido por sua eficiência, confiabilidade e capacidade de escalabilidade. Desenvolvido originalmente pela empresa sueca *MySQL AB* e atualmente mantido pela *Oracle Corporation*, o *MySQL* utiliza a linguagem *SQL (Structured Query Language)* como interface principal para a criação, manipulação e consulta de dados estruturados (ORACLE, 2024).

Como um banco de dados relacional, o *MySQL* organiza os dados em tabelas interligadas por esquemas, permitindo a definição precisa de relacionamentos entre diferentes conjuntos de informações. Essa estrutura facilita operações complexas, como transações ACID¹¹, replicação de dados, procedimentos armazenados, *triggers* e controle de acesso, tornando-o adequado tanto para aplicações simples quanto para sistemas corporativos de grande porte (HOSTINGER, 2024).

Devido à sua natureza de código aberto, facilidade de uso e escalabilidade, o *MySQL* é geralmente escolhido para todos os tipos de projetos (ORACLE BRASIL, 2024). No meio dos bancos de dados, a escolha do *MySQL* é algo que frequentemente acontece, pois ele nos apresenta diversas vantagens sobre seu uso, como a facilidade de seu uso, tendo em vista que a sua curva de aprendizado é relativamente suave, também ele pode ser escalado tanto verticalmente (aumentando os recursos do servidor) quanto horizontalmente (usando replicações e particionamento), lidando então com grandes volumes de dados, o *MySQL* também oferece um desempenho muito bom para variedades de aplicações e ele também tem uma integração muito grande com várias linguagens, possuindo vários *drivers* e bibliotecas (AMAZON WEB SERVICES, 2025).

2.12.4 *CSS (Cascading Style Sheets)*

¹¹ É um conjunto de propriedades que garantem a confiabilidade e integridade das transações em bancos de dados

CSS é uma linguagem de estilo utilizada para definir a apresentação visual de documentos estruturados em *HTML*¹² ou *XML*¹³ (*Extensible Markup Language*). Seu principal objetivo é separar o conteúdo da formatação, permitindo que desenvolvedores controlem com precisão aspectos como cores, tipografia, espaçamento, *layout*, animações e responsividade das páginas *web* (DOCS, 2025; TECMUNDO, 2024).

Ao aplicar regras de estilo por meio de seletores e declarações, o *CSS* possibilita a criação de interfaces consistentes, elegantes e adaptáveis a diferentes dispositivos e tamanhos de tela. Recursos como *media queries* que são instruções do *CSS* que permitem aplicar estilos diferentes dependendo das características do dispositivo, *flexbox* que é um módulo do *CSS* que facilita o posicionamento e distribuição de elementos em um *container*, mesmo quando o tamanho deles é desconhecido e *grid layout* é um sistema poderoso de *layout* em *CSS* que divide a tela em linhas e colunas, permitindo criar estruturas complexas com facilidade, tornam o *CSS* essencial para o desenvolvimento de *sites* modernos e responsivos, garantindo uma experiência visual otimizada para usuários em *desktops*, *tablets* e *smartphones* (CODAR, 2024). Além disso, o *CSS* pode ser implementado de forma *inline*¹⁴, interna ou externa, sendo esta última a mais recomendada para projetos escaláveis, pois permite reutilização de estilos e facilita a manutenção do código.

A utilização do *CSS* no desenvolvimento do *software* é de extrema importância devido a sua entrega em projetos *web*, com o objetivo de separar o conteúdo escrito em uma linguagem de marcação do *design* de um documento, o *CSS* aumenta a acessibilidade dos documentos, proporcionando uma flexibilidade e controle de apresentação maior. As vantagens da utilização do *CSS* são; poupa de tempo, devido a reutilização de códigos; entrega de carregamento das páginas mais rapidamente; é compatível com diferentes dispositivos; é utilizado em padrões *web* reconhecidos entre diversas vantagens (EBAC, 2023).

2.12.5 *HTML (HyperText Markup Language)*

HTML é a linguagem de marcação padrão utilizada para a criação e estruturação de páginas *web*. Desenvolvida por Tim Berners-Lee no início da década de 1990, o *HTML* representa o bloco fundamental da *web* moderna, permitindo que navegadores interpretem e exibam conteúdos de forma organizada e acessível (FREECODECAMP, 2025; MOZILLA

¹² Linguagem de Marcação de Hipertexto, é a linguagem padrão usada para criar e estruturar páginas *web*

¹³ É um formato de arquivo de texto usado para armazenar e transportar dados de forma estruturada

¹⁴ É uma categorização dos elementos do *HTML*, em contraste com os "elementos de bloco"

FOUNDATION, 2025).

O *HTML* é essencial em qualquer projeto *web*, por ser uma linguagem que estrutura o conteúdo das páginas, definindo como texto, imagens, vídeos e outros elementos são organizados e apresentados (TREINAWEB, 2023). A utilização do *HTML* é fundamental nos projetos desenvolvidos devido suas vantagens em utilização, os seus elementos da páginas são organizados, com títulos, parágrafos, listas entre outros, sua semântica permite que cada elemento tenha um significado específico, ele é a base para outras tecnologias, como; *CSS* (estilo) e *JavaScript* (interação) e ele é suportado por todos os navegadores *web*, garantindo assim a utilização em diferentes plataformas (ALURA, 2023).

2.12.6 *JavaScript*

JavaScript é uma linguagem de programação interpretada, dinâmica e multiparadigma, amplamente utilizada para adicionar interatividade, dinamismo e comportamento inteligente às páginas *web*. Criada em 1995 por Brendan Eich, a linguagem tornou-se um dos pilares do desenvolvimento *front-end*¹⁵ moderno, ao lado do *HTML* e do *CSS* (MOZILLA FOUNDATION, 2025; LOCAWEB, 2024).

Por meio do *JavaScript*, é possível manipular elementos *HTML* e *CSS*, validar formulários, criar animações, controlar mídias, gerar gráficos interativos e realizar requisições assíncronas com *APIs*¹⁶. Essa capacidade de comunicação com servidores sem recarregar a página, conhecida como *AJAX* (*Asynchronous JavaScript and XML*), revolucionou a experiência do usuário na *web* (FOUNDATION, 2025b).

A escolha pelo *JavaScript* é excelente, como o *software* que irá ser desenvolvido é um projeto *web*, ele se destaca com diversos pontos positivos, como; sua versatilidade; podendo ser utilizado em diversas fases do desenvolvimento, sua interatividade; sendo essencial para desenvolvimento de páginas *web*, seu desempenho; pois ele é executado diretamente no navegador, ele se destaca também por permitir a atualização dinâmica do conteúdo da página sem a necessidade de recarregar a página inteira (MDN WEB DOCS, 2025).

2.13 Trabalhos Correlatos

¹⁵ É a parte de um sistema ou aplicação com a qual o usuário interage diretamente, ou seja, a interface visual e a experiência do usuário.

¹⁶ Conjuntos de regras e protocolos que permitem que diferentes *softwares* se comuniquem e interajam entre si.

Um exemplo relevante de aplicação prática *SADs* é o trabalho realizado por TAUBE (2016), intitulado “Recomendação de Calagem por meio de Sistema de Suporte à Decisão, desenvolvido na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)”. O projeto teve como objetivo a criação de uma aplicação *web* voltada à recomendação de calagem agrícola, utilizando dados provenientes de análises de solo como base para a realização de cálculos automatizados.

Para viabilizar essa solução, foram empregadas tecnologias modernas e eficientes, como a linguagem de programação *Java*, o *framework MVC VRaptor* para organização da arquitetura do sistema, a biblioteca *Bootstrap* para construção de uma interface responsiva e amigável, e o banco de dados *PostgreSQL*, utilizado com funções armazenadas para executar os cálculos técnicos de forma segura e otimizada. Essa combinação de ferramentas permitiu o desenvolvimento de um sistema robusto, ágil e acessível, capaz de contribuir diretamente para o gerenciamento de propriedades agrícolas por meio de recomendações precisas e automatizadas.

A aplicação foi estruturada com foco em usabilidade, agilidade no desenvolvimento e precisão nos resultados, demonstrando como práticas de engenharia de *software* podem ser aplicadas de forma eficaz em sistemas de apoio à decisão no setor agrícola. A interface intuitiva e a arquitetura bem definida proporcionaram uma experiência eficiente ao usuário, enquanto os cálculos automatizados garantiram recomendações confiáveis com base em dados reais.

Além disso, o sistema foi disponibilizado gratuitamente à comunidade por meio da *web*, reforçando o compromisso com a acessibilidade tecnológica e o impacto social positivo da solução. Essa iniciativa ampliou o alcance da ferramenta, permitindo que produtores rurais e técnicos agrícolas tenham acesso a recursos digitais que contribuem diretamente para o gerenciamento sustentável das lavouras.

Esse trabalho se destaca por:

- Integrar tecnologias modernas de desenvolvimento *web*;
- Aplicar conceitos de engenharia de *software* como modelagem, persistência de dados e arquitetura *MVC*;

A abordagem apresentada por TAUBE 2016, evidencia a importância de sistemas inteligentes e personalizados aplicados a contextos específicos, como o agronegócio, demonstrando como soluções digitais podem ser adaptadas às particularidades de cada setor. Ao utilizar dados estruturados para automatizar processos técnicos, o projeto se consolida como uma referência prática para iniciativas que buscam eficiência, precisão e acessibilidade no

desenvolvimento de aplicações voltadas ao suporte à decisão.

3 METODOLOGIA

Essa seção aborda a metodologia do trabalho. A Metodologia científica é o conjunto de técnicas e processos empregados para a realização do trabalho proposto (CARVALHO, 2000). Ela aborda a caracterização da pesquisa, as técnicas de coleta de dados, os métodos e procedimentos e os instrumentos utilizados.

3.1 Caracterização da Pesquisa

A pesquisa desenvolvida neste trabalho é do tipo aplicada, com abordagem quantitativa. A pesquisa aplicada busca solucionar problemas reais por meio de soluções práticas, considerando que o desafio consiste em encontrar a recomendação correta de adubação e calagem através de um *software* voltado ao agricultor. A abordagem quantitativa constitui um método de pesquisa que utiliza a quantificação nas modalidades de coleta de informações, empregando técnicas estatísticas, como se observa na análise e quantificação dos dados resultantes dos solos avaliados.

Este trabalho não se caracteriza como pesquisa com seres humanos, uma vez que não houve coleta de dados primários por meio de entrevistas, questionários ou qualquer forma de interação com participantes. Os dados utilizados referem-se exclusivamente a informações técnicas provenientes de literatura especializada e análises laboratoriais de solo, sem identificação de indivíduos.

3.2 Técnicas de Coleta de Dados

A coleta de dados foi realizada por meio de levantamento técnico de requisitos, baseado em fontes secundárias, como manuais agrônômicos, normas técnicas, recomendações de órgãos especializados (Embrapa, IBEAS) e consultas técnicas informais com especialistas da área, sem registro de dados pessoais ou identificação individual. O objetivo foi subsidiar a modelagem do sistema, sem caracterizar investigação de percepções individuais ou análise de comportamento humano.

3.3 Resultados e Discussão – Análise Comparativa (Campo x Academia)

A análise comparativa foi realizada a partir da confrontação entre abordagens técnicas

adotadas na prática agronômica e aquelas descritas na literatura científica, visando identificar convergências relevantes para a modelagem do sistema.

1. Abordagem profissional

Campo: experiência prática com pequenos produtores e manejo rotacionado.

Academia: perspectiva teórica e abrangente.

Comparativo: a prática evidencia problemas imediatos de manejo, enquanto a teoria amplia a análise para aspectos estruturais e estratégicos.

2. Métodos de recomendação

Campo: uso de tabelas técnicas aplicadas.

Academia: referência a literatura científica e manuais.

Comparativo: consenso na análise de solo como base, mas com diferentes graus de formalidade e aplicabilidade.

3. Parâmetros considerados

Campo: foco em variáveis produtivas (espécie forrageira, número de animais, grau tecnológico).

Academia: inclusão de fatores socioeconômicos (condições financeiras, mercado, clima).

Comparativo: prática busca eficiência imediata, teoria busca alinhamento estrutural e estratégico.

4. Erros comuns

Campo: falhas técnicas (sequência incorreta de calagem/adubação, época inadequada).

Academia: falhas culturais e de gestão (intuição, cópia de receitas).

Comparativo: problemas de manejo envolvem tanto aspectos técnicos quanto culturais e de orientação.

5. Espécies forrageiras

Campo: foco em variedades usuais no manejo prático (ex.: Mombaça, Brachiaria).

Academia: maior diversidade, incluindo espécies menos recorrentes.

Comparativo: núcleo comum de espécies relevantes, mas com amplitude distinta

conforme o contexto.

6. Frequência de análise de solo

Campo: recomendação anual.

Academia: recomendação em todas as ocasiões de manejo.

Comparativo: prática equilibra custo e necessidade, teoria privilegia rigor técnico máximo.

7. Critérios de calagem

Campo: detalhamento químico (Ca, Mg, Al, saturação por bases). Academia: contextualização regional e tipo de corretivo.

Comparativo: complementaridade entre técnica laboratorial e adequação regional.

8. Aplicativos digitais

Campo: valorização de funcionalidades práticas (recomendações por espécie, ajustes de pastejo).

Academia: destaque para relatórios e sistematização.

Comparativo: tecnologia atende tanto à gestão prática quanto à documentação científica.

9. Barreiras à adoção tecnológica

Campo: desconfiança nas recomendações automáticas. Academia: necessidade de assistência técnica.

Comparativo: adoção depende de confiança na ferramenta e suporte profissional.

Síntese Final

Convergências: importância da análise de solo, reconhecimento de falhas graves, potencial da tecnologia.

Divergências: foco prático versus teórico, parâmetros produtivos versus socioeconômicos, frequência de análises, prioridades na digitalização.

Complementaridade: prática evidencia desafios imediatos, teoria amplia a visão para aspectos estruturais e estratégicos.

Conclusão: políticas e ferramentas de manejo devem equilibrar rigor técnico-científico com viabilidade prática, garantindo eficiência produtiva e sustentabilidade

socioeconômica.

3.4 Métodos e Procedimentos

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram utilizadas as seguintes etapas:

- Diagnóstico inicial;
- Levantamento de requisitos;
- Modelagem do sistema;
- Desenvolvimento do *software*;
- Teste e validação;
- Análise dos resultados.

O diagnóstico inicial consistiu em identificar os principais desafios técnicos relacionados ao manejo de pastagens, conforme descritos na literatura especializada e em documentos técnicos da área agrônômica, com o objetivo de orientar o levantamento de requisitos do sistema. Esse diagnóstico também teve como objetivo reunir normas, recomendações agrônômicas e dados técnicos, possibilitando uma melhor compreensão do tema e subsidiando as etapas seguintes do estudo.

O levantamento de requisitos consistiu em especificar corretamente as principais funcionalidades do sistema para atender às necessidades dos usuários. Esse processo foi realizado por meio de entrevistas e aplicação de questionários junto a técnicos agrícolas e produtores rurais, permitindo identificar e detalhar suas demandas com base nas técnicas de engenharia de *software*. A engenharia de *software*, enquanto área do conhecimento dedicada à adoção de processos, boas práticas de desenvolvimento e ferramentas especializadas, promoveu a otimização do fluxo de trabalho, a redução de retrabalho e a garantia de entregas com qualidade, segurança e confiabilidade (PFLEEGER; ATLEE, 2019).

A modelagem de sistema desempenhou um papel fundamental na representação das funcionalidades, estruturas e fluxos do sistema, permitindo descrever de forma estrutural e lógica os seus componentes. A linguagem *UML (Unified Modeling Language)* foi escolhida como base para a modelagem do sistema desenvolvido neste projeto, sendo uma ferramenta essencial para representar graficamente os componentes e comportamentos de sistemas complexos (UNIVESP, 2017). Dentro da *UML*, utilizou-se o diagrama de caso de uso como ferramenta principal de modelagem, com o objetivo de identificar e representar as interações entre os diferentes perfis de usuários e o sistema.

O planejamento teve papel fundamental no desenvolvimento deste trabalho, pois serviu como guia para a execução de todas as etapas do projeto. Conforme destaca ESPINHA (2025), quanto mais estruturado e coerente se mostrou esse processo, maiores foram as chances de alcançar resultados satisfatórios. No contexto desta pesquisa, o planejamento organizou de forma lógica e sequencial as fases de diagnóstico inicial, levantamento de requisitos, modelagem do sistema, desenvolvimento do software, teste e validação, além da análise dos resultados.

Essa etapa inicial permitiu definir claramente os objetivos, estabelecer prazos e determinar os recursos necessários, garantindo maior eficiência e segurança na condução do estudo. O planejamento também reduziu riscos, evitou retrabalho e assegurou que cada fase fosse conduzida com qualidade e confiabilidade. Além disso, possibilitou a integração entre os aspectos técnicos da engenharia de *software* e as demandas práticas dos produtores rurais, criando um alinhamento entre teoria e prática.

Dessa forma, o planejamento não apenas orientou a execução, mas também se consolidou como elemento indispensável para a obtenção de resultados consistentes e aplicáveis, contribuindo diretamente para a relevância científica e prática do projeto.

As principais variáveis utilizadas para a modelagem dos dados foram: tipo de solo e cultura, teores de nutrientes, pH e acidez potencial, potássio disponível, cálcio, magnésio, acidez trocável, acidez potencial, soma das bases, capacidade de troca de cátions efetiva (CTC efetiva), CTC a pH 7, saturação por bases, índice de saturação de alumínio, matéria orgânica, zinco, ferro, manganês, cobre, boro e a porcentagem de argila. Essas variáveis permitiram representar de forma abrangente as condições químicas e físicas do solo, possibilitando a análise detalhada das relações entre atributos edáficos¹⁷ e as recomendações de adubação e calagem.

O desenvolvimento do *software* constituiu a etapa mais complexa do trabalho, visto que foi nesse momento que se implementou o sistema de recomendação de adubação e calagem para pastagens em piquetes. Para conduzir essa fase, adotou-se o modelo de desenvolvimento incremental, estruturado em sprints, conforme os princípios da metodologia ágil. Em cada *sprint*, ocorreu um ciclo de desenvolvimento com duração previamente definida, no qual as funcionalidades foram planejadas, implementadas e testadas. Essa abordagem proporcionou maior flexibilidade em relação aos requisitos, permitindo entregas contínuas e validação progressiva ao longo do processo.

¹⁷ Atributos edáficos são as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (minerais, matéria orgânica, água, ar) que determinam sua fertilidade, estrutura e funcionamento, influenciando diretamente o crescimento de plantas e microrganismos.

Nesta etapa, foi realizada a implementação da interface gráfica do sistema, contemplando formulários para a inserção de dados pelos usuários, como os resultados das análises laboratoriais dos solos. A partir dessas informações, foram desenvolvidos algoritmos específicos para a recomendação de adubação e calagem. Os resultados gerados foram apresentados em páginas dedicadas à visualização, contendo elementos textuais e gráficos que facilitaram a interpretação e a tomada de decisão pelos produtores rurais.

Para o desenvolvimento do sistema, foram empregadas as seguintes tecnologias, de acordo com os requisitos e objetivos estabelecidos no projeto:

- *Python*: foi utilizada como linguagem de programação principal, responsável pela lógica e estrutura do *software*;
- *Django*: foi adotado como *framework* para agilizar o processo de desenvolvimento em *Python*, oferecendo recursos que facilitaram a integração e a manutenção do sistema;
- *MySQL*: foi utilizado como Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados Relacional (SGBDR), assegurando o armazenamento e a manipulação consistente das informações;
- *CSS*: foi aplicado para a estilização das páginas *web*, proporcionando uma interface mais agradável e intuitiva;
- *HTML*: estruturou o conteúdo das páginas, garantindo clareza na organização das informações apresentadas;
- *JavaScript*: foi empregado para tornar o sistema mais dinâmico, permitindo maior interatividade e melhor experiência para os usuários.

A etapa de testes e validação teve como objetivo detectar erros, identificar *bugs*, falhas ou problemas de desempenho, garantindo o bom funcionamento do sistema. Os testes realizados foram:

- Testes unitários: asseguraram que cada função funcionasse de forma independente;
- Teste de integração: verificaram a compatibilidade entre os diferentes módulos do sistema;
- Testes de interface: analisaram se a interface oferecia uma experiência amigável e funcional aos usuários;
- Testes de validação de dados: garantiram a consistência e a correta validação dos dados inseridos;
- Teste de desempenho: avaliaram a performance operacional do sistema em diferentes condições de uso.

A etapa de análise dos resultados constituiu um momento essencial para a validação do *software* desenvolvido, pois permitiu avaliar sua aplicabilidade prática junto aos produtores rurais. Essa fase teve como objetivo identificar pontos fortes, limitações e aspectos de melhoria, garantindo que o sistema atendesse de forma adequada às necessidades do público-alvo.

A avaliação foi conduzida em situações reais de recomendação de adubação e calagem em piquetes, permitindo observar o desempenho do sistema em condições práticas de uso. A análise contemplou aspectos como usabilidade da interface, clareza das informações apresentadas e confiabilidade dos algoritmos implementados. Também foram considerados indicadores de desempenho, incluindo tempo de resposta, precisão das recomendações e nível de satisfação dos usuários durante a utilização.

Os resultados obtidos permitiram identificar melhorias necessárias, como ajustes na interface gráfica para facilitar a inserção de dados, aprimoramento dos relatórios gerados e inclusão de funcionalidades adicionais sugeridas pelos usuários. Essa análise também possibilitou validar a metodologia adotada, demonstrando que o uso de técnicas de engenharia de *software*, aliado ao conhecimento agrônomo, resultou em um sistema robusto e aplicável ao contexto da produção rural.

Dessa forma, a etapa de análise dos resultados não apenas confirmou a eficácia do *software*, mas também forneceu subsídios para futuras versões e aperfeiçoamentos, consolidando o projeto como uma ferramenta de apoio à tomada de decisão no manejo de adubação e calagem em pastagens.

Ressalta-se que este trabalho não se caracteriza como pesquisa com seres humanos, uma vez que não houve coleta de dados pessoais, identificação de participantes, análise de percepções individuais ou investigação de comportamento humano, sendo o levantamento realizado exclusivamente para fins de engenharia de *software* e modelagem de requisitos, com base em fontes técnicas e científicas.

4 RESULTADOS

O desenvolvimento de um *software* para a recomendação de adubação e calagem em sistemas de manejo de pastagens busca aprimorar a qualidade do processo previamente existente, promovendo a eficiência, clareza e precisão para os produtores agrícolas. O sistema torna acessível a recomendação de adubação e calagem para pastagens por meio de recursos como: redução na quantidade de dados que precisam ser preenchidos e relatório final claro das quantidades de nutrientes a serem aplicados.

4.1 Levantamento de Requisitos

O levantamento de requisitos foi realizado por meio de observações de processos já existentes de recomendação de adubação e calagem para outras culturas, com isso foram notadas as seguintes necessidades para o *software*.

Esta seção aborda o levantamento de requisitos do sistema, fornecendo aos desenvolvedores as informações necessárias para o desenvolvimento do sistema e sua implementação.

4.1.1 *Requisitos Funcionais*

Entradas e Pré-Condições Gerais: O Produtor Rural deverá informar o nome de usuário e senha para realizar o acesso ao sistema. Essas credenciais serão validadas.

[RF001] Cadastro das propriedades. Descrição: O sistema deve permitir o cadastramento, alteração e exclusão de propriedades rurais. Atores: Produtor Rural. Entradas e Pré-Condições: O ator deverá informar nome da propriedade, localização (município/estado) e área total. Para alteração ou exclusão, basta informar o código da propriedade.

[RF002] Registro de análises de solo. Descrição: O sistema deve permitir o registro das análises de solo da área Atores: Produtor Rural. Entradas e Pré-Condições: O ator deverá informar resultados laboratoriais (pH, saturação por bases, teores de nutrientes). Para alteração ou exclusão, basta informar o código da análise.

[RF003] Recomendação de calagem. Descrição: O sistema deve calcular automaticamente a necessidade de calagem com base nos resultados da análise de solo. Atores: Produtor Rural. Entradas e Pré-Condições: O ator deverá selecionar o piquete e a análise de solo correspondente.

O sistema gera a recomendação de quantidade de calcário e tipo adequado.

[RF004] Recomendação de adubação. Descrição: O sistema deve calcular a recomendação de adubação (N, P, K e micronutrientes) considerando espécie forrageira, tipo de solo e intensidade de pastejo. Atores: Produtor Rural. Entradas e Pré-Condições: O ator deverá selecionar o piquete e fornecer parâmetros de produtividade esperada. O sistema gera a recomendação parcelada conforme o ciclo da pastagem.

[RF005] Relatórios de recomendação técnica. Descrição: O sistema deve gerar relatórios detalhados de recomendações por piquete. Atores: Produtor Rural. Entradas e Pré-Condições: O ator deverá selecionar a propriedade desejada.

4.1.2 Requisitos Não Funcionais

[RNF001] Usabilidade: O sistema deve ser fácil de utilizar, fornecendo *feedback* claro e imediato ao usuário sobre qualquer erro que tenha ocorrido, além de orientações sobre como corrigi-los.

[RNF002] Interface Amigável: O sistema deve possuir uma interface amigável e intuitiva, com design consistente e elementos visuais que facilitem a navegação e interação do usuário.

[RNF003] Segurança dos Dados: Os dados transmitidos entre o usuário e o banco de dados do sistema devem ser criptografados utilizando protocolos de segurança robustos para proteger contra acessos não autorizados.

[RNF004] Desempenho: O sistema deve ser capaz de processar solicitações e responder aos usuários em tempo real, garantindo que as operações comuns sejam concluídas em menos de dois segundos.

[RNF005] Escalabilidade: O sistema deve ser escalável para suportar um aumento no número de usuários e dados sem degradação significativa no desempenho.

[RNF006] Compatibilidade: O sistema deve ser compatível com os principais navegadores web (Chrome, Firefox, Safari, Edge) e dispositivos (desktop, tablet, smartphone).

[RNF007] Confiabilidade: O sistema deve garantir alta disponibilidade, com um tempo de inatividade não superior a 0,1% por mês, e deve ser capaz de se recuperar rapidamente de falhas.

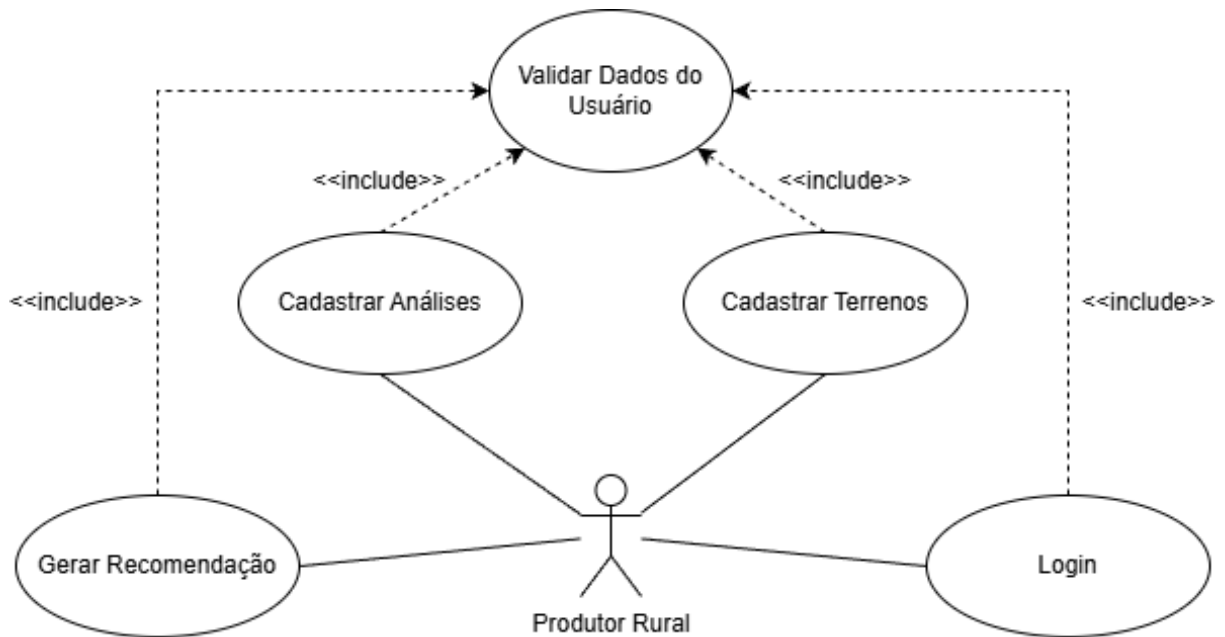
[RNF008] Manutenibilidade: O sistema deve ser projetado de forma modular para facilitar a manutenção e atualização, permitindo que novas funcionalidades sejam adicionadas com impacto mínimo no sistema existente.

[RNF009] Acessibilidade: O sistema deve seguir as diretrizes de acessibilidade para garantir que usuários com deficiências possam utilizá-lo efetivamente.

4.2 Perfis de Usuário

O sistema terá apenas um usuário: Produtor Rural. Esse usuário precisa efetuar o "Login" para acessar o sistema. Esse usuário é responsável pelo gerenciamento de terrenos (Cadastrar Terrenos), pelo gerenciamento de análises (Cadastrar Análises) e pela geração da recomendação (Gerar Recomendação).

Figura 1 - Diagrama de Caso de Uso.

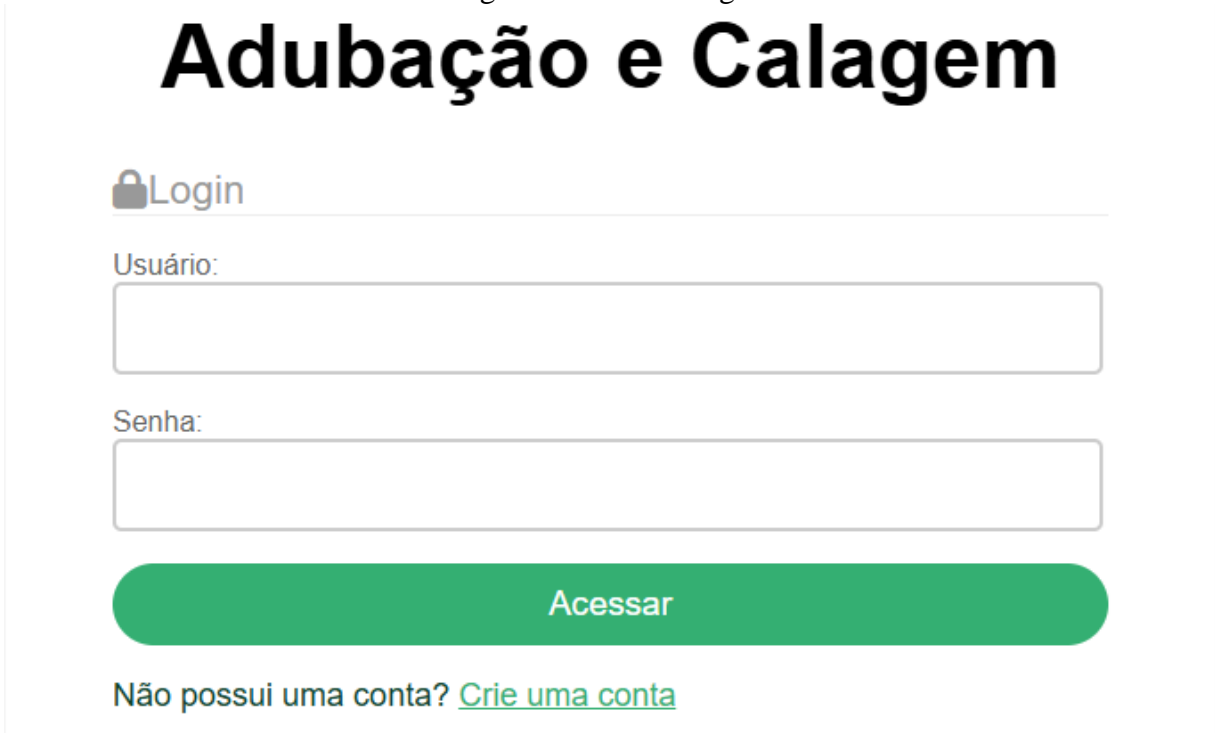


Fonte: Elaborada pelos autores, 2026.


4.3 Sistema Desenvolvido

Ao acessar o sistema, o usuário irá se deparar com uma tela de *login* (Figura 2). Onde também é possível cadastrar-se por meio do link abaixo do botão de acesso.

Figura 2 - Tela de Login.



Adução e Calagem

 Login

Usuário:

Senha:

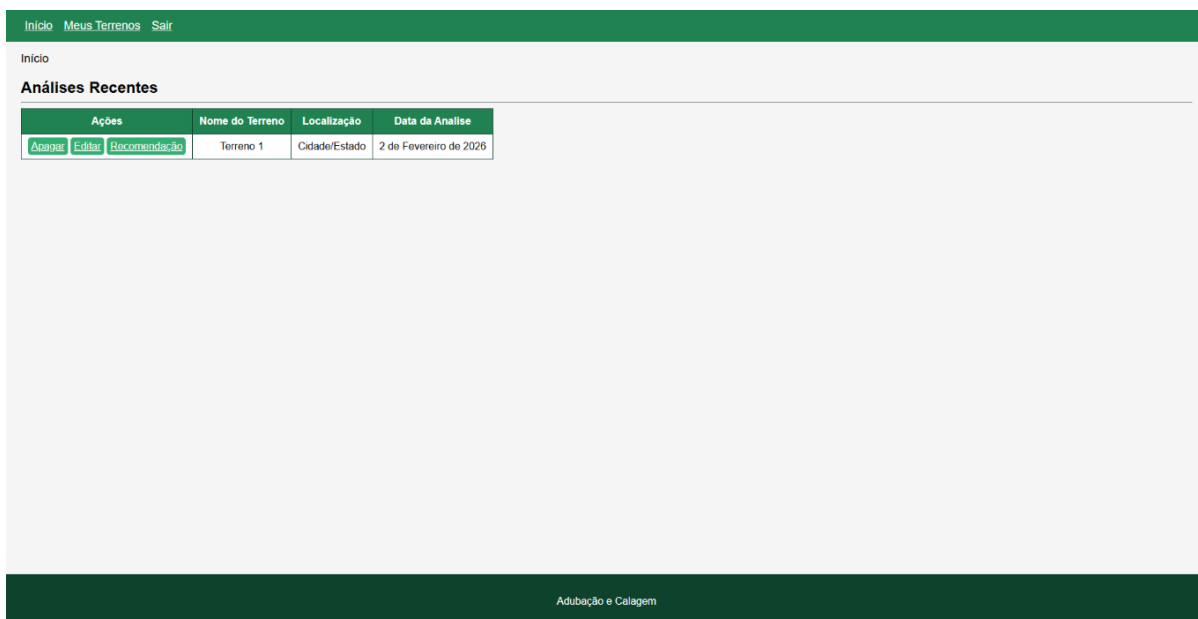
Acessar

Não possui uma conta? [Crie uma conta](#)

Fonte: Elaborada pelos autores, 2026.

Efetando o login, o usuário será levado a tela inicial do sistema (Figura 3), com um menu de navegação localizado na parte superior da tela e o corpo principal da página onde todas suas análises de solo recentes são apresentadas.

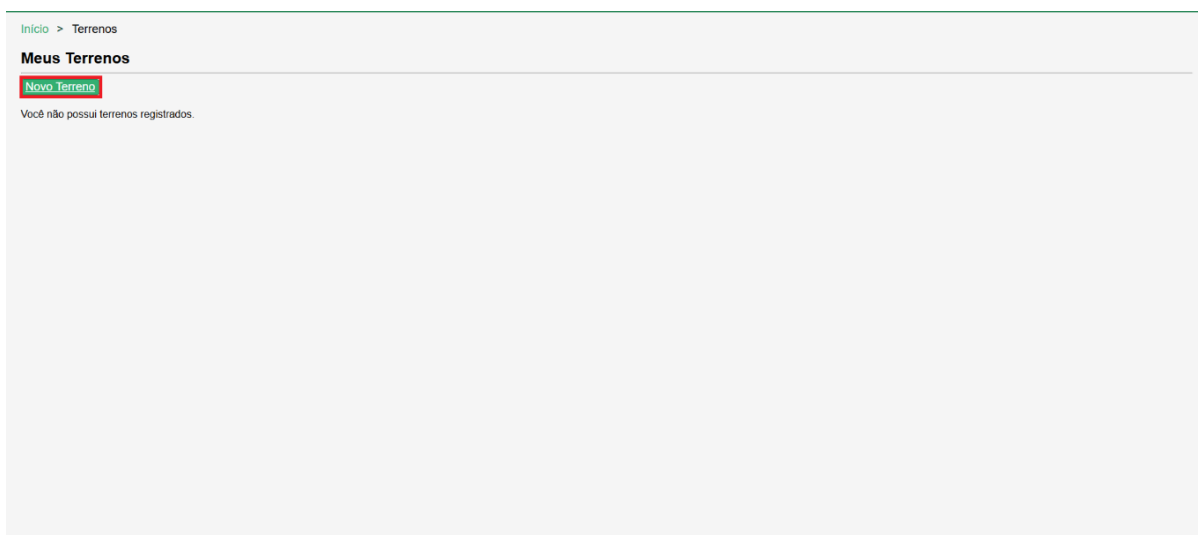
Figura 3 - Tela Inicial.



Fonte: Elaborada pelos autores, 2026.

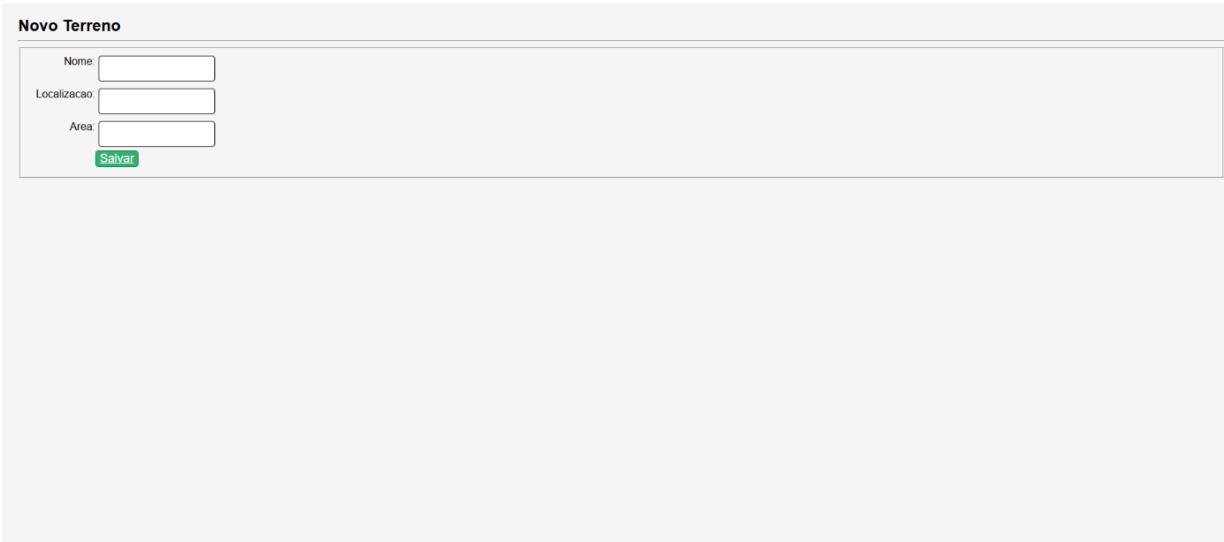
Um dos primeiros passos para o funcionamento do sistema é o cadastro de um terreno. Para isso, o Produtor Rural deve acessar o menu "Meus Terrenos", que o leva a uma página onde são apresentados todos os terrenos cadastrados pelo usuário (Figura 4), juntamente com a opção de cadastrar um novo terreno (Figura 5).

Figura 4 - Meus Terrenos.



Fonte: Elaborada pelos autores, 2026.

Figura 5 - Novo Terreno.



Novo Terreno

Nome

Localizacao

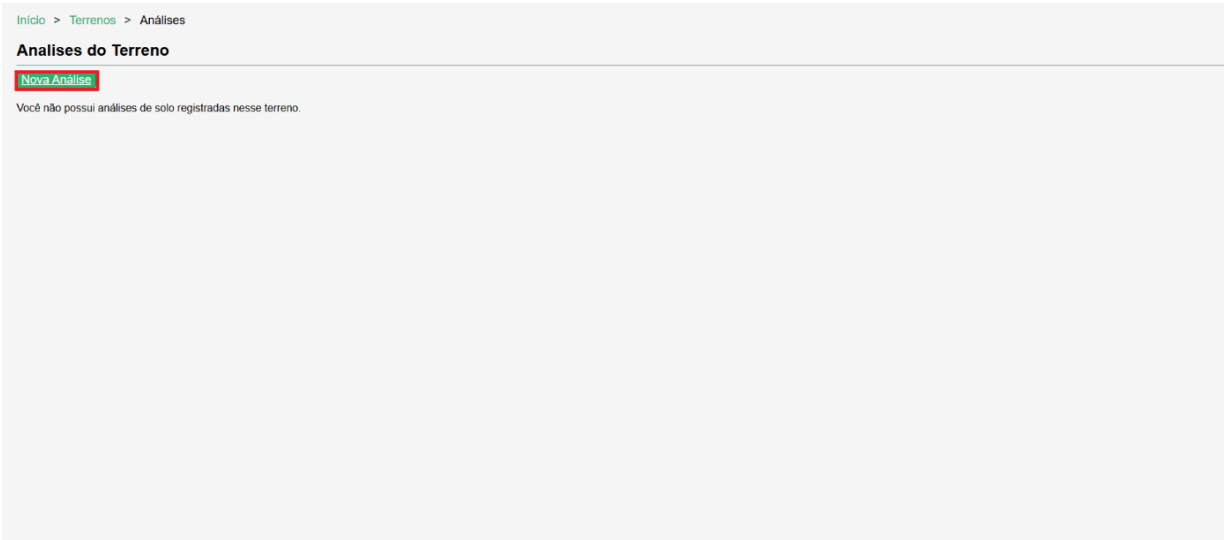
Area

[Salvar](#)

Fonte: Elaborada pelos autores, 2026.

Com o terreno devidamente cadastrado, o próximo passo é cadastrar uma análise de solo para esse terreno. Para isso, o Produtor Rural deve acessar a opção "Análises" do terreno desejado, que o leva para a uma página onde são apresentadas todas as análises de solo realizadas nesse terreno (Figura 6), juntamente com a opção de cadastrar uma nova análise de solo.

Figura 6 - Análises de Solo do Terreno.



[Inicio](#) > [Terrenos](#) > [Análises](#)

Análises do Terreno

[Nova Análise](#)

Você não possui análises de solo registradas nesse terreno.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2026.

No cadastro de análise de solo, primeiramente, são necessárias as informações da composição do solo, % de argila, % de areia e % de silte, e as informações da ocupação dos animais no piquete em dias, período de ocupação e período de descanso (Figura 7).

Figura 7 - Nova Análise.

Nova Análise

Argila:

Areia:

Silte:

Período ocupação:

Período descanso:

Fonte: Elaborada pelos autores, 2026.

Após isso, o Produtor Rural deverá inserir as informações da análise da superfície do solo: ph, fosforo, potássio disponível, cálcio trocável, magnésio trocável, acidez trocável, acidez potencial, soma das bases, capacidade de troca de cátions efetiva, capacidade de troca de cátions efetiva a ph 7, saturação por bases, índice de saturação de alumínio, matéria orgânica, fosforo remanescente, zinco, ferro, manganês, cobre, boro e enxofre (Figura 8).

Figura 8 - Amostra de Solo da Superfície (0cm - 20cm).

Amostra de Solo da Superfície(0cm - 20cm)

pH:

P (mg/dm³):

K (mg/dm³):

Ca+2 (Cmol/dm³):

Mg+2 (Cmol/dm³):

Al+3 (Cmol/dm³):

H + Al (Cmol/dm³):

SB (Cmol/dm³):

t (Cmol/dm³):

T (Cmol/dm³):

V (%):

m(%):

MO (Dag/kg):

P rem (mg/L):

Zn (mg/dm³):

Fonte: Elaborada pelos autores, 2026

Em seguida, inserir as informações da análise da subsuperfície do solo: ph, cálcio trocável e índice de saturação de alumínio (Figura 9).

Figura 9 - Amostra de Solo da Subsuperfície (20cm - 40cm).

Amostra de Solo da Subsuperfície(20cm - 40cm)

pH:

Ca+2
(Cmolc/dm³):

m(%):

Fonte: Elaborada pelos autores, 2026.

Ao cadastrar a análise de solo, o Produtor Rural será automaticamente direcionado para a página da recomendação de adubação e calagem de acordo com a análise de solo realizada, essa página possui um relatório das quantidades necessárias de cada nutriente para o cultivo eficiente de forrageiras (Figura 10).

Figura 10 - Recomendação.

Início > Terrenos > Análises > Recomendação

Recomendação

Calagem

Quantidade Total de Calcário: 16,08 t
 Necessidade de Calcário (NC): 3,22 t/ha
 Sacos de Calcário (50kg): 322
 Recomendação de Calcário: Realizar a aplicação a lanço no mês de Maio, em condições de vento calmo, assegurando a distribuição uniforme do corretivo.

Gessagem

Quantidade Total de Gesso: 4,02 t
 Necessidade de Gesso (NG): 0,80 t/ha
 Sacos de Gesso (50kg): 81
 Recomendação de Gesso: Misturar com o calcário e aplicar no mês de Maio, em condições de vento calmo, assegurando a distribuição uniforme do corretivo.

Adubação Potássica (K)

Quantidade Total de Cloreto de Potássio (KC1): 1281,76 kg
 Necessidade de Cloreto de Potássio (KC1): 256,35 kg/ha
 Sacos de Cloreto de Potássio (KC1): 26
 Quantidade de Cloreto de Potássio/Piquete: 10,34 kg
 Recomendação de Cloreto de Potássio: Aplicar superficialmente no fim da tarde/início da noite sempre que tirar os animais do piquete.

Adubação Fosfatada (P)

Quantidade Total Opção MAP: 682,69 kg
 Necessidade de Fosforo (P205): 136,54 kg/ha
 Sacos de Fosforo (P205): 14

Fonte: Elaborada pelos autores, 2026.

5 CONCLUSÃO

O objetivo principal deste projeto foi o desenvolvimento de um sistema *web* focado em fornecer o suporte necessário para facilitar a recomendação de calagem e adubação em pastagens agrícolas aplicado em piquetes rotativos. Objetivo esse que se apresenta concluído, juntamente com seus objetivos específicos, sendo estes: realizar diagnóstico do solo, quantificar calagem e adubação, implementar em ambiente computacional a metodologia proposta, testar o sistema com dados reais e avaliar seu desempenho, levantar critérios técnicos para recomendação em piquetes, armazenar informações no banco de dados para futuras comparações.

Vale ressaltar que ainda existem possibilidades de escalar o sistema, implementando novas funcionalidades e integrações. Para esse fim é sugerido o tópico, capacidade de gerar relatórios compostos de todas as análises realizadas em um terreno específico.

O desenvolvimento de um software para recomendação de adubação e calagem no cultivo de forrageiras representa um avanço significativo na gestão de pastagens, ao oferecer uma solução tecnológica alinhada às necessidades específicas dos produtores rurais. Os resultados esperados, como realizar diagnósticos do solo e quantificar calagem e adubação, efetuados com passos simples e claros para o usuário final evidenciam o potencial transformador do sistema.

REFERÊNCIAS

- AGRO, P. **Quais os impactos das pastagens degradadas na agropecuária?**, 2023. Disponível em: <https://pontaagro.com/pastagens-degradadas/>. Acesso em: 14 jun. 2025.
- AGRO, P. S. **Manejo sustentável do solo para pastagem**, 2023. Disponível em: <https://polosebraeagro.seb.rae.com.br/manejo-sustentavel-do-solo-para-pastagem/>. Acesso em: 13 jun. 2025.
- AGRO20. **Colmo: o que é, tipos e importância na agricultura**, 2025. Disponível em: <https://www.agro20.com.br/colmo/>. Acesso em: 16 jul. 2025.
- ALURA. **HTML: o que é, a importância para a Web, como aprender e um Guia para iniciantes**, 2023. Disponível em: <https://www.alura.com.br/artigos/html>. Acesso em: 14 jul. 2025.
- ALVES, A. A.; REIS, E. M.; NETO, M. F. D. S. **Forrageiras indicadas para a alimentação animal no Semiárido brasileiro**. Petrolina, PE: [s.n.], 2015. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1026866/1/CarilhaAndrea.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2025.
- AMAZON WEB SERVICES. **Diferença entre MongoDB e MySQL: comparação entre sistemas de gerenciamento de banco de dados**, 2025. Disponível em: <https://aws.amazon.com/pt/compare/the-difference-between-mongodb-vs-mysql/>. Acesso em: 14 jul. 2025.
- BRASIL, C. D. A. E. P. D. **Programa Inclusão Digital Rural**, 2018. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/projetos-e-programas/inclus%C3%A3o-digital-rural>. Acesso em: 22 set. 2025.
- CAFÉ, F. J. Mehlich 1 e resina: veja a diferença entre os dois extratores. **CAFÉ Extratores**, 2021. Acesso em: 27 jan. 2026.
- CARNEVALLI, R. A. **Estratégias de manejo rotacionado de pastagens**. Juiz de Fora, 2012. 8 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/951055/1/Estrategias-de-manejo-rotacionado-em-pastagens.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2026.
- CARNEVALLI, R. A. **Princípios sobre manejo de pastagens**. São Carlos, 2014. 36 p. (Documentos / Embrapa Pecuária Sudeste, 135).
- CARNEVALLI, ROBERTA APARECIDA. **Sistemas de pastejo rotacionado intensivo**. Londrina, 2012. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/395172/1/Sistemas-de-pastejo-rotacionado1.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2026.
- CARNEVALLI ROBERTA APARECIDA SILVA, S. C. D. S. A. F. C. C. A. B. D. F. J. L. P. C. G. S. Dinâmica do acúmulo de matéria seca em pastagens de tifton 85 sob pastejo. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 3, p. 449–457, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sa/a/3ZqPJFZRhD5tFh4tRYNSJVn/>. Acesso em: 27 jan. 2026.

CARVALHO, A. E. A. **Aprendendo Metodologia Científica**. O Nome da Rosa, 2000. Acesso em: 16 jul. 2025. Disponível em: http://www.relin.letras.ufmg.br/shlee/Metodologia_pesquisa.pdf. Acesso em: 27 jan. 2026.

CODAR, H. D. **O que é CSS? Para que serve, como funciona, cursos e dicas**, 2024. Disponível em: <https://horadecodar.com.br/o-que-e-css/>. Acesso em: 10 jul. 2025.

COSTA, M. M. M. N. **Micronutrientes na Agricultura**. Brasília: Embrapa, 2020.

COSTA, N. D. L.; BENDAHAN, A. B. **Enxofre em pastagens tropicais**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2024.

COSTA, N. D. L.; OTHERS. **Calagem e adubação de pastagens**. Campo Grande: Embrapa, 2010.

CRUZ, P. G. D.; LIMA, R. A. D.; SALMAN, A. K. D. **Pastejo Rotacionado: metas de manejo e eficiência produtiva**, 2017. Embrapa Rondônia. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1072007/1/PastejoRotacionadoFINAL.pdf>. Acesso em: 22 set. 2025.

DEVMEDIA. **Guia completo de Python: aprenda do básico ao avançado**, 2023. Disponível em: <https://www.devmedia.com.br/guia/python/37024>. Acesso em: 01 jul. 2025.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: o que é e como evitar**, Brasília, DF: [s.n.], 2017. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1070416/1/TC1117CartilhaPastagemV04.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2025.

DJANGO SOFTWARE FOUNDATION. **Django Project – site oficial**, 2025. Disponível em: <https://www.djangoproject.com/>. Acesso em: 13 jul. 2025.

DJANGO STARS. **Top 14 Pros of Using Django for Python Web Development**, 2025. Disponível em: <https://djangostars.com/blog/top-14-pros-using-django-web-development/>. Acesso em: 14 jul. 2025.

DOCS, M. W. **CSS: Cascading Style Sheets**, 2025. Disponível em: <https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Web/CSS>. Acesso em: 10 jul. 2025.

EBAC. **CSS: o que é, para que serve e como usar**, 2023. Publicado em: 14 ago. 2023. Disponível em: <https://ebaonline.com.br/blog/o-que-e-css-e-para-que-serve-seo>. Acesso em: 13 jul. 2025.

EMBRAPA. **Interpretação de análise de solo para recomendação de adubação e calagem**. Sete Lagoas, 2002. Comunicado Técnico, 43.

EMBRAPA. **Adubação de pastagens: saiba por quê**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2016.

EMBRAPA. **Magnésio: manejo para o equilíbrio nutricional da soja**. Londrina, 2020. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1125328/1/DOCUMENTO-430-online.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2025.

EMBRAPA. **Sistemas de manejo de pastagens tropicais**. Boa Vista, 2020. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1161230/1/AGROLINK-Praticas-de-Manejo-de-Pastagens-Tropicais.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2025.

EMBRAPA. **Sistemas de manejo de pastagens tropicais**, 2020. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1161230/1/AGROLINK-Praticas-de-Manejo-de-Pastagens-Tropicais.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2025.

EMBRAPA. **Tecnologias digitais aplicadas à agropecuária: inovação para a sustentabilidade**. Brasília: Embrapa, 2020.

EMBRAPA. **Planejamento da Adubação e Calagem**, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/manejo-do-solo-e-adubacao/adubacao-e-fertilidade-do-solo/planejamento-da-adubacao-e-calagem>. Acesso em: 14 jul. 2025.

EMBRAPA. **Tecnologias aumentam eficiência do uso de nutrientes no campo**, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticia/s/-/noticia/76221949/artigo-tecnologias-aumentam-eficiencia-do-uso-de-nutrientes-no-campo>. Acesso em: 14 de jul. 2025.

EMBRAPA. **Inclusão digital mantém pequenos produtores no campo**, 2024. Disponível em: <https://globo rural.globo.com/tecnologia-e-inovacao/noticia/2024/06/inclusao-digital-mantem-pequenos-produtores-no-campo.html>. Acesso em: 22 set. 2025.

EMBRAPA GADO DE CORTE. **Produção de matéria seca (MS)**. Campo Grande: Embrapa, n.d. Disponível em: <https://old.cnpgc.embrapa.br/publicacoes/ct/ct01/08producao.html>. Acesso em: 3 fev. 2026.

ESPINHA, J. **Etapas de um projeto: o que são e como aplicá-las na prática**, 2025. Disponível em: <https://artia.com/blog/etapas-de-um-projeto/>. Acesso em: 16 jul. 2025.

FAGUNDES, R. **Python vs. Java: uma análise comparativa para desenvolvedores**, 2025. Publicado em: 10 jul. 2025. Disponível em: <https://www.dio.me/articles/python-vs-java-uma-analise-comparativa-para-desenvolvedores-518649f699ac>. Acesso em: 13 jul. 2025.

FERREIRA, J. D.; ANDRADE, A. T. Tecnologia digital no agronegócio: avanços e perspectivas. **Revista Brasileira de Agroinformática**, v. 5, n. 2, p. 45–58, 2022.

FOUNDATION, D. S. **Django: the web framework for perfectionists with deadlines**, 2025. Disponível em: <https://www.djangoproject.com/>. Acesso em: 10 jul. 2025.

FOUNDATION, M. **JavaScript Guide**, 2025. <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/Guide>. Acesso em: 24 jul. 2025.

FREECODECAMP. **What is HTML – Definition and Meaning of Hypertext Markup Language**, 2025. <https://www.freecodecamp.org/news/what-is-html-definition-and-meaning/>. Acesso: 24 jul. 2025.

HERLING VALDO RODRIGUES LUZ, P. H. D. C. F. I. B. R. D. P. **Adubação de pastagens: saiba por quê**, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1354377/1743400/Adubacao+de+Pastagens.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2025.

HOEFT, R. G.; WALSH, L. M.; KEENEY, D. R. Evaluation of various extractants for available sulfur. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 37, p. 401–404, 1973.

HOSTINGER. **O que é MySQL? Guia simples e direto para iniciantes**, 2024. Disponível em: <https://www.hostinger.com/br/tutoriais/o-que-e-mysql>. Acesso em: 10 jul. 2025.

IAGRO. **A importância da análise de solo para o planejamento agrícola**, 2022. Disponível em: <https://www.iagro.ms.gov.br/a-importancia-da-analise-de-solo-para-o-planejamento-agricola/>. Acesso em: 22 set. 2025.

IBEAS, I. B. D. E. A. E. S. A. **Análise do solo: determinações, cálculos e interpretação**, 2021. Disponível em: <https://ibeasa.org/wp-content/uploads/2021/01/Analise-do-solo-Deter-minacoes-calculos-e-interpretacao.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2026.

KRAUSE, W. J. Physiology, cell structure. In: **StatPearls**. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2020. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK553175/>. Acesso em: 3 fev. 2026.

KUBOTA, L. C.; ROSA, M. B. **Internet das Coisas no Brasil: análise e recomendação de políticas com ênfase no agronegócio**. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/server/api/core/bitstreams/e2727934-9853-43b5-96ec-347989560727/content>. Citado na página 30. Acesso em: 3 fev. 2026.

LOCAWEB. **O que é JavaScript? Guia completo para iniciantes**, 2024. Disponível em: <https://www.locaweb.com.br/blog/temas/codigo-aberto/o-que-e-javascript/>. Acesso em: 10 jul. 2025.

MACEDO, M. C. M. **Recomendações de calagem e adubação para pastagens na região do Cerrado**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2004.

MARINHO, H. S. **Bioquímica do Enxofre**. Lisboa: Associação de Estudantes da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2003.

MARTINS, H. M. D. C. B. **Utilização da linguagem Python para desenvolver o pensamento computacional no ensino secundário**. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Universidade NOVA de Lisboa, Lisboa, fev. 2023. Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/158716/1/Martins_2023.pdf. Acesso em: 13 jul. 2025.

MDN WEB DOCS. **Adicionando Interatividade ao Seu Primeiro Site**, 2025. Disponível em: https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Learn_web_development/Getting_started/Your_first_website/Adding_interactivity. Acesso em: 14 jul. 2025.

MENEZES, N. N. C. **Introdução à programação com Python: algoritmos e lógica de**

programação para iniciantes. 4. ed. [S.l.]: Novatec, 2024. ISBN 978-85-7522-886-9.

MOZILLA FOUNDATION. **HTML: HyperText Markup Language**, 2025. Disponível em: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTML>. Acesso: 24 jul. 2025.

MOZILLA FOUNDATION. **JavaScript: linguagem de programação para web**, 2025. Disponível em: <https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Web/JavaScript>. Acesso em: 10 jul. 2025.

ORACLE. **MySQL: entendendo o que é e como é usado**, 2024. Publicado em: 29 ago. 2024. Disponível em: <https://www.oracle.com/br/mysql/what-is-mysql/>. Acesso em: 13 jul. 2025.

ORACLE BRASIL. **MySQL: entendendo o que é e como é usado**, 2024. Disponível em: <https://www.oracle.com/br/mysql/what-is-mysql/>. Acesso em: 14 jul. 2025.

PAULO, U. D. S. **Estabelecimento, práticas corretivas e adubação de pastagens**. São Paulo: [s.n.], 2021. Disponível em: https://sites.usp.br/gefepfzea/wp-content/uploads/sites/134/2014/05/Material-S_uporte_Calagem-e-adubaçãõ.pdf. Acesso em: 10 jun. 2025.

PFLEEGER, S. L.; ATLEE, J. M. **Engenharia de Software: teoria e prática**. Pearson Prentice Hall, 2019. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=d1qnDwAAQBAJ>. Acesso em: 16 jul. 2025.

POMPEU ROBERTO C. F. *et al.* **Estrutura e composição químico-bromatológica do cultivar BRS Massai sob épocas de vedação e idades de utilização**. Sobral, CE, 2018. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1099743/1/CNPC2018Cot172.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2025.

REHAGRO. **Sistema de piquetes: como garantir um manejo eficiente?**, 2024. Disponível em: <https://rehagro.com.br/blog/sistema-de-piquetes-na-pecuaria-leiteira/>. Acesso em: 10 jul. 2025.

RESENDE, H.; BOTREL, M. D. A.; ALVIM, M. J. **Calagem e adubação de plantio**. Brasília, 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/criacao-s/gado_de_leite/producao/sistemas-de-producao/alimentacao/formacao-e-manejo-de-pastagens/calagem-e-adubacao-de-plantio. Acesso em: 10 jul. 2025.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas, 2010. 26 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/882598/1/BPD8.pdf>. Acesso em: 3 fev. 2026.

SCICROP. **Adoção de tecnologias no agro: o futuro da produção rural**, 2025. <https://www.scicrop.com/2025/01/15/adocao-de-tecnologias-no-agro-o-futuro-da-producao-rural/>. Acesso em: 10 jun. 2025.

SENAR GOIÁS. **O que é Agricultura de Precisão**, 2023. Disponível em: <https://ead.senargo.org.br/blog/o-que-e-agricultura-de-precisao>. Acessado em 14 de julho de

2025.

SILVA, C. C.; OTHERS. Lignificação em plantas: aspectos fisiológicos e implicações ecológicas. **Floresta e Ambiente**, SciELO, v. 27, n. 1, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/floram/a/w5SXs3tHY5BPqGV9kNnCb8L/?lang=pt>. Acesso em: 3 fev. 2026.

SILVA J. G. DA COSTA, J. L. D. **Sistema de produção: maracujá**. Brasília, DF, 2004. 32 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/569854/1/comtec101.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2025.

SILVA M. L. D. *et al.* Adubatec – software para recomendação de calagem e adubação. In: **13ª Jornada Científica da Embrapa Mandioca e Fruticultura**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2019. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1123066/1/ANAIS-2019-Ainfo-66.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2025.

SOUZA, R. F. D.; FAQUIN, V.; TORRES, P. R. F.; BALIZA, D. P. Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 30, n. 6, p. 975–983, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/YSLw5VcfXqRDSdRM8DbWHMB/>. Citado na página 30.

SYNGENTA. **Análise do solo: importância e principais avaliações**, 2023. Disponível em: <https://maisagro.syngenta.com.br/tudo-sobre-agro/analise-do-solo-importancia-e-principais-avaliacoes/>. Acesso em: 22 set. 2025.

TAUBE, D. C. **Recomendação de calagem por meio de sistema de suporte à decisão**, 2016. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/661126>. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira. Acesso em: 10 jul. 2025.

TECH, D. **Tudo sobre a linguagem Python: o que é, quem usa, para que serve**, 2024. Disponível em: <https://didatica.tech/a-linguagem-python/>. Acesso em: 01 jul. 2025.

TECMUNDO. **O que é CSS: o que é e como funciona?**, 2024. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/internet/400120-o-que-e-css-o-que-e-e-como-funciona.html>. Acesso em: 10 jul. 2025.

TREINAWEB. **Semântica HTML: O que é e por que é importante**, 2023. Disponível em: <https://www.treinaweb.com.br/blog/semantica-html-o-que-e-e-por-que-e-importante>. Acesso em: 14 jul. 2025.

UNIVESP. **Engenharia de Software - Aula 01 – Introdução**, 2017. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=vAHHdnIV8rU>. Acesso em: 17 jul. 2025.

WIKIPÉDIA. **Fotoassimilado**, 2026. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Fotoassimilado>. Acesso em: 3 fev. 2026.

ZONTA, J. H. *et al.* Manejo do solo, adubação e nutrição de plantas forrageiras. In: **Manejo do Solo, Adubação e Nutrição de Plantas Forrageiras**. Maringá: Uniedusul Editora, 2024.