

ÁREA TEMÁTICA: 2 EMPREENDEDORISMO E STARTUPS

**DR. PASTAGEM: ESTUDO SOBRE TECNOLOGIA APLICADA PARA DIAGNÓSTICO
E RECUPERAÇÃO DE PASTAGENS NA PECUÁRIA BRASILEIRA**

Resumo

A degradação das pastagens é um dos principais entraves à intensificação sustentável da pecuária brasileira. Estima-se que mais da metade das áreas esteja degradada em algum grau, afetando a renda de pequenos e médios produtores e o equilíbrio ambiental. Assim, desenvolveu-se o sistema Dr. Pastagem, solução digital baseada em sensoriamento remoto e inteligência artificial para diagnóstico automatizado do nível de degradação e apoio à decisão entre manutenção, recuperação ou renovação. A metodologia qualitativa, com entrevistas a técnicos e atores da cadeia pecuária, permitiu caracterizar uma persona de referência: o Produtor Pragmático, de adoção incremental e com pouco suporte técnico. O modelo proposto de implementação de diagnóstico remoto favorece a escalabilidade. A solução contribui tecnicamente para aumentar a produtividade e, economicamente, para um mercado de recuperação estimado em R\$383 bilhões. Além disso, alinha-se às metas do Plano ABC+ de recuperação de áreas e redução de emissões de gases de efeito estufa, ao mesmo tempo em que contribui para mitigar a pobreza rural por meio do aumento da eficiência forrageira e da resiliência.

Palavras-chave: Recuperação de pastagens, Diagnóstico remoto, Inteligência artificial, Pecuária sustentável, Sensoriamento remoto.

Abstract

Pasture degradation is one of the main barriers to the sustainable intensification of Brazilian livestock. It is estimated that more than half of the areas are degraded to some extent, affecting the income of small and medium-sized producers and the environmental balance. To address this, the Dr. Pastagem system was developed, a digital solution based on remote sensing and artificial intelligence for automated diagnosis of degradation levels and decision support between maintenance, recovery, or renewal. The qualitative methodology, with interviews of technicians and livestock chain stakeholders, helped define a reference persona: the Pragmatic Producer, characterized by incremental adoption and limited technical support. The proposed model of remote diagnostic implementation favors scalability. The solution contributes technically to increasing productivity and economically to a recovery market estimated at R\$383 billion. Furthermore, it aligns with the goals of the ABC+ Plan for land recovery and greenhouse gas emission reduction, while also helping mitigate rural poverty through improved forage efficiency and resilience.

Keywords: Pasture restoration; Remote diagnosis; Artificial intelligence; Sustainable livestock; Remote sensing.

1. Introdução

A pecuária brasileira é uma das principais engrenagens econômicas do país, lidera as exportações de carne bovina e responde por cerca de 7,4% do PIB (CNA, 2025; ABIEC, 2024). A produção ocorre sobretudo a pasto e sobre extensa base territorial, com 164 milhões de hectares de pastagem (MAPBIOMAS, s.d.), mas a produtividade permanece aquém do potencial técnico devido à degradação das pastagens (EMBRAPA, 2022; ABIEC, 2024; STRASSBURG et al., 2014). Essa degradação está relacionada a manejo inadequado, cuja origem está vinculada ao desconhecimento técnico e à subvalorização do capim como ativo produtivo (MACEDO et al., 2012; ZIMMER et al., 2012; SANTOS; MARTUSCELLO, 2022).

Embora o conhecimento técnico seja essencial, evidências do programa ABC Cerrado mostram que capacitações pontuais, por si só, não são suficientes para alterar práticas consolidadas. Os maiores avanços em restauração de áreas e adoção de boas práticas ocorreram quando esse conhecimento foi aplicado com o apoio de assistência técnica individualizada e continuada, demonstrando que a aplicação prática do saber técnico é a principal alavanca de transformação no manejo das pastagens (BRAGANÇA et al., 2022).

A demanda por soluções é reforçada pela estrutura produtiva heterogênea: a maioria dos estabelecimentos pertence à agricultura familiar e enfrenta restrições a crédito, tecnologia e assistência técnica (IBGE, 2019; SANTOS; SANTANA, 2020; FASIABEN et al., 2022). Resolver esse hiato gera benefícios econômicos, sociais e ambientais: há um mercado estimado de R\$ 383 bilhões para recuperação de pastagens, ganhos de eficiência e mitigação de desmatamento com intensificação sustentável, além de efeitos sobre renda e pobreza rural (CARLOS et al., 2022; CARDOSO et al., 2020; DE OLIVEIRA SILVA et al., 2018; MAPA, 2023; PETERS 2001; PEDROSA et al., 2019/2020).

No plano de políticas públicas, o Plano ABC+ estabelece como meta para 2030 a recuperação de 30 milhões de hectares de pastagens degradadas — eixo central para aumentar a produtividade, reduzir emissões de GEE e evitar desmatamento, promovendo baixa emissão no agro brasileiro (MAPA, 2023).

Este estudo apresenta, em nível de prova de conceito, o Dr. Pastagem como solução escalável de apoio ao manejo destinada a pequenos e médios produtores. O sistema integra diagnóstico remoto com bases públicas e anamnese estruturada para priorizar talhões e emitir recomendações proporcionais ao risco (manutenção, recuperação ou renovação), sem substituir a validação agrônômica in loco. O objetivo é reduzir o hiato produtivo, elevar a eficiência forrageira e aumentar a previsibilidade econômica das decisões de manejo. O artigo organiza-se da seguinte forma: a seção seguinte apresenta a fundamentação teórica; na sequência, descreve-se a metodologia; posteriormente, discutem-se os resultados; e, por fim, são apresentadas as conclusões e contribuições.

2. Referencial Teórico

2.1 A relevância e organização produtiva a pasto

A produção de carne bovina no Brasil é predominantemente baseada em sistemas de pastagem, o que conforma a organização produtiva do setor e explica parte de suas vantagens de custo (PEREIRA et al., 2024). A predominância do sistema

a pasto é reconhecida por avaliações técnicas nacionais, que também registram a ampla base territorial associada a essa forma de produção (EMBRAPA, 2022). Os mapeamentos especializados corroboram a magnitude da base de pastagens já indicada pelas fontes técnicas citadas (LAPIG, 2023). Apesar desse ativo territorial, persiste um hiato entre produtividade observada e potencial técnico, vinculado ao processo de pastagem degradada e às suas implicações sobre capacidade de suporte e desempenho zootécnico (EMBRAPA, 2022).

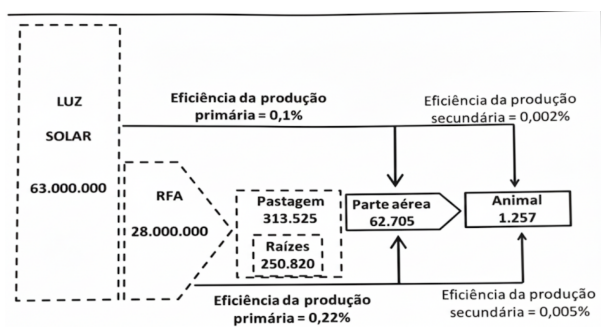
2.2 Definição de Pastagem

Neste estudo, pasto é a vegetação (capim, forragem) que serve de alimento para o gado, e também pode se referir ao terreno onde essa vegetação cresce, ou seja, a pastagem. Além de sua função primária de alimentar animais como bois e ovelhas, o pasto bem manejado também contribui para o sequestro de carbono e a saúde do solo, tornando-se uma parte importante da produção animal sustentável. O termo abrange formações naturais melhoradas e pastos semeados, variando no grau de intervenção, mas unificados pelo uso como terras destinadas ao pastejo direto (ALLEN et al., 2011).

2.3 A transformação da pastagem em alimento

No sistema a pasto, a energia solar é parcialmente capturada pelas gramíneas via fotossíntese e convertida em biomassa vegetal, que se distribui entre raízes e parte aérea. Apenas a fração verde e acessível da parte aérea é colhida pelos ruminantes, convertendo-se em produção animal com perdas inevitáveis por digestão, manutenção e manejo. A disponibilidade e a qualidade da folha verde regulam a colheita pelo pastejo e condicionam o desempenho por área e por cabeça ao longo do tempo (BRISKE; HEITSCHMIDT, 1991).

FIGURA 1 — Conversão da energia solar em produção primária (pastagem) e produção secundária (animal) em sistemas a pasto. Apenas uma pequena fração da RFA torna-se folha verde acessível, e parte ainda menor converte-se em produto animal; as setas indicam perdas metabólicas e de manejo ao longo do fluxo.



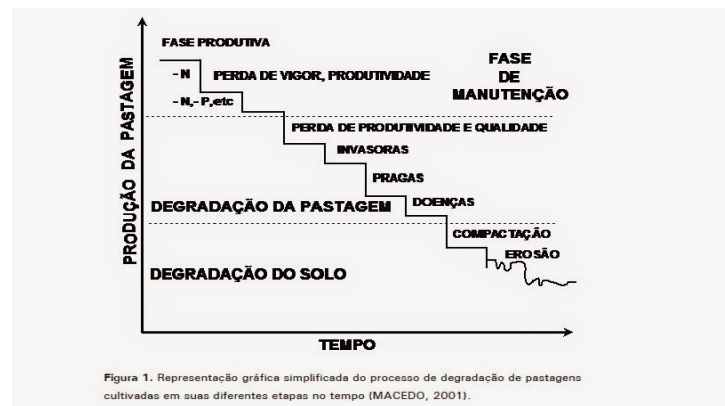
Fonte: BRISKE; HEITSCHMIDT (1991).

2.4 Degradação: conceitos, estágios e consequências

A pastagem degradada resulta de um processo evolutivo de perda de vigor, produtividade e capacidade de recuperação natural, desencadeado por manejos inadequados que reduzem a qualidade e a oferta de forragem (MACEDO et al., 2012). À medida que a pastagem se degrada, ocorre redução da área foliar e da interceptação

de luz, o que compromete a fotossíntese e desacelera a rebrota das plantas (EMBRAPA, 2022). Como consequência, encolhe a fração de parte aérea colhida e diminui a capacidade de suporte, com impacto direto no desempenho animal (MACEDO et al., 2012). Em estágios iniciais, ajustes de manejo e controle de lotação tendem a ser suficientes para reverter o quadro e restabelecer a dinâmica de crescimento (ZIMMER et al., 2012). Em situações avançadas, requerem-se intervenções mais onerosas que restaurem a base forrageira e o ambiente de produção. Para fins operacionais, recuperação significa restaurar a capacidade produtiva do pasto existente por meio de correção, adubação, controle de invasoras e ajustes de manejo, com eventuais replantios parciais quando necessário. Renovação implica reformar o pasto com o replante da cobertura forrageira, podendo empregar culturas anuais no período de transição para reconstituir o sistema (MACEDO et al., 2012).

FIGURA 2 - Representação gráfica simplificada do processo de degradação de pastagens cultivadas em suas diferentes etapas no tempo.



Fonte: MACEDO, M. C. M. (2001).

2.5 Causas de manejo e barreiras de adoção

No Brasil, a causa proximal da degradação está associada ao manejo inadequado do solo, das forrageiras e dos animais, que desequilibra o sistema e acelera perdas de produtividade (MACEDO et al., 2012). A superlotação acima da capacidade de suporte compromete a rebrota e a persistência do dossel, agravando a queda de oferta forrageira (ZIMMER et al., 2012). O baixo uso de correção e adubação em solos ácidos e pobres em nutrientes reduz a longevidade do pasto e sua produção de biomassa. Práticas conservacionistas insuficientes e preparo excessivo do solo intensificam problemas físicos como compactação e escoamento superficial, com efeitos negativos sobre o crescimento das plantas (MACEDO et al., 2012). Há também determinantes comportamentais e gerenciais, como o desconhecimento técnico e a subvalorização do capim como ativo central da produção, que dificultam a priorização do manejo diário de altura, lotação e descanso (SANTOS; MARTUSCELLO, 2022). A agropecuária é composta majoritariamente por estabelecimentos de agricultura familiar, o que indica um tecido produtivo com elevada heterogeneidade (IBGE, 2019). Nesse segmento, são frequentes restrições a crédito, tecnologia e assistência técnica, que

limitam a adoção consistente de práticas recomendadas (SANTOS; SANTANA, 2020). A concentração de área, pastagens e rebanho em subconjunto mais capitalizado reforça assimetrias na capacidade de investimento e adoção tecnológica (FASIABEN et al., 2022).

2.6 Assistência técnica individualizada e intensificação sustentável

Evidências de campo mostram que capacitações pontuais centradas na transmissão de informação são insuficientes para alterar rotinas de manejo estabelecidas sem acompanhamento próximo. Programas com assistência técnica individualizada e continuada elevaram a adoção de boas práticas e a restauração de áreas em comparação a intervenções baseadas apenas em treinamentos coletivos (BRAGANÇA et al., 2022). Em paralelo, a intensificação sustentável por meio de estratégias como manejo rotacionado e integração de sistemas é apontada como caminho para elevar produtividade e reduzir emissões por unidade de produto (CARDOSO et al., 2020). Essa orientação é coerente com o papel da intensificação na contribuição nacional para mitigação de emissões no setor agropecuário (DE OLIVEIRA SILVA et al., 2018). Políticas públicas como o Plano ABC e o Programa Nacional de Conversão de Pastagens Degradadas estabelecem diretrizes para expandir práticas de baixa emissão e recuperar áreas em escala (MAPA, 2023). O mercado de recuperação e reforma de pastagens apresenta atratividade econômica e demanda por serviços e insumos especializados em diferentes biomas (CARLOS et al., 2022). Em termos sociais, a adoção de forrageiras e práticas adequadas pode melhorar a eficiência de uso da terra e favorecer a renda de pequenos produtores, com efeitos sobre vulnerabilidade e pobreza rural (PEDROSA et al., 2019/2020; PETERS et al., 2001). Nesse contexto, o Dr. Pastagem organiza a assistência técnica individualizada apoiada em dados públicos para converter recomendações em rotinas de manejo no nível da propriedade, reduzindo o hiato entre diagnóstico e execução.

2.7 Diagnóstico remoto via satélite

O MapBiomas Pastagens é uma série anual com cobertura nacional em grade espacial de 30 metros que identifica áreas de pastagem e disponibiliza camadas comparáveis ao longo do tempo (MAPBIOMAS, s.d.). Para a finalidade desta Fundamentação, interessam quatro entregas principais: máscara anual de pastagem, indicador de condição do dossel em níveis de vigor, uma proxy de produtividade de biomassa e a idade operacional do pasto derivada da primeira ocorrência contínua na série. O vigor é classificado em três níveis: baixo, quando o dossel apresenta menor área foliar verde e rebrota limitada; médio, quando há condição intermediária de cobertura e crescimento; e alto, quando o dossel é mais denso, com maior disponibilidade de folha verde e rebrota consistente, refletindo melhor condição da pastagem (MAPBIOMAS, s.d.).

Para fins operacionais neste estudo, a classe de vigor baixo sinaliza pastagens com dossel pouco ativo nas quais, em regra, a reposição da base forrageira tende a demandar renovação do pasto, conforme a distinção entre “recuperação” e “renovação” definida na literatura técnica (MACEDO et al., 2012). A classe de vigor médio indica condição intermediária em que o adequado é investigar causas e orientar ações de recuperação, como correção e adubação, controle de invasoras e ajustes de manejo (MACEDO et al., 2012). Em contraste, a classe de vigor alto sugere manutenção com

monitoramento, preservando práticas que sustentem área foliar e rebrota ao longo do tempo. As classes de vigor aqui referidas derivam de uma série anual comparável com cobertura nacional, o que permite priorizar propriedades e talhões de forma consistente antes do atendimento presencial (MAPBIOMAS, s.d.).

2.8 Síntese e implicações para a Metodologia

A literatura converge para um encadeamento em que manejo inadequado desencadeia a pastagem degradada, reduz a capacidade de suporte e consolida um hiato de produtividade em sistemas majoritariamente a pasto (MACEDO et al., 2012). A assistência técnica individualizada emerge como mecanismo capaz de converter conhecimento em prática e sustentar a adoção de rotinas de manejo que recuperem a base forrageira (BRAGANÇA et al., 2022). A orientação por diretrizes de intensificação sustentável e a existência de instrumentos públicos conferem alinhamento setorial e institucional (DE OLIVEIRA SILVA et al., 2018; MAPA, 2023). A relevância econômica do mercado de recuperação reforça a viabilidade de organizar diagnóstico, priorização e assistência voltada a pequenos e médios produtores (CARLOS et al., 2022). A próxima seção descreverá, em nível metodológico, como as informações públicas de uso e cobertura do solo do Mapbiomas podem ser integradas a uma triagem remota e a uma anamnese estruturada para sustentar o fluxo de decisão do Dr. Pastagem, respeitando limites de inferência e a necessidade de validação agrônômica in loco (EMBRAPA, 2022).

3. Metodologia

A pesquisa adotou delineamento qualitativo-exploratório, articulado em duas frentes complementares: a investigação empírica, conduzida por meio de entrevistas com pecuaristas, e a revisão narrativa de literatura científica e técnica. Essa composição metodológica permitiu, simultaneamente, apreender a degradação de pastagens sob a perspectiva do usuário final e reunir evidências consolidadas para fundamentar os requisitos da proposta, com foco no emprego de diagnóstico remoto sustentado por bases públicas (séries anuais de uso e cobertura do solo, produtos de sensoriamento por satélite e dados climáticos) (MAPBIOMAS, s.d.).

Na primeira frente, realizou-se, entre janeiro e fevereiro de 2025, investigação qualitativa com pecuaristas de diferentes regiões do Brasil. Utilizou-se questionário semiestruturado, composto por perguntas abertas organizadas em blocos temáticos que contemplaram práticas de manejo, experiências com degradação e recuperação, conhecimento e uso de tecnologias digitais, desafios operacionais no campo e critérios de adoção de novas soluções. Ao todo, foram entrevistados dezesseis produtores, distribuídos nas cinco regiões do país, selecionados de modo a assegurar diversidade regional e diferentes níveis de acesso tecnológico e produtivo. As entrevistas, efetuadas por chamadas telefônicas e videochamadas, foram transcritas e submetidas à análise temática, por meio da qual se identificaram padrões recorrentes, variações de perfil e as principais barreiras e expectativas associadas ao uso de ferramentas digitais. Tais achados orientaram o desenho de um modelo de atendimento híbrido que combina triagem por diagnóstico remoto e validação presencial quando necessária, além de especificar os insumos mínimos para o diagnóstico remoto: máscara de pastagem, indicadores de vigor do dossel e idade operacional do pasto, bem como séries climáticas e histórico de uso e cobertura disponíveis em bases públicas (MAPBIOMAS,

s.d.). O objetivo consistiu em converter esses insumos em pontos de controle operacionais, tais como priorização de talhões, definição de janelas de descanso e de entrada, alertas para correção e adubação e rotinas de acompanhamento de baixo atrito, baseadas em evidências fotográficas e anotações de campo (MACEDO et al., 2012).

Na segunda frente, procedeu-se a revisão narrativa estruturada de artigos científicos e relatórios técnicos, com foco em degradação e recuperação/renovação de pastagens, vigor do dossel e idade operacional de pastos, adoção tecnológica e assistência técnica. A busca abrangeu o período de 2010 a 2025 em bases científicas e literatura técnica setorial. Foram incluídos estudos com métricas reprodutíveis e cobertura nacional ou regional, excluindo-se aqueles desprovidos de mensuração objetiva. A análise da literatura sustentou a seleção de variáveis e critérios operacionais compatíveis com diagnóstico remoto baseado em dados públicos notadamente o uso de classes de vigor como proxy da condição da pastagem a partir de sensores ópticos, a distinção entre recuperação e renovação, a priorização de áreas por risco e oportunidade com base em séries históricas e a centralidade da assistência técnica continuada para converter alertas remotos em ajustes de manejo no campo (MACEDO et al., 2012; ZIMMER et al., 2012; BRAGANÇA et al., 2022; MAPBIOMAS, s.d.).

O conjunto desses procedimentos não teve como finalidade a implementação do sistema em condições reais nem a mensuração de resultados agrônômicos, mas sim a construção do protocolo de diagnóstico remoto e apoio à decisão, integrando bases públicas séries climáticas, uso e cobertura, imagens de satélite e cadastros territoriais a rotinas de acompanhamento técnico de baixo custo. Desse modo, a metodologia explicita o percurso de coleta e análise que embasa a formulação da proposta, cujos desdobramentos e resultados incluindo o fluxo de triagem remota, os indicadores operacionais e os gatilhos para validação presencial são apresentados na seção subsequente (MAPBIOMAS, s.d.; MACEDO et al., 2012).

4. Análise e Discussão dos Resultados

4.1 Resultados da pesquisa qualitativa

As respostas dos formulários e as 16 entrevistas indicam a predominância de um pequeno ou médio produtor que reproduz, há anos, práticas culturais herdadas do núcleo familiar, validadas empiricamente e raramente atualizadas. Tal inércia técnica não decorre de resistência deliberada à melhoria, mas de insuficiência de conhecimento aplicável: o produtor não identifica com precisão o que alterar, onde ajustar e como mensurar os resultados. Os principais gargalos derivam de lacunas em correção e fertilidade do solo, ajuste de lotação, calendário de ocupação e descanso, alturas de entrada e de saída do rebanho, escolha de espécie ou cultivar forrageira adequada ao ambiente, controle de plantas invasoras e conservação de solo e água. Na ausência de clareza sobre pontos de alavancagem e de métricas operacionais simples, observa-se subutilização da forragem, manutenção de taxas de lotação aquém do potencial, aceitação de ganhos médios diários reduzidos e convivência com custos ocultos (por exemplo, reformas frequentes de pastagens, suplementação acima do necessário e instabilidade produtiva). O impedimento central, portanto, não reside na falta de vontade nem exclusivamente na restrição de capital, mas no desconhecimento

técnico acerca de onde ocorrem as perdas e de como corrigi-las com segurança, o que reforça a preferência por mudanças graduais, com etapas claras e baixa complexidade. Esse perfil consolida a persona “Produtor Pragmático”, caracterizada por rotinas conservadoras, baixa exposição sistemática a atualização técnica, adoção incremental de práticas, necessidade de passos operacionais objetivos e de métricas simples (altura do pasto, dias de descanso, taxa de lotação e ganho médio diário), abertura ao uso de diagnóstico remoto como triagem com validação presencial quando necessário e valorização de acompanhamento recorrente de baixo atrito, a fim de reduzir risco e aumentar a previsibilidade dos resultados.

4.2 Convergência com a literatura

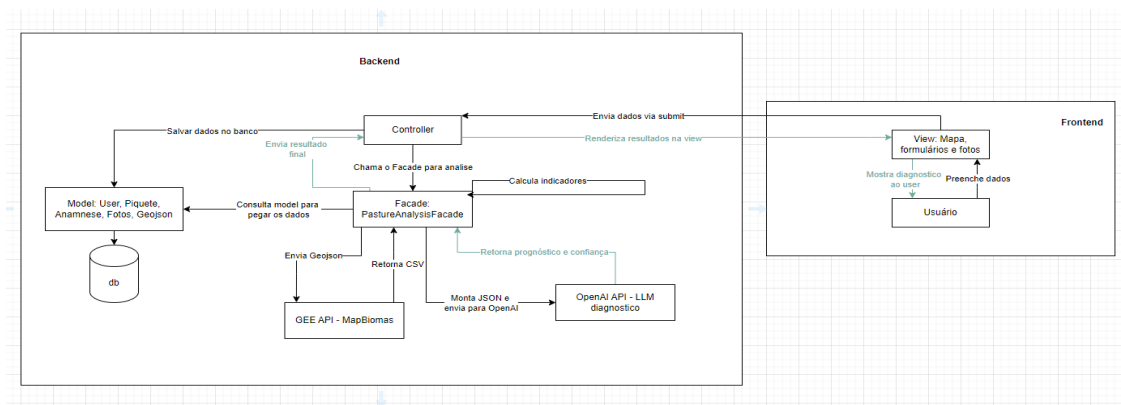
Com base nos dados do Censo Agropecuário de 2017, o Brasil possui mais de 5 milhões de estabelecimentos rurais, dos quais apenas 20,1% declararam receber assistência técnica no período cerca de 1 milhão propriedades, o que implica um contingente aproximado de 4 milhões de estabelecimentos sem atendimento e, portanto, com demanda potencial por consultoria/ATER (IBGE, 2019). Essa lacuna de cobertura é consistente com análises institucionais que apontam baixo investimento e alcance limitado da assistência técnica e extensão rural no país, sugerindo suboferta de serviços frente ao universo de propriedades (IPEA, 2024). No recorte da pecuária, estudos setoriais indicam taxas particularmente baixas de assistência, tanto entre produtores com até 50 cabeças quanto entre aqueles com mais de 50 cabeças, reforçando o descompasso entre necessidade produtiva e disponibilidade de orientação técnica continuada (FGV Agroanalysis, 2019). Em paralelo, a literatura recomenda combinar intensificação sustentável prestação de assistência técnica, nos quais ferramentas de triagem por sensoriamento/monitoramento ajudam a priorizar e escalar o atendimento. Em síntese, as evidências convergem para um diagnóstico: há muita demanda por consultoria técnica no meio rural brasileiro e pouca assistência efetivamente disponível, sobretudo de caráter individualizado e continuado (IBGE, 2019; IPEA, 2024).

4.3 Implicações para o desenvolvimento da solução

Duas implicações práticas decorrem do cruzamento entre resultados qualitativos e literatura. A primeira é a necessidade de um protocolo transparente e padronizado de classificação por talhão, capaz de explicar “por que” cada recomendação é sugerida e de registrar os insumos usados na decisão; tal transparência atua diretamente sobre a barreira de confiança e sobre a aversão a risco do produtor (SANTOS; MARTUSCELLO, 2022). A segunda é o acoplamento entre componente remoto e assistência técnica: triagem e priorização via dados públicos, com anamnese estruturada, devem alimentar um roteiro que traduza as recomendações em rotinas de manejo, condição associada à efetiva mudança de prática (BRAGANÇA et al., 2022).

4.4 Do problema à resposta técnica: estrutura do sistema Dr. Pastagem

Figura 5



Fonte: Elaboração própria — com base na arquitetura do protótipo (2025).

Como resposta a esses achados, foi concebido um sistema que integra duas fontes: i) séries remotas anuais de pastagens com máscara, classes de vigor (baixo, médio, alto), tendência de cinco anos e transições de uso do solo; ii) anamnese mínima, por talhão, em escalas 1–10 para daninhas, outras invasoras não apreciadas e qualidade percebida do capim. O fluxo operacional é sequencial: a persona desenha o polígono do talhão; o backend consulta as camadas públicas para aquele recorte; um módulo de análise calcula indicadores sintéticos; as respostas de anamnese são vinculadas ao talhão com carimbo de data/usuário; um objeto JSON padronizado é montado e enviado a um agente de linguagem que aplica regras fixas e retorna a classificação com texto padronizado de recomendação; os resultados são registrados e apresentados em interface cartográfica e de formulários. Essa arquitetura prioriza interpretabilidade, rastreabilidade e baixo custo de adoção, alinhando-se ao objetivo de escalar diagnóstico e apoiar AT individualizada.

4.5 Principais regras e lógica da inteligência

A lógica de decisão do diagnóstico e prognóstico parte de dominância no último ano: se $\geq 50\%$ da área do talhão está em vigor baixo, a saída sugerida é “renovação”; se $\geq 50\%$ está em vigor médio, “recuperação”; e, se $\geq 50\%$ está em vigor alto, “manutenção”. Em empates ou ausência de dominância, aplica-se a tendência de cinco anos do vigor e, na persistência do empate, a anamnese como critério de desempate. O prompt recebe séries de vigor e de uso, percentuais do último ano (quando válidos) e as três respostas da anamnese; valida entradas, calcula índices derivados, aplica regras de classificação e devolve apenas um JSON conforme esquema fixo, contendo perfil, justificativas sintéticas (“drivers”), recomendações imediatas e prognóstico. Essa abordagem fixa vocabulário e campos, reduzindo ambiguidade e viés de formulação e permitindo versionamento para reprodutibilidade (EMBRAPA, 2022). A distinção entre “recuperação” e “renovação” que ancora as saídas segue a convenção técnica consolidada para manejo de pastagens degradadas (MACEDO et al., 2012).

4.6 Como a solução atende a pessoa

Para o Produtor Pragmático, a transparência dos critérios, o texto padronizado e a possibilidade de acompanhamento técnico reduzem a incerteza e o esforço cognitivo, aumentando a aceitabilidade de intervenções de curto prazo com benefício observável (SANTOS; MARTUSCELLO, 2022). O histórico espacial padronizado e a classificação explícita por regras oferecem base objetiva para prescrição e priorização de ações, em consonância com metas de intensificação sustentável e com indicadores reprodutíveis (DE OLIVEIRA SILVA et al., 2018). Ademais, o fluxo digital com desenho de talhão, retorno automatizado e registro de versão atende à demanda por autonomia operacional e por métricas comparáveis ao longo do tempo (LAPIG, 2023).

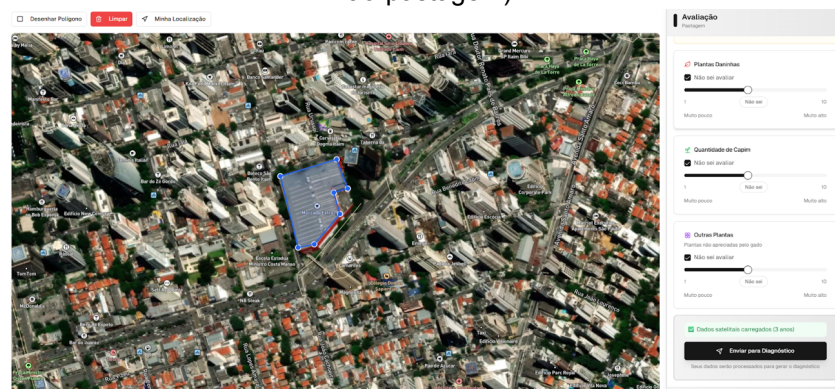
4.7 Coerência com diretrizes setoriais e custos de oportunidade

Os resultados e a solução proposta são consistentes com diretrizes de intensificação sustentável e com políticas públicas voltadas à recuperação de pastagens, que dependem de critérios objetivos para seleção e monitoramento de áreas elegíveis (MAPA, 2023). Ao incorporar distinções operacionais entre recuperação e renovação e ordenar prioridades por dominância e tendência, o sistema explicita custos de oportunidade típicos da decisão de manejo, condição valorizada por produtores que precisam de previsibilidade econômica para investir (CARLOS et al., 2022).

4.8 Uso prático do sistema

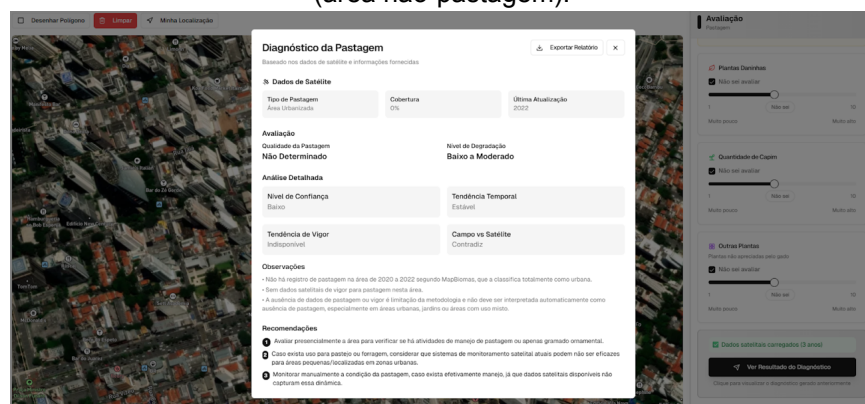
Realizamos dois testes de prova de conceito para ilustrar o uso do sistema: no primeiro, delimitamos um polígono em área urbana para verificar se a triagem remota reconhece a ausência de pastagem e bloqueia recomendações; no segundo, aplicamos o fluxo em um piquete real, combinando camadas remotas e anamnese de três itens daninhas, outras invasoras e qualidade do capim para avaliar se a recomendação manutenção, recuperação ou renovação condiz com a classe de vigor dominante e a tendência recente. Em ambos os casos, checamos rastreabilidade entre entradas e saídas, clareza do texto e robustez do protocolo. O protótipo está disponível em <https://producer-analysis-app.vercel.app/> versão v0.1.

FIGURA 6 -Teste urbano de robustez: seleção de talhão sobre telhado de supermercado (área não-pastagem).



Fonte: Elaboração própria (captura da interface do sistema, v0.1, 2025).

FIGURA 7 - Relatório do teste urbano de robustez: seleção de talhão sobre telhado de supermercado (área não-pastagem).



Fonte: Elaboração própria (captura da interface do sistema, v0.1, 2025).

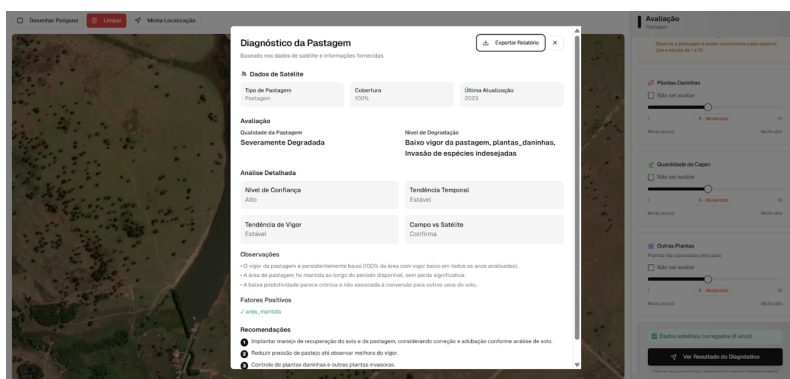
No primeiro teste prático, acessamos o protótipo pelo link do sistema e delimitamos, no mapa, o polígono correspondente ao teto de um supermercado, uma área sabidamente sem capim, como pode ser observado na figura 6. Em seguida, preenchemos a anamnese com “Não sei” em cada um dos três campos, por não existir pastagem no local. O relatório gerado classificou o polígono como área urbanizada e indicou cobertura de pastagem igual a 0, sem série de vigor disponível para o período observado. O sistema não atribuiu qualidade de pastagem, registrando “Não Determinado”, além de recomendar apenas verificação presencial e monitoramento manual caso, porventura, houvesse manejo real na área, como pode ser observado na Figura 7. Apesar do nível de confiança reportado como baixo e da ausência de indicadores de pasto, a classificação coincidiu com a realidade conhecida do sítio de teste. Concluimos, portanto, que o teste foi bem-sucedido, pois o sistema reconheceu corretamente a inexistência de pastagem no local avaliado.

FIGURA 8 - Teste rural de robustez: seleção de talhão conhecidamente com pastagem com verificação in loco.



Fonte: Elaboração própria (captura da interface do sistema, v0.1, 2025).

FIGURA 9. Relatório do teste rural de robustez: seleção de talhão conhecidamente com pastagem com verificação in loco.



Fonte: Elaboração própria (captura da interface do sistema, v0.1, 2025).

No segundo teste prático, em área pastoril, a anamnese foi preenchida com valores moderados (5) para infestação de plantas daninhas, presença de indesejadas e quantidade de capim (Figura 8). O sistema classificou a pastagem como “severamente degradada”, com “baixo vigor”, e recomendou: correção e adubação orientadas por análise de solo, redução da pressão de pastejo até melhora do vigor, controle de plantas daninhas/invasoras e monitoramento sazonal em campo combinado a séries de vigor (Figura 9). A análise temporal indicou vigor e uso pastoril estáveis, com confirmação entre dados remotos e anamnese. O módulo interpretativo registrou confiança alta e caracterizou o baixo vigor como crônico, sem relação com conversões recentes de uso. Em síntese, o sistema operou de forma simples e gerou recomendações coerentes para priorizar o manejo do talhão.

4.9 Síntese interpretativa e transição

Em síntese, a análise qualitativa confirmou o papel das barreiras de confiança, assistência técnica e previsibilidade econômica na adoção tecnológica; a literatura ofereceu o arcabouço para transformar séries públicas em critérios operacionais e distinguíveis; e o sistema integrou ambos em uma resposta técnica auditável, voltada a pequenos e médios produtores. A próxima seção apresenta as Conclusões e Contribuições, detalhando implicações para validação em campo, aprimoramentos do protocolo e potenciais aplicações institucionais.

5. Conclusão

Este estudo teve por objetivo estruturar e avaliar, em nível de prova de conceito, uma solução digital de assistência técnica individualizada para manejo de pastagens voltada a pequenos pecuaristas, com foco em converter áreas degradadas e reduzir o hiato produtivo. A síntese dos achados confirma que a degradação é o principal gargalo de produtividade na pecuária a pasto e decorre, majoritariamente, de decisões de manejo insuficientemente informadas e da baixa disponibilidade de assistência técnica continuada. A proposta integra triagem remota por talhão e anamnese estruturada, organizando um fluxo reprodutível e auditável de diagnóstico e recomendação proporcional ao risco. Além dos ganhos técnicos, enfrentar a degradação contribui para aliviar a pobreza rural ao elevar a eficiência forrageira e a renda de sistemas familiares.

Do ponto de vista setorial e de políticas públicas, a solução dialoga com o Plano ABC/ABC+, pois prioriza a recuperação de pastagens como estratégia de mitigação de

emissões e de intensificação sustentável; ao apoiar o diagnóstico e a priorização remota de áreas, pode acelerar a elegibilidade, o acompanhamento e a verificação de resultados ambientais. Em paralelo, o mercado estimado para recuperação e reforma de pastagens (ordem de centenas de bilhões de reais) reforça a viabilidade econômica de escalar serviços e insumos associados, enquanto o combate à degradação ajuda a reduzir vulnerabilidades socioeconômicas no campo.

Contribuições principais: (i) formalização de um protocolo transparente para triagem remota por talhão, com regras explícitas de classificação e desempate; (ii) vinculação de anamnese mínima georreferenciada a saídas padronizadas, permitindo rastreabilidade ao longo do tempo; (iii) demonstração de integração prática entre dados públicos e entrada do produtor, criando base para adoção por programas públicos e agentes financeiros (por exemplo, uso como ferramenta de triagem/monitoramento em iniciativas do ABC+ e em análises de crédito para recuperação/renovação).

Limitações: a presente etapa não valida eficácia agrônômica em campo nem estima impacto produtivo; depende de dados secundários e de anamnese parcimoniosa. Resulta, portanto, em evidência de viabilidade decisória, não em comprovação de resultados.

Próximos passos: conduzir pilotos controlados com métricas de produção e solo; ampliar a anamnese (histórico de adubação, taxa de lotação por talhão, cultivares, anexação de análises de solo georreferenciadas); incorporar estimativas remotas de lotação e um módulo de interpretação automatizada de análises de solo; e operar em parceria com programas públicos e instituições financeiras para acelerar a recuperação em larga escala, alinhando produtividade, redução de GEE e inclusão produtiva.

Referências Bibliográficas

ABIEC – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE. *Beef Report 2024: perfil da pecuária no Brasil*. [S.l.: s.n.], 2024. Disponível em: <https://www.abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2024-perfil-da-pecuaria-no-brasil/#>.

Acesso em: 28 mar. 2025.

ALLEN, V. G. et al. An international terminology for grazing lands and grazing animals. *Grass and Forage Science*, v. 66, p. 2–28, 2011.

BRAGANÇA, A. et al. Extension services can promote pasture restoration: evidence from Brazil's low carbon agriculture plan. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 119, n. 12, e2114913119, 2022. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2114913119>. Acesso em: 23 jun. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). *Plano ABC+ 2020–2030: estratégias e metas para a agropecuária de baixa emissão de carbono*. Brasília: MAPA, 2021. Atualizações de metas consultadas em 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc>. Acesso em: 22 mar. 2025.

BRISKE, D. D.; HEITSCHMIDT, R. K. An ecological perspective. In: HEITSCHMIDT, R. K.; STUTH, J. W. (ed.). *Grazing management: an ecological perspective*. Portland: Timber Press, 1991. p. 11–26.

CARDOSO, A. S. et al. Intensification: a key strategy to achieve great animal and environmental beef cattle production sustainability in *Brachiaria* grasslands. *Sustainability*, v. 12, n. 1, p. 398, 2020.

CARLOS, S. de M. et al. *Custos da recuperação de pastagens degradadas nos estados e biomas brasileiros*. São Paulo: Observatório de Bioeconomia, FGV-EESP, 2022. Disponível em: <https://eesp.fgv.br/centros/observatorios/bioeconomia>. Acesso em: 7 jan. 2025. Acesso em: 30 ago. 2025.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). PIB da agropecuária cresce 12,2% no primeiro trimestre de 2025. Brasília, DF: CNA, 30 maio 2025. Disponível em: <https://cnabrazil.org.br/publicacoes/pib-da-agropecuaria-cresce-12-2-no-primeiro-trimestre-de-2025>. Acesso em: 17 ago. 2025.

DE OLIVEIRA SILVA, R. et al. The role of agricultural intensification in Brazil's Nationally Determined Contribution on emissions mitigation. *Agricultural Systems*, v. 161, p. 102–112, 2018.

DR. PASTAGEM. *Protótipo web para diagnóstico e recomendação de manejo por talhão*. Versão v0.1. [S.l.: s.n.], 2025. Disponível em: <https://producer-analysis-app.vercel.app/>. Acesso em: 10 set. 2025.

EMBRAPA. *Evolução da qualidade e da produtividade da pecuária*. Brasília: Embrapa, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/10180/21470602/evolucaoqualidadepecuaria.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2025.

FASIABEN, M. C. R. et al. Pecuária de corte na agropecuária brasileira: evolução segundo os Censos Agropecuários 2006 e 2017. In: CONGRESSO DA SOBER, 60., 2022, Natal-RN. *Anais [...]*. Natal: SOBER, 2022.

IBGE. Censo Agro 2017: população ocupada nos estabelecimentos agropecuários cai 8,8%. Rio de Janeiro: Agência IBGE Notícias, 25 out. 2019. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/25789-censo-agro-2017-populacao-ocupada-nos-estabelecimentos-agropecuários-cai-8-8>. Acesso em: 07 set. 2025.

LAPIG – LABORATÓRIO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS E GEOPROCESSAMENTO. *Banco de dados de pastagens*. Goiânia: UFG, 2023. Disponível em: <http://lapig.iesa.ufg.br/>. Acesso em: 21 mar. 2025.

LUIZ, Alfredo José Barreto. Censo Agropecuário de 2017 indica baixas taxas de assistência técnica no campo. *Agroanalysis (Periódicos FGV)*, v. 39, n. 7, jul. 2019.

Disponível em: <https://periodicos.fgv.br/agroanalysis/article/view/80191>. Acesso em: 22 ago. 2025.

MACEDO, M. C. M. et al. *Degradação, recuperação e renovação de pastagens*. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2012. (Documentos, 189).

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. *Metas do ABC+ e Plano Nacional de Conversão de Pastagens Degradadas*. Brasília: MAPA, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/planoabc-abcmais/abc/metas-do-abc>. Acesso em: 25 jul. 2025.

MAPBIOMAS. MapBiomas General “Handbook” - Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) – Collection 10 – Pasture – Appendix. Versão 1.0. [S.I.]: MapBiomas Data, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.58053/MapBiomas/VJTTBB>. Acesso em: 15 set. 2025.

PEDROSA, L. M. et al. Financial transition and costs of sustainable agricultural intensification practices on a beef cattle and crop farm in Brazil’s Amazon. *Renewable Agriculture and Food Systems*, v. 35, n. 1, p. 26–37, 2020.

PEREIRA, M. de A. et al. From traditionally extensive to sustainably intensive: a review on the path to a sustainable and inclusive beef farming in Brazil. *Animals*, v. 14, n. 16, p. 2340, 2024.

PETERS, M. et al. *The role of forages in reducing poverty and degradation of natural resources in tropical production systems*. London: Overseas Development Institute (ODI), 2001. (Agricultural Research & Extension Network, Network Paper No. 117). Disponível em: <https://cdn.odi.org/media/documents/5218.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2025.

SANTOS, G. R.; SANTANA, A. S. Panorama da diversidade produtiva e de renda na agropecuária brasileira: uma breve incursão nos dados do Censo de 2017. *Boletim Regional, Urbano e Ambiental*, n. 23, 2020.

SANTOS, M. E. R.; MARTUSCELLO, J. A. *Seu dinheiro é capim: valorizando e manejando o pasto para gerar dinheiro*. São Paulo: Reino Editorial, 2022. 232 p.

STRASSBURG, B. B. N. et al. When enough should be enough: improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. *Global Environmental Change*, v. 28, p. 84–97, 2014.

ZIMMER, A. H. et al. Recuperação de pastagens degradadas no contexto do Plano ABC. In: MACEDO, M. C. M. et al. *Degradação, recuperação e renovação de pastagens*. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2012. p. 25–42.