



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

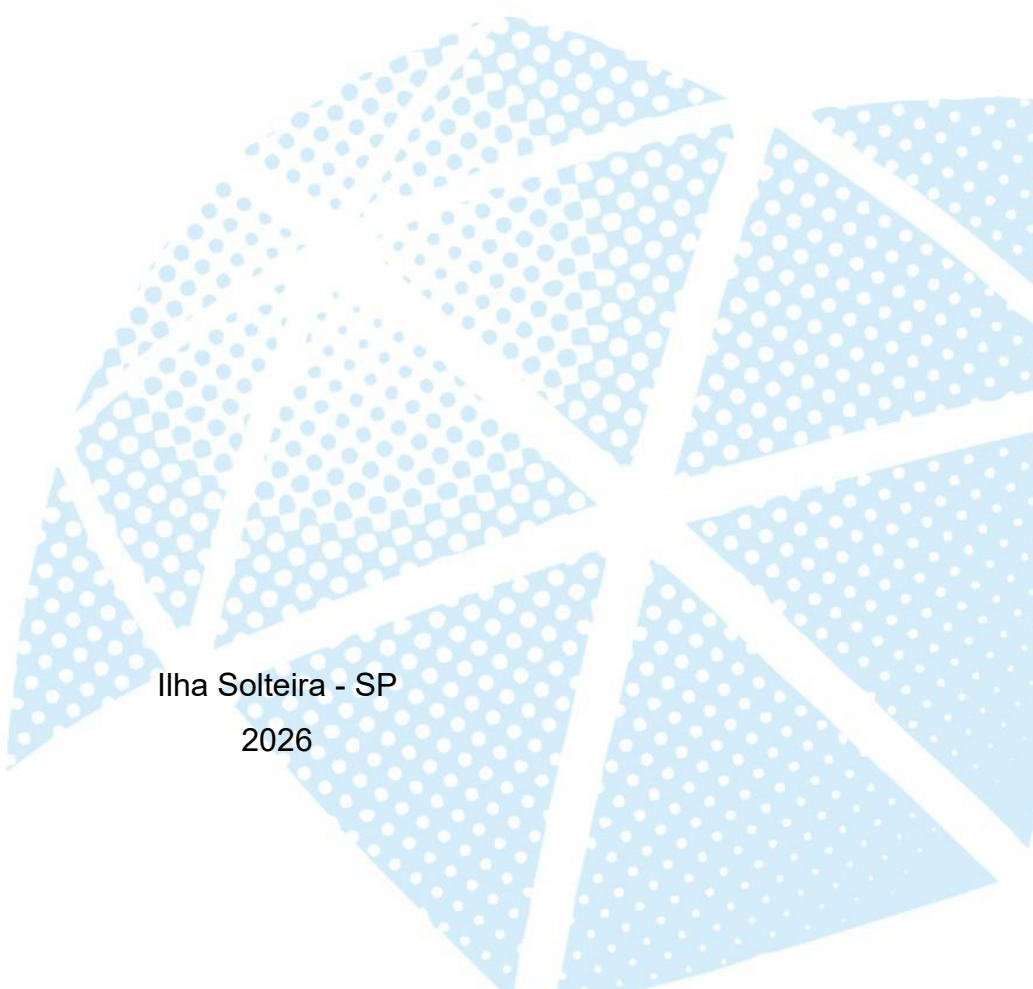
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Socioeconomia

GUSTAVO CAMPEDELI AKITA

**SISTEMAS DE GESTÃO DE DADOS OPERACIONAIS EM SISTEMAS
FLORESTAIS INTEGRADOS À PRODUÇÃO ANIMAL: UMA BREVE REVISÃO**



Ilha Solteira - SP
2026



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Socioeconomia

GUSTAVO CAMPEDELI AKITA

**SISTEMAS DE GESTÃO DE DADOS OPERACIONAIS EM SISTEMAS
FLORESTAIS INTEGRADOS À PRODUÇÃO ANIMAL: UMA BREVE REVISÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Estadual
Paulista (UNESP), Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira, para obtenção
do título de Grau acadêmico bacharel em
Zootecnia.

Orientador(a): Prof. Dr. Omar Jorge Sabbag

Ilha Solteira - SP

2026

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Akita, Gustavo Campedeli.

A315s Sistemas de gestão de dados operacionais em sistemas florestais integrados à produção animal: uma breve revisão / Gustavo Campedeli Akita. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2026
38 f.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Zootecnia) -
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira,
2026

Orientador: Omar Jorge Sabbag

Inclui bibliografia

1. Sensoriamento remoto. 2. Silvicultura digital. 3. Integração lavoura-
pecuária-floresta. 4. Sustentabilidade.

Sandra Montibeller - CRB-8/060

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO" FACULDADE
DE ENGENHARIA – CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA - CURSO DE ZOOTECNIA

ATA DA DEFESA – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

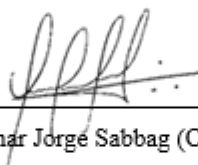
TÍTULO: "SISTEMAS DE GESTÃO DE DADOS OPERACIONAIS EM SISTEMAS
FLORESTAIS INTEGRADOS A PRODUÇÃO ANIMAL: BREVE REVISÃO".

ALUNO: GUSTAVO CAMPEDELI AKITA - RA: 181050536

ORIENTADOR: OMAR JORGE SABBAG

Aprovado (X) Reprovado () pela Comissão Examinadora.

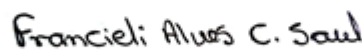
Comissão Examinadora:



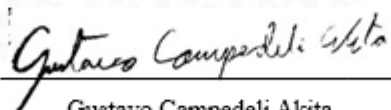
Prof. Dr. Omar Jorge Sabbag (Orientador)



Profª Drª Jaqueline Bonfim de Carvalho (Engenheira Agrônoma, Doutora em Agronomia-
FEIS-UNESP)



Profª Drª Francieli Alves Caldeira Saul (Engenheira Ambiental e Sanitária, Doutora em Agronomia-
FEIS-UNESP)



Gustavo Campedel Akita

Aluno

Ilha Solteira (SP), 19 de março de 2026.

Dedico este trabalho às memórias de Elza Beirigo Campedelli e Tamiko Akita, cuja presença permanece viva em minhas lembranças e cujo amor continua a orientar meus passos. Que este TCC seja uma forma simples, mas sincera, de honrar tudo o que me ensinaram e o legado de força, bondade e esperança que deixaram em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Seiti e Janet, pelo apoio incondicional, compreensão nos momentos difíceis e incentivo constante. E, de forma especial, às minhas queridas avós Elza e Tamiko, cuja memória segue iluminando minhas conquistas e inspirando minha trajetória.

Aos professores, pela dedicação, paciência e por compartilharem conhecimento com generosidade, contribuindo de forma essencial para minha formação. Agradeço sinceramente ao meu orientador, Prof. Dr. Omar Jorge Sabbag, que acompanhou cada etapa deste trabalho com apoio e uma orientação sempre clara e acolhedora. Sua dedicação e incentivo fizeram toda a diferença nesta trajetória.

Agradeço ao Grupo Copa Investimentos pelo apoio, compreensão e oportunidades de aprendizado, bem como ao meu coordenador, Anderson Ramos, pela orientação, confiança e incentivo ao longo dessa jornada.

Aos colegas de curso e amigos, pela parceria, conversas e apoio nos momentos de incerteza.

À República Methiolate, pelo acolhimento, convivência e apoio mútuo que tornaram o percurso mais leve e significativo, e à governanta Maria Aparecida, cuja dedicação e organização foram fundamentais para manter um ambiente harmonioso e propício ao estudo.

Agradeço ainda aos meus cães, cuja companhia leal e afeto incondicional tornaram os períodos de estudo mais leves e acolhedores.

A todos vocês, meu sincero muito obrigado.

“O futuro pertence àqueles que acreditam na
beleza de seus sonhos.” - Eleanor Roosevelt.

RESUMO

O aumento da demanda global por alimentos e recursos naturais tem estimulado a adoção de práticas produtivas sustentáveis e tecnologicamente avançadas no setor agropecuário brasileiro. Nesse cenário, a integração entre lavoura, pecuária e floresta é reconhecida como uma estratégia eficiente para otimizar o uso do solo, reduzir impactos ambientais e diversificar a produção. Este estudo teve como objetivo analisar o papel da gestão de dados operacionais em sistemas florestais integrados, avaliando sua contribuição para o aprimoramento da produtividade e da sustentabilidade em sistemas agroflorestais. A pesquisa baseia-se em revisão bibliográfica de estudos que abordam o uso de tecnologias como sensoriamento remoto, sistemas de informação geográfica e inteligência analítica na silvicultura e na pecuária de precisão. Os resultados indicam que a digitalização dos processos de monitoramento e a integração de bases de dados ambientais e produtivas têm proporcionado melhorias significativas na gestão territorial, na detecção de anomalias e na tomada de decisões estratégicas. Observa-se ainda que a aplicação dessas tecnologias em sistemas integrados favorece a recuperação de áreas degradadas, a redução de emissões de gases de efeito estufa e o aumento da eficiência operacional. Conclui-se que a gestão de dados e o uso de tecnologias digitais representam instrumentos essenciais para consolidar uma produção agropecuária sustentável, baseada na inovação, na resiliência climática e na conservação dos recursos naturais.

Palavras-chave: sensoriamento remoto; silvicultura digital; integração lavoura-pecuária-floresta; sustentabilidade.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma de categorias temáticas para análise e discussão.....	25
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Área de florestal estimada para o Brasil em 2022.....	17
Tabela 2 - Relação de artigos selecionados para discussão	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

POP	<i>POPULATION DIVISION</i>
DESA	<i>DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS</i>
PIB	Produto Interno Bruto
CNA	Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil
ILPF	Integração Lavoura – Pecuária – Floresta
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
SNIF	Sistema Nacional de Informações Florestais
SFB	Serviço Florestal Brasileiro
FSC	<i>FOREST STEWARDSHIP COUNCIL</i>
NDVI	<i>NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX</i>
EVI	<i>ENHANCED VEGETATION INDEX</i>
SAVI	<i>SOIL ADJUSTED VEGETATION INDEX</i>
UAV	UNMANNED AERIAL VEHICLE
IPEF	INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 Gestão de Dados	14
2.2 Sistemas Florestais.....	16
2.3 Sistemas Florestais e Produção Animal: Integração e Benefícios.....	18
2.4. Agricultura 4.0 e Transformação Digital.....	19
3 OBJETIVO	22
4 MATERIAL E MÉTODOS	23
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
6 CONCLUSÃO	33
REFERÊNCIAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

Um dos principais desafios do século XXI é relacionado à crescente demanda mundial de alimentos e produtos. De acordo com a Divisão de População – *Population Division* (POP) do Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas – *Department of Economic and Social Affairs* (DESA, 2024), com uma população projetada para 9,7 bilhões de pessoas até 2050, as necessidades alimentares e demandas por recursos naturais têm aumentado de maneira sem precedentes.

Impulsionado pelo aumento na demanda de recursos e alimentos, bem como, aliado ao avanço de tecnologias no setor, o agronegócio brasileiro tem sido alvo de constante inovação tecnológica e, consequentemente o aumento de produtividade, representando ao fim de 2024, 22% do PIB – Produto Interno Bruto do Brasil (CNA, 2025).

Nas últimas décadas, a silvicultura e a agricultura vêm passando por uma transição significativa em seus modos de produção. A adoção gradual de novas tecnologias nas ciências agrárias tem possibilitado maior controle sobre as operações no campo, uso mais eficiente de recursos, otimização da mão de obra, melhor desempenho dos equipamentos e acesso a dados que favorecem uma gestão mais precisa, tanto em culturas perenes quanto anuais (Melo, 2016).

A gestão eficiente dos dados operacionais é essencial para o sucesso dos sistemas de produção. A coleta e análise de informações sobre o crescimento das culturas, a saúde das plantas e as condições ambientais permitem ajustes precisos nas práticas de manejo, garantindo a sustentabilidade e a produtividade do sistema. A união desses dados com os registros zootécnicos possibilita uma visão holística da propriedade, facilitando a tomada de decisões informadas e a implementação de práticas agrícolas de precisão (Basso *et al.*, 2019).

A Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) é um modelo de produção agropecuária que visa a integração harmoniosa de atividades agrícolas, pecuárias e florestais em uma mesma área, com o objetivo de otimizar o uso dos recursos naturais, promover a sustentabilidade ambiental e aumentar a produtividade das propriedades rurais. Conforme destacado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), a ILPF permite a diversificação das atividades econômicas, minimizando riscos e contribuindo para a recuperação de áreas degradadas (Neto *et al.*, 2019).

Trata-se de uma estratégia versátil que se adapta às condições regionais e proporciona benefícios sociais, econômicos e ambientais. Do ponto de vista social, favorece a produção sustentável de alimentos com uso racional dos recursos; economicamente, estimula a diversificação e o uso contínuo da terra por meio da rotação, consorciação e sucessão de culturas. Além disso, o sistema contribui significativamente para a melhoria da qualidade do solo, em aspectos físicos, químicos e biológicos, sendo eficiente na recuperação de áreas degradadas, como pastagens afetadas por erosão e compactação, ao promover um uso mais inteligente e sustentável do solo (Silva; Souza; Silva; 2020).

Diante desse cenário de transformação tecnológica e da busca por sistemas sustentáveis, torna-se essencial compreender como a gestão de dados operacionais pode contribuir para potencializar os resultados da produção animal em sistemas integrados com floresta. Nesse contexto, a integração eficiente dessas informações surge como um fator determinante para o aprimoramento das práticas produtivas e da tomada de decisão no campo.

Apesar dos avanços tecnológicos no setor agropecuário, ainda há lacunas quanto à integração efetiva de dados operacionais entre os componentes florestais e zootécnicos em sistemas ILPF, especialmente no contexto brasileiro, o que evidencia a necessidade de estudos que aprofundem essa temática e proponham soluções aplicáveis à realidade produtiva.

Este trabalho propõe-se a realizar uma análise teórica sobre o papel da gestão de dados nos sistemas ILPF, com foco na interação entre os componentes florestal e zootécnico. A intenção é contribuir para a compreensão de como o uso eficiente das informações pode otimizar o desempenho produtivo, promover o bem-estar animal e auxiliar na tomada de decisões técnicas e estratégicas no campo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Gestão de dados

A gestão de dados evoluiu no Brasil a partir de iniciativas setoriais para infraestruturas públicas de informação com governança definida, interoperabilidade e abertura progressiva. No campo florestal, destacam-se o SNIF – Sistema Nacional de Informações Florestais e operado pelo SFB – Serviço Florestal Brasileiro, que consolidam séries de área florestal, produção e instrumentos de gestão (inventário florestal nacional, cadastro nacional de florestas públicas) e padronizam conceitos e listas de produtos madeireiros e não madeireiros, pilares de qualidade e comparabilidade de dados (SFB, 2024a; SFB, 2024b).

A governança de dados no setor público brasileiro avançou com marcos normativos e diretrizes de transparência, reforçando os princípios de acesso, proteção e finalidade dos dados; avaliações recentes de maturidade mostram fortalecimento de mecanismos de coordenação e controle, com desafios remanescentes de padronização e integração entre órgãos (Belli *et al.*, 2024; Machado, Quiraque, 2023).

A qualidade de dados permanece como condição necessária para análises robustas. Neste sentido, o SFB (2024a), enfatiza protocolos de controle de qualidade do IFN – Inventário Florestal Nacional e de padronização terminológica, enquanto o IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística amplia as contas econômicas ambientais e de ecossistemas, alinhando estatísticas ambientais às nacionais, passo essencial para integração entre dados biofísicos e valor econômico de serviços ecossistêmicos.

Em síntese, a literatura e documentos técnicos nacionais mostram que a gestão de dados florestais no Brasil consolidou:

- Infraestruturas públicas e abertas (SNIF, TerraBrasilis, MapBiomias);
- Rotinas de monitoramento de alta frequência (deter/prodes; rad/raf MapBiomias);
- Arranjos de governança que combinam órgãos federais, redes acadêmicas e sociedade civil, ainda com desafios de interoperabilidade semântica, cobertura de metadados e integração entre estatísticas econômicas e ambientais.

A incorporação da gestão de dados nos sistemas agropecuários representa um dos pilares da transformação digital do agronegócio brasileiro nas últimas décadas.

Essa tendência, frequentemente associada aos conceitos de agricultura 4.0 e pecuária de precisão, surge como resposta à necessidade de aumentar a produtividade e, ao mesmo tempo, reduzir impactos ambientais. Segundo Tamachiro *et al.* (2022), o uso de dados em larga escala, aliado à análise computacional, tem possibilitado identificar padrões produtivos e tomar decisões mais assertivas quanto ao manejo de solo, irrigação e controle fitossanitário. A integração entre sensores, drones e SIG – Sistemas de Informação Geográfica cria um ecossistema digital que transforma o modo como os produtores gerenciam suas propriedades.

A gestão de dados agrícolas também se relaciona com a criação de sistemas inteligentes baseados em IA – Inteligência Artificial, capazes de processar e interpretar dados coletados em tempo real. De acordo com Borba *et al.* (2022), algoritmos de aprendizado de máquina têm sido aplicados com sucesso na predição de produtividade e na detecção precoce de pragas e doenças, permitindo ações preventivas e aumento de eficiência operacional. Essa integração entre IA e dados agropecuários resulta na chamada agricultura de precisão, cuja essência está em adaptar o manejo de cada área conforme suas características específicas, promovendo uma agricultura mais sustentável e tecnicamente embasada.

Outro ponto importante abordado pela literatura recente é a governança e o tratamento ético dos dados agrícolas. Mendes *et al.* (2023) destacam que a governança de dados constitui um desafio emergente na agricultura digital, exigindo políticas de segurança, interoperabilidade e padronização que permitam a comunicação entre plataformas distintas. A ausência de uma estrutura consolidada de gestão pode limitar o potencial da digitalização no campo. Nesse sentido, os autores ressaltam a relevância de sistemas abertos e colaborativos de dados agroambientais, voltados à transparência e à cooperação entre produtores, pesquisadores e instituições públicas.

A difusão de tecnologias digitais na agricultura brasileira também é tema recorrente nas pesquisas recentes. Moraes *et al.* (2025), em uma revisão bibliométrica, observaram que a adoção de tecnologias digitais no setor agropecuário tem crescido de forma expressiva, embora ainda apresente desigualdades regionais. Segundo os autores, fatores como conectividade limitada, custo de equipamentos e falta de capacitação técnica são entraves para pequenos produtores. Em contrapartida, programas públicos e iniciativas de capacitação vêm promovendo a inclusão digital

rural, ampliando o uso de ferramentas de monitoramento e análise de dados no campo.

O uso de *Big Data* na agropecuária, conforme descrito por Tamachiro *et al.* (2022) e Rocha (2018), proporciona novas possibilidades de análise e compreensão do desempenho produtivo e ambiental das propriedades rurais. A consolidação de dados provenientes de sensores, imagens de satélite, estações meteorológicas e registros de produção possibilita análises preditivas sobre produtividade, condições climáticas e eficiência de manejo. Na pecuária, os dados são empregados no rastreamento individual de animais e no monitoramento de pastagens; já na agricultura, permitem o planejamento de cultivos, a otimização da irrigação e o controle de pragas, com redução de custos e maior precisão no uso de insumos.

A literatura também evidencia que a sustentabilidade ambiental é um benefício direto decorrente da gestão de dados. Sistemas digitais auxiliam no monitoramento de indicadores de emissões de carbono, qualidade do solo e uso da água, permitindo práticas agrícolas mais responsáveis. Borba *et al.* (2022) ressaltam que o uso de tecnologias de monitoramento e análise contribui para alinhar o setor agropecuário brasileiro a políticas globais de mitigação de impactos ambientais. Além disso, a rastreabilidade digital dos produtos agropecuários reforça a transparência das cadeias produtivas e o atendimento às exigências dos mercados consumidores.

Em contextos de integração entre sistemas produtivos, como os modelos de ILPF, a gestão de dados se mostra essencial para o planejamento e o monitoramento simultâneo das variáveis agrícolas, pecuárias e florestais. Rocha (2018) e Mendes *et al.* (2023) destacam que o processamento integrado de informações sobre solo, clima e produtividade animal permite equilibrar resultados econômicos com a conservação dos recursos naturais, fortalecendo a transição para sistemas agropecuários mais eficientes e sustentáveis.

2.2 Sistemas Florestais

Os sistemas florestais correspondem ao conjunto de ecossistemas compostos por árvores e demais elementos da flora e fauna, em interação com fatores abióticos como solo, água e clima. No Brasil, esses sistemas englobam tanto florestas nativas — como Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Caatinga, Pampa e Pantanal — quanto florestas plantadas, destinadas à produção de madeira, papel, celulose, carvão vegetal e outros insumos industriais. Além disso, incluem-se os sistemas

agroflorestais, que combinam espécies agrícolas com espécies florestais, integrando produção, conservação e benefícios sociais (Oliveira *et al.*, 2025; SFB, 2024a).

A importância dos sistemas florestais é ampla. Do ponto de vista ecológico, eles mantêm a biodiversidade, regulam o ciclo hidrológico, contribuem para o equilíbrio climático por meio do sequestro de carbono e protegem os solos contra a erosão. Social e economicamente, fornecem produtos madeireiros e não madeireiros (como frutos, óleos e fibras), geram empregos diretos e indiretos e sustentam comunidades tradicionais e indígenas (Oliveira *et al.*, 2025; SFB, 2024b).

A Tabela 1 mostra a quantidade de área existente de florestas naturais e plantadas no Brasil.

Tabela 1 – Área de florestal estimada para o Brasil em 2022.

TIPO DE FLORESTA	ÁREA TOTAL (ha)
Florestas Naturais	486.362.710
Florestas Plantadas	9.472.157
Total	495.834.867

Fonte: SBF, 2024b (Adaptado).

O monitoramento desses sistemas no Brasil ocorre principalmente por meio de tecnologias de sensoriamento remoto e geoprocessamento. O INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais desenvolve sistemas como o PRODES - Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite, que calcula anualmente o desmatamento na Amazônia, e partes do Cerrado e Pantanal, e o Terrabrazilis, plataforma interativa que permite a consulta de mapas e estatísticas. O MapBiomass, por sua vez, fornece séries anuais de mapas de uso e cobertura do solo em todo o território nacional, permitindo acompanhar a dinâmica de vegetação nativa, fogo e desmatamento (FAPESP, 2023).

Na gestão e uso dos sistemas florestais, destacam-se instrumentos como as concessões florestais em áreas públicas, que permitem a exploração econômica sob critérios de sustentabilidade, e as iniciativas de restauração florestal, que visam recompor áreas degradadas e recuperar funções ecológicas. A certificação florestal também se tornou relevante, com selos como o FSC - *Forest Stewardship Council*, que garantem padrões ambientais e sociais à produção florestal (Soares; Bezerra, 2021).

Instituições brasileiras, como o SFB e a Embrapa, têm papel fundamental na produção de dados e tecnologias para manejo, inventários nacionais, zoneamentos e guias técnicos de recuperação de áreas degradadas. Essas informações são reunidas em relatórios oficiais, como o Boletim SNIF 2024 e a publicação “Florestas do Brasil: dados e estatísticas 2024”, que apresentam um panorama atualizado sobre extensão, uso e gestão das florestas brasileiras (SFB, 2024a; SFB, 2024b).

Dessa forma, os sistemas florestais podem ser compreendidos como estruturas essenciais para a conservação ambiental e o desenvolvimento sustentável. No Brasil, sua gestão combina a utilização econômica dos recursos com a proteção dos ecossistemas, apoiada em monitoramento contínuo, bases de dados oficiais e práticas de manejo voltadas à sustentabilidade (Soares; Bezerra, 2021; FAPESP, 2023; Oliveira *et al.*, 2025).

2.3 Sistemas Florestais e Produção Animal: Integração e Benefícios

A integração entre sistemas florestais e a produção animal tem ganhado destaque no Brasil como estratégia para conciliar sustentabilidade ambiental e eficiência produtiva.

Essa combinação é materializada nos sistemas silvipastoris, modalidade dos sistemas integrados de produção agropecuária que associam árvores, pastagens e animais em uma mesma área. Tais arranjos proporcionam melhoria do microclima para o gado, redução do estresse térmico, aumento da produtividade forrageira e sequestro de carbono, além de contribuir para a recuperação de solos degradados (Balbino *et al.*, 2019).

Segundo o Serviço Florestal Brasileiro (SFB, 2024a), práticas que integram componentes florestais e pecuários ajudam a restaurar funções ecológicas essenciais e ampliam a resiliência de sistemas produtivos frente às mudanças climáticas.

Adicionalmente, a presença do componente arbóreo nesses sistemas exerce influência direta sobre as condições edafoclimáticas, promovendo maior estabilidade térmica e hídrica no ambiente produtivo. A sombra proporcionada pelas árvores reduz a incidência direta de radiação solar sobre o solo e os animais, diminuindo perdas de água por evaporação e contribuindo para a manutenção da umidade do solo, fator essencial para o desenvolvimento das pastagens (Bungenstab *et al.*, 2019).

Outro aspecto relevante refere-se à melhoria da qualidade do solo ao longo do tempo. A deposição de serapilheira e a atividade radicular das espécies arbóreas

favorecem a ciclagem de nutrientes e o aumento da matéria orgânica, resultando em solos mais estruturados e férteis. Esse processo contribui diretamente para a sustentabilidade do sistema, reduzindo a necessidade de insumos externos e promovendo maior eficiência no uso dos recursos naturais (Balbino *et al.*, 2019).

Sob a perspectiva produtiva, os sistemas silvipastoris também proporcionam ganhos indiretos no desempenho animal. A redução do estresse térmico está associada ao aumento do consumo alimentar e à melhoria dos índices zootécnicos, como ganho de peso e eficiência reprodutiva. Dessa forma, o bem-estar animal passa a ser um componente estratégico dentro dos sistemas integrados, refletindo positivamente na produtividade e na qualidade dos produtos obtidos (Bungenstab *et al.*, 2019).

Além dos benefícios ambientais e produtivos, destaca-se o potencial econômico desses sistemas. A integração de diferentes componentes permite a diversificação das fontes de renda, com a possibilidade de exploração madeireira, produção de biomassa e até aproveitamento de produtos florestais não madeireiros. Essa diversificação contribui para a redução de riscos econômicos e para maior estabilidade financeira da atividade agropecuária (FAO, 2013).

Por fim, ressalta-se que a adoção de sistemas silvipastoris está alinhada às demandas contemporâneas por práticas mais sustentáveis e resilientes, sendo uma alternativa estratégica para a intensificação sustentável da produção agropecuária no Brasil. Nesse contexto, a integração entre componentes florestais e pecuários representa não apenas uma inovação produtiva, mas também uma abordagem essencial para a conservação ambiental e o desenvolvimento rural sustentável (FAO, 2013).

2.4 Agricultura 4.0 e Transformação Digital

A Agricultura 4.0 representa uma nova etapa da modernização do setor agropecuário brasileiro, caracterizada pela incorporação de tecnologias digitais como Big Data, Inteligência Artificial (IA), IoT – Internet das Coisas e automação. Esse processo está diretamente relacionado à transformação digital no campo, promovendo maior integração entre dados produtivos e decisões gerenciais. De acordo com Massruhá e Leite (2017), a agricultura digital no Brasil baseia-se na convergência entre tecnologias da informação e produção agropecuária, permitindo ganhos expressivos de eficiência e competitividade.

A transformação digital no agronegócio implica mudanças estruturais na forma de gestão das propriedades rurais, substituindo práticas tradicionais por abordagens orientadas por dados. A integração de sensores, máquinas agrícolas conectadas e plataformas digitais possibilita o monitoramento contínuo de variáveis como clima, solo e desempenho produtivo. Segundo Molin (2015), essas tecnologias permitem maior controle das operações agrícolas, favorecendo a tomada de decisão em tempo real e a otimização dos recursos produtivos.

A aplicação da IA tem ampliado significativamente a capacidade analítica dos sistemas produtivos, permitindo a identificação de padrões e a realização de previsões mais precisas. No contexto brasileiro, o uso de algoritmos de aprendizado de máquina tem sido empregado na previsão de produtividade, no monitoramento de lavouras e na gestão de rebanhos. Conforme ressaltam Massruhá *et al.* (2020), a inteligência artificial aplicada à agropecuária contribui para a automação de processos e para o aumento da eficiência produtiva, reduzindo custos e impactos ambientais.

O uso de *Big Data* na agropecuária permite a integração de grandes volumes de dados provenientes de diferentes fontes, como sensores, imagens de satélite e registros operacionais. Essa capacidade analítica favorece a realização de diagnósticos mais precisos e o desenvolvimento de estratégias produtivas mais eficientes. Segundo Bolfe *et al.* (2020), o uso de dados em larga escala no agronegócio brasileiro tem potencial para transformar a gestão rural, promovendo maior precisão no uso de insumos e melhor planejamento das atividades produtivas.

A Agricultura 4.0 também está diretamente associada à agricultura de precisão, que busca adaptar o manejo às características específicas de cada área produtiva. Essa abordagem contribui para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, ao reduzir desperdícios e minimizar impactos ambientais. De acordo com a EMBRAPA (2020), o uso de tecnologias digitais e ferramentas de monitoramento permite o manejo localizado das lavouras, promovendo maior eficiência no uso de insumos e melhor desempenho produtivo no contexto da agropecuária brasileira.

Apesar dos avanços, a adoção da transformação digital na agropecuária brasileira ainda enfrenta desafios significativos. Entre os principais entraves destacam-se a limitação de conectividade no meio rural, os custos de implementação tecnológica e a necessidade de capacitação técnica. Segundo Buainain, Cavalcante e Consoline (2021), a difusão das tecnologias digitais no agronegócio brasileiro depende de fatores estruturais, especialmente infraestrutura de conectividade e

acesso à inovação, sendo fundamentais políticas públicas para ampliar a inclusão digital no campo.

Dessa forma, a Agricultura 4.0 consolida-se como um elemento central na modernização da agropecuária brasileira, promovendo a integração entre tecnologia, dados e sustentabilidade. Sua aplicação em sistemas complexos, como a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, potencializa a eficiência produtiva e contribui para uma gestão mais integrada e sustentável dos recursos naturais (Massruhá; Leite, 2017; Bolfe *et al.*, 2020).

3 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo analisar, por meio de uma revisão bibliográfica, os sistemas de gestão de dados operacionais aplicados em sistemas florestais integrados, avaliando como esses dados contribuem para a melhoria da produção agro silvipastoril.

De forma específica, pretende-se identificar as tecnologias utilizadas, os benefícios alcançados e os desafios enfrentados na implementação de sistemas de gestão de dados florestais integrados à produção animal.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia empregada neste estudo consiste em uma pesquisa bibliográfica, de natureza descritiva e exploratória, visando à fundamentação teórica sobre os principais conceitos relacionados ao tema. A partir dessa abordagem, buscou-se identificar de que maneira o uso de tecnologias e o monitoramento de informações operacionais têm contribuído para o aprimoramento do manejo florestal, especialmente no que se refere à eficiência produtiva, à sustentabilidade e ao suporte na tomada de decisões técnicas.

Por se tratar de uma pesquisa bibliográfica, adota-se o conceito de Martins e Theóphilo (2009), para quem essa estratégia é essencial na condução de qualquer investigação científica. A pesquisa bibliográfica visa explicar e discutir um tema com base em fontes publicadas, incluindo livros, artigos, teses, anais de eventos e outras mídias acadêmicas, podendo ser realizada de forma independente ou integrando-se a outras metodologias, como pesquisas descritivas ou experimentais.

Essa abordagem é comumente considerada como a etapa inicial imprescindível na estruturação de um trabalho científico, uma vez que fornece a base teórica para o estudo, localiza o estado da arte e revela lacunas na produção existente (Martins; Theóphilo, 2009).

A pesquisa exploratória é uma abordagem qualitativa que busca compreender melhor os temas ou fenômenos pouco investigados, permitindo ao pesquisador ganhar familiaridade e ampliar o entendimento sobre o objeto estudado. Essa modalidade oferece flexibilidade para captar nuances, identificar padrões iniciais e levantar hipóteses que podem orientar estudos futuros. Geralmente, a pesquisa exploratória utiliza fontes diversas e análises interpretativas para proporcionar uma visão ampla e contextualizada, sem se prender a estruturas rígidas ou pré-concepções (Losch; Rambo; Ferreira, 2023).

Já a pesquisa descritiva tem como objetivo detalhar fenômenos ou situações, permitindo a identificação clara das características de indivíduos, grupos ou contextos, além de explorar relações entre eventos sem interferência do pesquisador, que apenas observa as variáveis em seu ambiente natural. Baseada em princípios do positivismo, essa modalidade busca generalizações a partir de dados concretos e é amplamente utilizada em estudos mercadológicos e de opinião. A pesquisa prescritiva, por sua vez, complementa a descritiva ao aprofundar a análise, oferecendo

soluções e caminhos a partir da descrição factual, sendo comum em áreas como jornalismo, história e ciência jurídica. Assim, ambas as abordagens são interdependentes, combinando descrição detalhada com proposição de soluções e interpretações qualificadas (Pedroso; Silva; Santos, 2018).

A pesquisa qualitativa busca compreender de forma aprofundada grupos sociais, organizações ou povos, valorizando as diferenças, experiências individuais e o caráter pessoal do objeto estudado. Seu objetivo principal é entender causas, significados e condutas, fornecendo informações que orientem a tomada de decisões, sem se preocupar com resultados numéricos ou mensuração de valores. O processo é exploratório, imprevisível e baseado em amostras que, independentemente do tamanho, devem gerar novos conhecimentos relevantes. Dessa forma, os entrevistados têm liberdade para expressar opiniões, permitindo ao pesquisador interpretar e esclarecer problemas de maneira mais ampla e contextualizada (Melo *et al.*, 2018).

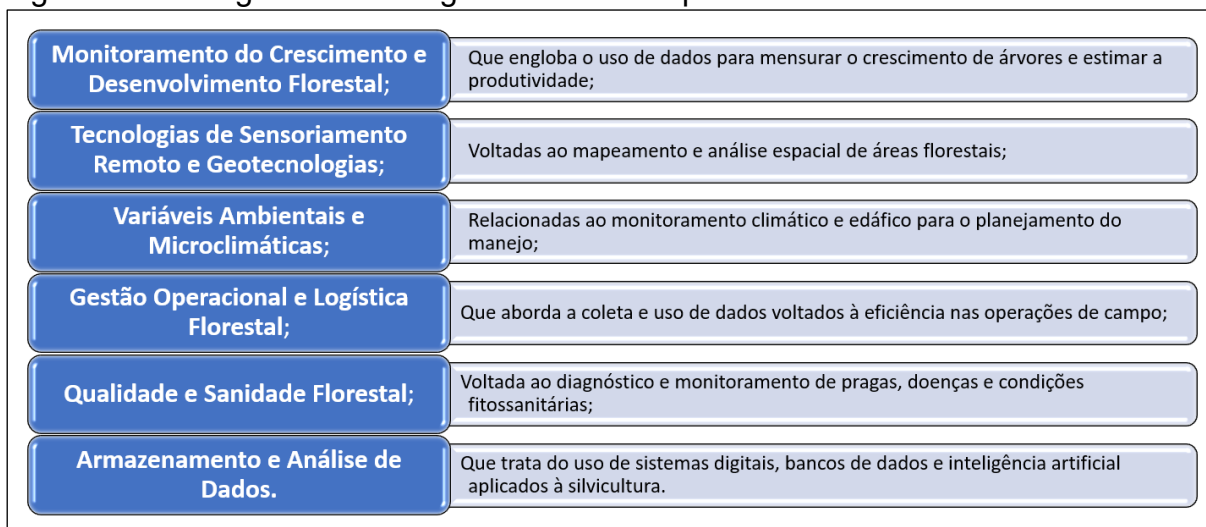
Por fim, nos procedimentos metodológicos, utilizou-se uma busca sistemática em bases acadêmicas robustas, como CAPES e *Web of Science*, com foco em publicações acerca das temáticas demonstradas na Figura 1. Esse recorte temporal é justificado pela busca de evidências atualizadas e de fácil acesso, considerando a rápida evolução tecnológica no manejo florestal e suas implicações sistêmicas.

Foram empregadas palavras-chave específicas, tais como *gestão de dados florestais*, *silvicultura de precisão*, *dados operacionais na silvicultura*, *monitoramento florestal*, *tecnologia aplicada à floresta*, *sensoriamento remoto em florestas* e *manejo florestal digital*.

A partir da triagem inicial, realizada por meio da leitura de títulos e resumos, foi obtida uma amostra inicial de 37 artigos. Os artigos considerados relevantes foram analisados integralmente, resultando em um total de 12 publicações que constituíram a amostra final. Posteriormente, os dados foram sistematizados em categorias temáticas, permitindo uma análise crítica e aprofundada acerca dos avanços, limitações e perspectivas relacionadas à gestão de dados no setor florestal.

O fluxograma a seguir (Figura 1) apresenta as categorias estabelecidas e os aspectos que contemplam. Tais categorias foram definidas com base em levantamento bibliográfico, a partir da identificação de temas recorrentes na literatura científica, visando garantir consistência na organização e análise das informações.

Figura 1 – Fluxograma de categorias temáticas para análise e discussão.



Fonte: próprio autor.

A categorização permitiu uma análise estruturada das principais abordagens encontradas na literatura, possibilitando identificar tendências tecnológicas, desafios recorrentes e lacunas de conhecimento no que diz respeito à gestão de dados operacionais na atividade florestal.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A literatura analisada na Tabela 2 demonstra um avanço notável na aplicação de geotecnologias, sensoriamento remoto e sistemas de informação voltados ao manejo florestal e à sustentabilidade ambiental.

Em um cenário de crescentes desafios climáticos e demandas por eficiência produtiva, as pesquisas recentes apontam para uma tendência de digitalização e integração de dados multiescalares, resultando em uma nova abordagem para a gestão florestal baseada em evidências. Essa transição tecnológica caracteriza o surgimento da chamada silvicultura digital, sustentada pela combinação entre observação remota, modelagem preditiva e análise computacional.

A integração de informações ambientais, microclimáticas, logísticas e socioeconômicas nos sistemas de monitoramento e decisão tem se mostrado fundamental para aumentar a precisão e reduzir custos operacionais. Além disso, tais inovações viabilizam a tomada de decisão em tempo quase real, permitindo maior capacidade de resposta frente a eventos climáticos extremos, doenças ou alterações de cobertura vegetal.

Assim, o conjunto dos estudos analisados reforça o papel das tecnologias emergentes como instrumentos centrais para a sustentabilidade e resiliência dos ecossistemas florestais.

Tabela 2 - Relação de artigos selecionados para discussão.

CATEGORIAS	IDEIA CENTRAL	AUTORES
Monitoramento do Crescimento e Desenvolvimento Florestal	Uso de Imagens de satélite e dados climáticos para monitorar crescimento e correlacionar métricas fenológicas e largura de anéis.	CARMO, <i>et al.</i> 2021
	Estimativa de biomassa via índices de vegetação NDVI, EVI, SAVI, demonstrando aplicação de sensoriamento remoto.	SILVA, <i>et al.</i> 2021
Tecnologias de Sensoriamento Remoto e Geotecnologias	Revisão de geotecnologias (SIG, sensoriamento remoto) aplicadas à estimativa de biomassa e carbono florestal.	COSTA; QUINTANILHA, 2024
	Uso de SIG e sensoriamento remoto para gestão sustentável e monitoramento florestal.	LEITE; BEZERRA; SANTOS, 2025
Variáveis Ambientais e Microclimáticas	Comparação de temperatura, umidade e radiação entre áreas abertas e florestais, avaliando impacto no desenvolvimento.	GOTARDO, <i>et al.</i> 2019
	Análise microclima interno e externo, mostrando influência sobre crescimento das espécies.	LIMA; MARIANO, 2014
Gestão Operacional e Logística Florestal	Avaliação do desempenho de caminhões autocarregáveis em transporte de madeira; otimização logística em regiões montanhosas.	LACHINI <i>et al.</i> 2018
	Modelo de roteirização florestal usando programação inteira mista, reduzindo distância, tempo e custo.	MONTI <i>et al.</i> 2020
Qualidade e Sanidade Florestal	Propõe um sistema de classificação de solos para plantações intensivas de pinus, permitindo estimar a produtividade do sítio e orientar práticas silviculturais mais eficientes.	COOK <i>et al.</i> , 2024
	Avalia o uso de dados Sentinel-2 combinados com algoritmos de aprendizado de máquina para identificar e monitorar variações de saúde florestal.	TORRES <i>et al.</i> , 2021
Armazenamento e Análise de Dados	Apresenta uma arquitetura de <i>Data Lake</i> que integra dados ambientais e socioeconômicos para melhorar análises e decisões no manejo florestal.	SARRAMIA <i>et al.</i> , 2022
	Apresenta o sistema inFlor como solução para organizar, gerir e consultar dados florestais, com aplicação prática e apoio à decisão.	IPEF, 1999

Fonte: próprio autor.

Os estudos de Carmo *et al.* (2021) e Silva *et al.* (2021) apresentam contribuições significativas no campo do monitoramento fenológico e estrutural das florestas. Carmo *et al.* (2021) associaram imagens de satélite e dados climáticos à medições de anéis de crescimento, demonstrando correlação direta entre variáveis ambientais (como precipitação e temperatura) e o padrão de expansão anual das árvores. Essa integração entre métodos tradicionais de dendrocronologia e dados orbitais representa um avanço metodológico importante, permitindo avaliar respostas fisiológicas das espécies às variações climáticas em diferentes escalas espaciais.

De modo complementar, Silva *et al.* (2021) exploraram índices de vegetação, como NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*, EVI – *Enhanced Vegetation Index* e SAVI – *Soil Adjusted Vegetation Index*, para estimar a biomassa e o vigor vegetativo de florestas plantadas. A aplicação desses índices permitiu quantificar variações sazonais e detectar anomalias relacionadas ao estresse hídrico, confirmando a utilidade do sensoriamento remoto como ferramenta não destrutiva de monitoramento contínuo da produtividade florestal. Ambos os estudos evidenciam que a associação entre dados espectrais e climáticos constitui uma alternativa de alto potencial para modelagem de crescimento e avaliação de impactos das mudanças climáticas sobre a vegetação.

A relevância das geotecnologias aplicadas à gestão florestal é evidenciada nos trabalhos de Costa e Quintanilha (2024) e Leite, Bezerra e Santos (2025). Costa e Quintanilha (2024) realizaram uma revisão sistemática sobre o uso de SIG e sensoriamento remoto na estimativa de biomassa e carbono florestal. Os autores destacam a evolução de algoritmos de classificação e calibração, bem como o uso crescente de dados multiespectrais e hiper espectrais para refinar estimativas de biomassa acima do solo. Tais avanços reduzem a dependência de amostragens em campo, otimizando o custo e o tempo de monitoramento.

Leite, Bezerra e Santos (2025), por sua vez, enfatizam o papel dessas tecnologias na gestão sustentável de recursos florestais, com foco na integração entre monitoramento remoto, bases geográficas e modelagem preditiva. Essa convergência tecnológica amplia o escopo do planejamento territorial, permitindo identificar áreas de risco, quantificar estoques de carbono e direcionar estratégias de manejo adaptativo. Assim, observa-se que as geotecnologias passaram a compor o núcleo operacional da engenharia florestal moderna, fornecendo bases científicas robustas para o manejo de florestas nativas e plantadas.

A categoria “Variáveis Ambientais e Microclimáticas” destaca a importância de compreender os fatores físicos que modulam o crescimento das espécies florestais. Gotardo *et al.* (2019) e Lima e Mariano (2014) evidenciam que o microclima exerce influência direta sobre o desenvolvimento das plantas, afetando processos fisiológicos como fotossíntese, transpiração e absorção de nutrientes. Gotardo *et al.* (2019) compararam áreas abertas e florestais, observando diferenças expressivas de temperatura e umidade relativa, o que indica o papel da cobertura vegetal como reguladora térmica e hídrica do ambiente.

Lima e Mariano (2014) complementam essa abordagem ao analisar as condições microclimáticas internas e externas de povoamentos, mostrando que as florestas funcionam como amortecedores climáticos, reduzindo a variabilidade de temperatura e a radiação direta. Essas observações reforçam a necessidade de incorporar dados microclimáticos nos modelos de crescimento e produtividade, de modo a permitir a previsão mais acurada do desempenho das espécies sob diferentes cenários de manejo e clima. O entendimento dessas variáveis é também essencial para o planejamento de reflorestamentos e recuperação ambiental, especialmente em regiões com elevada variabilidade climática.

A eficiência operacional é abordada por Lachini *et al.* (2018) e Monti *et al.* (2020), que tratam de aspectos relacionados à logística florestal e otimização do transporte de madeira. Lachini *et al.* (2018) analisaram o desempenho de caminhões autocarregáveis em terrenos acidentados, evidenciando que a topografia exerce influência significativa sobre o tempo de ciclo, o consumo de combustível e a produtividade das operações. O estudo sugere que a adequação do maquinário e o planejamento de rotas são fatores determinantes para reduzir custos e minimizar impactos ambientais.

Monti *et al.* (2020) complementam essa perspectiva ao desenvolver um modelo de roteirização florestal baseado em programação inteira mista, capaz de reduzir distâncias e tempos de transporte. Os resultados indicam ganhos logísticos expressivos e potencial de redução das emissões de CO₂, além de uma contribuição direta à sustentabilidade operacional do setor. Ambos os trabalhos convergem para a ideia de que a digitalização da cadeia produtiva florestal — por meio de algoritmos, sensores embarcados e análise de dados — é um caminho promissor para aumentar a eficiência e a competitividade do setor madeireiro e energético.

O trabalho de Cook *et al.* (2024), sobre classificação de solos/sítios para manejo intensivo de pinus fornece um arcabouço prático para otimizar produtividade em plantações comerciais, articulando atributos edáficos, climáticos e histórico de manejo para definir classes de sítio e orientar decisões silviculturais (espécie, densidade, regime de rotação). A incorporação de sistemas de classificação de sítios permite priorizar intervenções, por exemplo, calagem, adubação, escolha de linhagens e ajustar regimes de desbaste e colheita para maximizar rendimento econômico e manutenção da função do solo.

Para a detecção e monitoramento da sanidade florestal, Torres *et al.* (2021) evidencia que o sensoriamento remoto, por satélite ou UAV – *Unmanned Aerial Vehicle*, junto a algoritmos de classificação e índices espectrais, é eficaz para identificar sinais de estresse, desfolhamento, pragas e doenças precocemente. Isso permite intervenções preventivas, reduzindo perdas e custos, e melhoria da saúde geral dos povoamentos.

No que tange à infraestrutura de dados, o estudo de Sarramia *et al.* (2022) apresenta uma solução técnica para consolidar dados ambientais heterogêneos, como sensores IoT, dados climáticos, geoespaciais ou temporais, em um *Data Lake* centralizado. Essa arquitetura facilita o armazenamento, a consulta e a análise integrada, oferecendo suporte robusto à tomada de decisão no manejo florestal, inventários e monitoramento ambiental.

De forma complementar, o estudo de Miragaia *et al.* para a Circular Técnica nº190 do IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (1999), apresenta o sistema inFlor como uma solução consolidada para a gestão de dados florestais, contemplando desde o cadastro de talhões e inventário até o registro de operações, manejo, biometria e planejamento. A estrutura lógica do banco de dados possibilita a organização de dados bioecológicos, técnico-econômicos e geoespaciais, e sua interface permite simulação de cenários com base em características de solo, declive, espécies e regime de manejo. Esse tipo de sistema reúne os requisitos essenciais de rastreabilidade, padronização e flexibilidade para apoiar decisões gerenciais em plantações de larga escala, demonstrando que a informatização do inventário florestal constitui uma base técnica e operacional fundamental para silvicultura moderna.

A análise integrada das categorias evidencia a emergência de uma nova lógica na pesquisa e na prática florestal, baseada em sistemas inteligentes, integração de dados e automação. O conjunto dos estudos aponta para a consolidação de uma

silvicultura digital e sustentável, na qual o uso de sensoriamento remoto, SIG, modelagem preditiva e bancos de dados integrados redefine a forma de observar, compreender e manejar os ecossistemas. Essa abordagem tecnológica fortalece a capacidade de resposta às mudanças climáticas, otimiza recursos e amplia a precisão das decisões, promovendo maior sustentabilidade ecológica, econômica e social.

A integração dos avanços tecnológicos observados no setor florestal com a atividade pecuária revela oportunidades estratégicas para o desenvolvimento de sistemas produtivos sustentáveis, especialmente por meio da adoção de sistemas silvipastoris e agrossilvipastoris. As ferramentas de sensoriamento remoto, geotecnologias e análise de dados discutidas anteriormente são igualmente aplicáveis ao monitoramento de pastagens, à avaliação da biomassa forrageira e ao controle de variáveis microclimáticas que afetam o conforto térmico animal e a produtividade.

Além disso, a gestão digital e a modelagem ambiental permitem otimizar o uso da terra, conciliando a produção de madeira, a recuperação florestal e a criação de gado em um mesmo espaço, com ganhos em eficiência e redução de emissões de carbono. Assim, a convergência entre silvicultura digital e pecuária de precisão consolida um novo paradigma para o manejo integrado de paisagens rurais, no qual a tecnologia atua como mediadora entre produção econômica, conservação ambiental e mitigação das mudanças climáticas.

Apesar dos avanços evidenciados, a análise conjunta dos estudos revela que a evolução tecnológica no setor florestal ocorre de forma predominantemente fragmentada, com soluções específicas para cada etapa do processo produtivo. Observa-se que ferramentas voltadas ao monitoramento do crescimento, à análise microclimática, à logística e à sanidade florestal são frequentemente desenvolvidas de maneira independente, o que limita a construção de sistemas integrados de gestão. Essa fragmentação reduz o potencial de uso estratégico das informações, uma vez que impede a consolidação de uma visão holística do sistema produtivo.

Além disso, verifica-se que, embora haja grande disponibilidade de dados provenientes de sensoriamento remoto, sensores e sistemas operacionais, ainda existem limitações significativas relacionadas à interoperabilidade e padronização dessas informações. A ausência de estruturas consolidadas que permitam integrar dados biofísicos, operacionais e econômicos compromete a aplicação de modelos analíticos mais robustos, especialmente aqueles baseados em abordagens preditivas e inteligência artificial. Dessa forma, o desafio atual não está apenas na geração de

dados, mas na sua organização, integração e transformação em conhecimento aplicável.

Outro ponto crítico refere-se à distância entre o desenvolvimento tecnológico e sua aplicação prática no campo. Muitos dos estudos analisados apresentam soluções metodológicas avançadas, porém ainda restritas ao ambiente acadêmico ou experimental. A transferência dessas tecnologias para o setor produtivo depende de fatores como custo, infraestrutura digital e capacitação técnica, que nem sempre estão disponíveis, especialmente em contextos de menor escala produtiva. Essa lacuna evidencia a necessidade de estratégias que aproximem pesquisa e aplicação, garantindo maior efetividade das inovações propostas.

No contexto dos sistemas integrados, como os modelos silvipastoris, essa limitação torna-se ainda mais evidente. A complexidade desses sistemas exige a integração simultânea de variáveis florestais, pecuárias e ambientais, o que demanda plataformas capazes de consolidar diferentes tipos de dados em uma única base analítica. No entanto, os estudos indicam que ainda são incipientes as soluções que operam nessa lógica integrada, o que representa um entrave para a plena implementação da chamada silvicultura digital em sistemas multifuncionais.

Por fim, observa-se que, embora as tecnologias digitais contribuam significativamente para a eficiência produtiva e sustentabilidade, seu potencial só é plenamente alcançado quando associado a estratégias de governança de dados. A ausência de diretrizes claras para armazenamento, compartilhamento e uso das informações pode limitar a escalabilidade das soluções e comprometer a confiabilidade das análises. Assim, a consolidação de uma infraestrutura digital integrada, aliada à padronização de dados e à capacitação dos usuários, configura-se como condição essencial para o avanço da gestão florestal e dos sistemas integrados no Brasil.

6 CONCLUSÃO

A análise dos estudos apresentados evidencia que o setor florestal tem passado por uma profunda transformação tecnológica, marcada pela incorporação de sensoriamento remoto, geotecnologias e sistemas integrados de dados ambientais. Essas inovações têm promovido avanços significativos no monitoramento do crescimento florestal, na gestão operacional e logística, bem como na avaliação da qualidade e sanidade dos ecossistemas. Em conjunto, as pesquisas demonstram que a transição para uma silvicultura digital não se limita ao uso de novas ferramentas, mas representa uma mudança de paradigma científico e técnico, fundamentada na tomada de decisão baseada em evidências e na integração entre diferentes dimensões do ambiente.

As tecnologias emergentes, ao viabilizarem o monitoramento contínuo e de alta resolução das condições florestais e microclimáticas, fortalecem o planejamento territorial e contribuem para o uso mais racional dos recursos naturais. Além disso, a digitalização dos processos logísticos e a adoção de modelos matemáticos de otimização tornam as operações mais eficientes, reduzindo custos e impactos ambientais. Tais transformações apontam para uma gestão florestal mais adaptada às demandas contemporâneas de sustentabilidade, capaz de responder com agilidade às pressões econômicas, climáticas e sociais que afetam o setor.

A integração dessas práticas ao contexto da produção animal amplia ainda mais o alcance das inovações apresentadas. O uso conjunto de tecnologias florestais e pecuárias de precisão viabiliza a criação de sistemas silvipastoris e agrossilvipastoris, que combinam produção animal, reflorestamento e conservação ambiental em um mesmo território. Nessa perspectiva, o monitoramento por sensoriamento remoto e a análise de dados geoespaciais permitem avaliar a qualidade das pastagens, o sombreamento, a biomassa e o conforto térmico animal, tornando possível a gestão integrada e sustentável dos sistemas produtivos rurais. Assim, a sinergia entre silvicultura e pecuária sustentável se consolida como uma estratégia promissora para mitigação das emissões de gases de efeito estufa, recuperação de áreas degradadas e diversificação econômica no campo.

Portanto, os resultados discutidos indicam que o futuro da gestão florestal e agropecuária está ancorado não apenas na adoção de tecnologias digitais, mas principalmente na capacidade de integração e governança dos dados gerados. A

consolidação de uma infraestrutura digital eficiente requer superar desafios relacionados à interoperabilidade, padronização e acessibilidade das informações, de modo a transformar dados dispersos em conhecimento estratégico. Nesse sentido, a efetiva implementação da silvicultura digital e dos sistemas integrados, como a ILPF, depende de uma abordagem sistêmica que articule tecnologia, gestão e capacitação, permitindo não apenas ganhos produtivos, mas também avanços concretos em sustentabilidade e resiliência dos sistemas agropecuários.

Entre os principais benefícios ambientais associados a esse processo, destacam-se a otimização do uso de recursos naturais, como água e insumos agrícolas, a redução de impactos ambientais por meio de intervenções mais precisas, o monitoramento contínuo de indicadores ecológicos e a mitigação das mudanças climáticas, especialmente pelo aumento do sequestro de carbono e pela recuperação de áreas degradadas. Dessa forma, a transformação digital consolida-se como uma ferramenta estratégica não apenas para a eficiência produtiva, mas também para a conservação ambiental e o desenvolvimento sustentável no meio rural.

REFERÊNCIAS

- BALBINO, L. C.; KICHEL, A. N.; BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. **Sistemas de integração**: conceitos, considerações e desafios. *In.*: ILPF: inovação com integração de lavoura pecuária e floresta. EMBRAPA, Brasília – DF, p. 835, 2019.
- BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. de C.; VAZ, C. M. P.; SPERANZA, E. A.; CRUVINEL, P. E. **Agricultura de precisão e agricultura digital**. *In.*: TECCOGS – Revista Digital de Tecnologias Cognitivas, n. 20, p. 17–36, 2019.
- BELLI, L.; MAGALHÃES, L.; VASCONCELLOS, A. P.; GASPAR, W. B.; FRANQUEIRA, B. D.; BAKONYI, E.; SCOVINO, F.; CARABETTA, J. **Governança de dados no setor público**: abertura de dados governamentais, proteção de dados pessoais e segurança da informação para uma transformação digital sustentável. Lumen Juris, Rio de Janeiro – RJ, 188 p., 2024.
- BOLFE, E. L. et al. **Desafios, tendências e oportunidades em agricultura digital no Brasil**. *In.*: Agricultura digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas. Brasília - DF, EMBRAPA, p. 380 – 406, 2020.
- BORBA, M. C.; RAMOS, J. E. S., RAMBORGER, B. M., MARQUES, E. O., MACHADO, J. A. D. Gestão no meio agrícola com o apoio da Inteligência Artificial: uma análise da digitalização da agricultura. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 15, n. 3, p. 1 – 22, 2022.
- BUAINAIN, A. M.; CAVALCANTE, P.; CONSOLINE, L. **Estado atual da agricultura digital no Brasil**: Inclusão dos agricultores familiares e pequenos produtores rurais, Documentos de Projetos (LC/TS.2021/61), Santiago, Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL), 2021.
- BUNGENSTAB, D. J. **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta**: a produção sustentável. Embrapa, Brasília, 2 ed., 239p., 2012.
- CARMO, F. H. D. J.; LATORRACA, J. V. C.; VOLPATO, M.; SANTOS, G. C. V.; SOUZA, P. P.; TAKIZAWA, F. H. Climate variations affect the growth period of Young *Tectona grandis* Linn F in the Amazon. **Acta Botanica Brasilica**, 36, 2021.
- CNA. CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. Após dois trimestres em queda, PIB do agro reage no 3º tri, e recuo esperado para 2024 diminuiu para 2,49%. Brasília, 2025.
- COOK, R. Forest Soil classification for intensive pine plantation management: “Site Productivity Optimizations for Trees” system. **Forest Ecology and Management**. v. 556, 2024.
- COSTA, J. D. M. da; QUINTANILHA, J. A. Uso das geotecnologias na estimativa de biomassa e carbono florestal: uma revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 2, 2024.
- DESA. DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS. **World Population Prospects 2024**: Summary of Results. UN DESA/POP/2024/TR/NO. 9. New York: United Nations, 2024.

FAO. AGROFORESTRY WORKING PAPER. **Advancing Agroforestry on the Policy Agenda**: A guide for decision-makers. Rome: United Nations, 2013.

FAPESP. FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO. Múltiplos sistemas monitoram por satélite o desmatamento da Amazônia. **Pesquisa Fapesp**, 2023. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/multiplos-sistemas-monitoram-por-satelite-o-desmatamento-na-amazonia/>> Acesso em: 22 ago 2025.

GOTARDO, R.; PINHEIRO, A.; PIAZZA, G. A.; KAUFMANN, V.; TORRES, E. Comparação entre variáveis microclimáticas de local aberto e florestal em um bioma da Mata Atlântica, sul do Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria – RS, v. 29, n. 3, p. 1415-1427, 2019.

LACHINI, E.; FIEDLER, N.; SILVA, G.; PINHEIRO, C.; CARMO, F. Operational analysis of forestry Transportation using self-loading trucks in a mountainous region. **Floresta e ambiente**, v. 25, n. 4, 2018.

LEITE, M. J. de H.; BEZERRA, D. H. S.; SANTOS, I. C. de L. Geotecnologias no monitoramento e gestão sustentável de espaços agrários no Nordeste: desafios e perspectivas futuras. **Revista Caribeña de Ciencias Sociales**, Miami, v. 14, n. 3, p. 01-11, 2025.

LIMA, A. M. de; MARIANO, Z. de F. Análise microclimática no interior e fora das florestas estacionais semidecíduas na área da bacia da usina hidrelétrica de Caçu – GO. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v. 27, p. 67-87, 2014.

LOSCH, S.; RAMBO, C. A., FERREIRA, J. de L. A pesquisa exploratória na abordagem qualitativa em educação. **Revista Ibero Americana de Estudos em Educação**, Araraquara, v. 18, n 00, 2023.

MACHADO, D. P.; QUIRAQUE, E. H. **Maturidade de governança e criação de valor público em instituições públicas de ensino superior**: o caso das universidades brasileiras. UNICAMP/UNISO, Campinas; Sorocaba – SP, v. 28, 21 p., 2023.

MARTINS, G. A. THEÓPHILO, C. R. **Metodologia da investigação científica para ciências sociais aplicadas**. Atlas, São Paulo – SP, 2009.

MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A. **Agro 4.0 – Rumo à Agricultura Digital**. In: JC na Escola Ciência, Tecnologia e Sociedade: mobilizar o conhecimento para alimentar o Brasil. 2. ed. São Paulo: Centro Paula Souza, 2017.

MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A.; JUNIOR, A. L.; EVANGELISTA, S. R. M. **A transformação digital no campo rumo à agricultura sustentável e inteligente**. In: Agricultura digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas. Brasília - DF, EMBRAPA, p. 380 – 406, 2020.

MELO, E. A. S. C. de Desafios e oportunidades para a Silvicultura de Precisão: uma síntese do congresso brasileiro de agricultura de precisão de 2014. In: REUNIÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA DO PROGRAMA COOPERATIVO SOBRE SILVICULTURA E MANEJO, 50., 2014, Três Lagoas. **Anais**: 50ª Reunião Técnico-Científica do programa cooperativo sobre silvicultura e manejo. Série Técnica IPEF, v. 24, n. 45, 2016.

MELO, K. B.; COTTA, N. C.; RIBEIRO, R. P.; SANTOS, L. P. Pesquisa qualitativa. *In*: **IX Jicex**, v. 9, n. 9, 2018. Disponível em: <<https://unisantacruz.edu.br/revistas-old/index.php/JICEX/article/view/2550>> Acesso em: 22 ago 2025.

MENDES, C. I. C. *et al.* Governança de dados na agricultura digital: relato da experiência do C4AI. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA (SBIAGRO), 14., 2023, Natal – RN. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2023, p., 198-205. Disponível em: <<https://doi.org/10.5753/sbiagro.2023.26559>>. Acesso em: 22 ago 2025.

IPEF. INSTITUTO DE PESQUISA E ESTUDOS FLORESTAIS. **Circular Técnica nº 190**. Uma aplicação do sistema inFlor na gestão de dados florestais. 1999.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R. do; COLAÇO, A. F. **Agricultura de Precisão**. São Paulo, Oficina de Textos, 2015.

MONTI, C. A. U.; GOMIDE, L. R.; OLIVEIRA, R. M.; FRANÇA, L. C. J. Optimization of wood supply: the forestry rounting optimization model. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, n. 3, p. 17, 2020.

MORAIS, T. B. C. de; MESQUITA, D. L.; COZADI, E. G.; LEME, P. H. M. V. Adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura: uma revisão bibliométrica. **Revista Eixos Tech**, [S. l.], v. 11, n. 5, 2025.

NETO, M. L. T. *et al.* **Integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF) nos cerrados do Piauí e do Maranhão**: estratégia de produção para quatro safras ao ano só com chuvas. Embrapa Meio-Norte, Teresina PI, 21 ed., 19 p., 2019.

OLIVEIRA, S. B. *et al.* Influência de sistemas agroflorestais sucessionais na dinâmica da vegetação espontânea no município de Canaã dos Carajás, sudeste do estado do Pará. **Biodiversidade Brasileira [Internet]**, v. 15, n. 1, p. 82-95, 2025.

PEDROSO, J de S.; SILVA, K. S.; SANTOS, L. P. Pesquisa descritiva e pesquisa prescritiva. **IX Jicex**, v. 9, n. 9, 2018. Disponível em: <<https://unisantacruz.edu.br/revistas-old/index.php/JICEX/article/view/2604>> Acesso em: 22 ago 2025.

ROCHA, J. S. dos S. **O impacto da utilização da tecnologia de Big Data na agropecuária brasileira**. Trabalho de Conclusão de Curso (Administração) – Insper Instituto de Ensino e Pesquisa, São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.insper.edu.br/entities/publication/d3e3ba04-d669-49fb-9f28-bf80629978ca>>. Acesso em: 22 ago 2025.

SARRAMIA, D.; CLAUDE, A.; OGERAU, F.; MEZHOUD, J.; MAILHOT, G. CEBA: A Data Lake for Data Sharing and Enviromental Monitoring. **Sensors**, v. 22, n. 2733, 26p., 2022

SFB. SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Boletim SNIF**. SFB, Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, Brasília – DF, 2024a. Disponível em: <https://snif.florestal.gov.br/images/pdf/publicacoes/Boletim_SNIF_2024.pdf> Acesso em: 22 ago 2025.

SFB. SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Florestas do Brasil: dados e estatísticas**. SFB, Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, Brasília – DF, 2024b. Disponível em: <<https://snif.florestal.gov.br/pt-br/temas-florestais/florestas-do-brasil-dados-e-estatisticas>>. Acesso em: 22 ago 2025.

SILVA, E. J.; ROSA, D. M.; VENDRUSCOLO, J.; CAVALHEIRO, W. C. S. Potencial de imagens do *Sentinel-2* na estimativa da biomassa de *Tectona grandis* L.f. a Amazônia Ocidental. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, 2021.

SILVA, J. W. T.; SOUZA, B. M. de L.; SILVA, C. M. Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF). **Ciência Animal**, São Cristóvão – SE, v. 30, n. 3, p. 71 – 84, 2020.

SOARES, C. C.; BEZERRA, M. G. F. Gestão de florestas públicas: uma revisão de literatura com ênfase à concessão florestal. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 4, p. 627 – 641, 2021.

SOUZA, K. X. S. de **Agricultura digital: definições e tecnologias**. In.: Agricultura digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas. Brasília - DF, EMBRAPA, p. 46 – 66, 2020.

TAMACHIRO, T. S. O.; OLIVEIRA, F. R.; GAYER, J. A. C. A.; KLEINA, M.; MARQUES, M. A. M. Aplicações da tecnologia de Big Data na agricultura: uma revisão sistemática da literatura. **Revista Exacta – Engenharia de Produção e Tecnologia**, v. 20, n. 2, p. 411–425, 2022.

TORRES, P.; RODES-BLANCO, M., VIANA-SOTO, A; NETO, H.; GARCÍA, M. The role of remote sensing for the assessment and monitoring of forest health: s systematic evidence synthesis. **Forests**, v.12, n. 1134, 35p., 2021.