UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO ENGENHARIA DE AGRIMENSURA

JAIRON HENRIQUE DOS SANTOS

A IMPORTÂNCIA DAS GEOTECNOLOGIAS NO AVANÇO DO SETOR AGRÍCOLA DA USINA CAETÉ S/A

Rio Largo, AL
2025

JAIRON HENRIQUE DOS SANTOS

A IMPORTÂNCIA DAS GEOTECNOLOGIAS NO AVANÇO DO SETOR AGRÍCOLA DA USINA CAETÉ S/A

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Agrimensura da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharelado em Engenharia de Agrimensura.

Orientador(a): Prof°. Dr. Arthur Costa Falcão Tavares.

Rio largo, AL

2025

Catalogação na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 - 1512

S237i Santos, Jairon Henrique dos.

A importância das geotecnologias no avanço do setor agrícola da usina Caeté S/A. / Jairon Henrique dos Santos. – 2025.

50 f.: il.

Orientador(a): Arthur Costa Falcão Tavares.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Agrimensura) – Graduação em Engenharia de Agrimensura, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2025.

Inclui bibliografia

1. Geotecnologia. 2. Sustentabilidade. 3. Produtividade. 4. Sensoriamento Remoto. 5. Aerofotogrametria. 6. Agricultura de Precisão. I. Título.

CDU: 528.8

Folha de Aprovação

JAIRON HENRIQUE DOS SANTOS

A IMPORTÂNCIA DAS GEOTECNOLOGIAS NO AVANÇO DO SETOR AGRÍCOLA DA USINA CAETÉ S/A

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à banca examinadora do curso de Engenharia de Agrimensura da Universidade Federal de Alagoas e aprovada em 27 de fevereiro de 2025.

gov.br Documento assinado digitalmente
ARTHUR COSTA FALCAO TAVARES
Data: 13/03/2025 13:35:58-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____
(Orientador – Prof°. Dr. Arthur Costa Falcão Tavares, UFAL)

Banca examinadora:

gov.br Documento assinado digitalmente
VINICIUS SANTOS GOMES DA SILVA
Data: 14/03/2025 20:58:40-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____
(Examinador Externo - Dr. Vinicius Santos Gomes da Silva)

gov.br Documento assinado digitalmente
HENRIQUE RAVI ROCHA DE CARVALHO ALMEIDA
Data: 13/03/2025 13:40:12-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____
(Examinador Interno - Prof°. Dr. Henrique Ravi Rocha de Carvalho, UFAL)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, pela força, sabedoria e bênçãos. À minha esposa, cujo amor, incentivo e apoio incondicional guiaram meu caminho e sonhos. E à minha mãe, pelo exemplo de dedicação e fé, sempre me apoiando e acreditando em mim. Este trabalho é um reflexo do amor e apoio de vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, cuja presença constante e infinita sabedoria foram minha fortaleza ao longo desta jornada. Sem Ele, eu não sou nada. Sua graça e bênçãos me deram forças para superar cada desafio e alcançar cada conquista.

À minha esposa, Láise Carolaine, pelo amor incondicional, incentivo constante e apoio sem fim. Sua presença ao meu lado em todos os momentos, sempre acreditando em mim, foi fundamental para eu alcançar meus objetivos.

À minha mãe, Sra. Maria Salete, cujo exemplo de dedicação, força e fé sempre me inspirou. Sua coragem e amor inabaláveis foram essenciais para superar os desafios. Obrigado por nunca deixar de acreditar em mim.

À minha família, por estarem sempre presentes, compartilhando alegrias e desafios, e pelo apoio e carinho constantes que me motivaram a seguir em frente. Vocês são fundamentais na minha vida.

Aos amigos que fiz durante o curso, pela companhia e apoio constantes, tornando essa jornada mais leve e divertida.

Ao meu orientador, Professor Dr. Arthur Costa Falcão Tavares, pela orientação de qualidade, expertise e dedicação ao longo do desenvolvimento deste TCC. Sua orientação foi fundamental para a realização deste trabalho.

À Usina Caeté S/A, por me proporcionar a oportunidade de trabalhar na área da minha formação e por disponibilizar os dados essenciais para a realização deste TCC. Agradeço pela confiança e pelo suporte.

Aos meus colegas de trabalho no setor de geotecnologia, por todo o suporte prestado durante a pesquisa e elaboração deste trabalho.

Por fim, à Universidade Federal de Alagoas, pela oportunidade de crescimento acadêmico e profissional. Sou grato a todos os professores do curso de Engenharia de Agrimensura, que compartilharam seus valiosos conhecimentos e experiências ao longo dessa jornada.

A todos, o meu sincero agradecimento pela contribuição e apoio ao longo desta caminhada.

“O coração do homem propõe o seu caminho, mas o senhor lhe dirige os passos”
(Provérbios 16:9)

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar os avanços geotecnológicos e o impacto da geotecnologia na Usina Caeté S/A nos últimos anos, destacando como as inovações influenciaram a produtividade e a sustentabilidade. A metodologia utilizada inclui estudos de caso que ilustram a aplicação prática dessas geotecnologias. Os resultados indicam que a implementação de geotecnologias e soluções geotecnológicas como mapeamento com drones, sensoriamento remoto e aerofotogrametria para identificar falhas de plantio e ervas daninhas, monitoramento em tempo real e a central de inteligência agrícola (CIA) têm sido cruciais para a otimização dos processos agrícolas. O sensoriamento remoto e a aerofotogrametria permitem o mapeamento preciso das áreas de cultivo e o monitoramento contínuo das condições das culturas, possibilitando a identificação precoce de pragas, doenças e variações no solo. As conclusões apontam para uma agricultura mais sustentável na Usina Caeté S/A, com aumento da produtividade, redução de custos e menor impacto ambiental. A aplicação de vinhaça localizada, o monitoramento da colheita mecanizada, o preparo de solo e tratos culturais são processos otimizados através dessas geotecnologias. A melhora na tomada de decisões e o acompanhamento de ordens de serviço em geral são destacados como benefícios adicionais. Este estudo evidencia os benefícios e desafios da geotecnologia na agricultura de precisão, destacando casos de sucesso na usina e propondo recomendações para sua implementação eficaz.

Palavras-chave: Geotecnologia; Sustentabilidade; Produtividade; Sensoriamento Remoto; Aerofotogrametria; Agricultura de Precisão.

ABSTRACT

The present work aims to analyze the geotechnological advances and the impact of geotechnology at Usina Caeté S/A in recent years, highlighting how innovations have influenced productivity and sustainability. The methodology used includes case studies that illustrate the practical application of these geotechnologies. The results indicate that the implementation of geotechnologies and geotechnological solutions such as drone mapping, remote sensing, and photogrammetry to identify planting failures and weeds, real-time monitoring, and the agricultural intelligence center (CIA) have been crucial for optimizing agricultural processes. Remote sensing and photogrammetry allow for precise mapping of cultivation areas and continuous monitoring of crop conditions, enabling early identification of pests, diseases, and soil variations. The conclusions point to more sustainable agriculture at Usina Caeté S/A, with increased productivity, cost reduction, and lower environmental impact. The application of localized vinasse, monitoring of mechanized harvesting, soil preparation, and cultural practices are processes optimized through these geotechnologies. Improved decision-making and monitoring of service orders, in general, are highlighted as additional benefits. This study highlights the benefits and challenges of geotechnology in precision agriculture, showcasing successful cases at the plant and proposing recommendations for its effective implementation.

Keywords: Geotechnology; Sustainability; Productivity; Remote Sensing; Aerial photogrammetry; Precision Agriculture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da Usina Caeté..... 24
Figura 2 – Área de estudo..... 24
Figura 3 – Fluxograma metodológico..... 25
Figura 4 – Mapeamento aerofotogramétrico da Fazenda Iguape..... 27
Figura 5 – Ortomosaico da Fazenda Iguape..... 27
Figura 6 – Análise de falhas na cultura de Cana-de-Açúcar..... 28
Figura 7 – Levantamento aerofotogramétrico para projeto de plantio da Fazenda Hortelã..... 29
Figura 8 – Ortomosaico e Vetorização da Fazenda Hortelã..... 30
Figura 9 – Projeto de plantio com piloto automático da Fazenda Hortelã..... 31
Figura 10 – Mapeamento para projeto de plantio com R12i na Fazenda Ilha das Palmeiras..... 32
Figura 11 – Sala de Monitoramento da Central de Inteligência Agrícola..... 33
Figura 12 – Produtividade agrícola por estágio e fazenda..... 34
Figura 13 – Produtividade agrícola por variedade e fazenda..... 35
Figura 14 – Evolução da aplicação da Vinhaça Localizada..... 36
Figura 15 – Relatório de monitoramento (Perda na Colheita Mecanizada) 37
Figura 16 – Gestão da Frota Leve..... 38
Figura 17 – Monitoramento de Operações Agrícolas Utilizando SIG e Sensoriamento Remoto no Software Solinftec..... 39
Figura 18 – Resumo da Operação Agrícola..... 39
Figura 19 – Mapa de Aplicação..... 40
Figura 20 – Base Cartográfica e pontos coletados no controle de pragas..... 41
Figura 21 – Pesquisa e Controle Biológico..... 41
Figura 22 – Pesquisa e Controle Biológico (Dados dos insumos aplicados) ... 42
Figura 23 – Relatório de Falhas de Plantio da Fazenda Utinga..... 43
Figura 24 – Resultados de perdas das colheitas nos últimos 3 anos..... 43
Figura 25 – Resultado de falhas da Fazenda São João após o replantio..... 44
Figura 26 – Resultado de falhas da Fazenda Varrela após o replantio..... 44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABA	Associação Brasileira de Aeromodelismo
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
AP	Agricultura de Precisão
ARARA	Aeronave de Reconhecimento Assistida por Rádio e Autônoma
CAD	Computer-Aided Design
CIA	Central de Inteligência Agrícola
CTA	Centro Tecnológico Aeroespacial
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GCS	Ground Control Station
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GSD	Ground Sample Distance
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
NASA	National Aeronautics and Space Administration
PDF	Portable Document Format
PPP	Posicionamento Preciso por Ponto
RTK	Real-Time Kinematic
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SR	Sensoriamento Remoto
TBC	Trimble Business Center
TIFF	Tagged Image File Format
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO..... 11

1.1 Objetivos..... 12

1.1.1 Objetivo Geral..... 12

1.1.2 Objetivos Específicos..... 12

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 13

2.1 Geotecnologias..... 13

2.2 Agricultura de Precisão..... 13

2.3 Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) 15

2.4 Sistema de Informações Geográficas..... 18

2.5 Geoprocessamento..... 19

2.6 Aerofotogrametria..... 20

2.7 Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS)..... 20

2.8 Uso de Geotecnologias na Agricultura de Precisão..... 21

2.9 Software Avenza Maps..... 22

3. MATERIAIS E MÉTODOS..... 23

3.1 Área de Estudo..... 23

3.2 Metodologia..... 25

3.2.1 Mapeamento Aerofotogramétrico In Loco..... 26

3.2.2 Mapeamento Planimétrico In Loco..... 31

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES..... 34

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 45

REFERÊNCIAS **47**

1. INTRODUÇÃO

A incorporação da geotecnologia na agricultura tem se revelado um avanço significativo para o setor, proporcionando um manejo mais eficiente dos recursos e uma produção mais sustentável. O presente trabalho analisa o impacto dessas inovações tecnológicas na Usina Caeté S/A, uma referência no setor sucroenergético. Com base em estudos de caso e em aplicação prática, a pesquisa evidencia como tecnologias como SIG, sensoriamento remoto e drones têm otimizado processos agrícolas, desde o mapeamento de áreas de cultivo até o monitoramento em tempo real das condições das culturas.

"As geotecnologias estão cada dia mais presentes na agricultura brasileira. Geotecnologia é um tipo específico de tecnologia voltada à aquisição, armazenamento, processamento, visualização e análise de dados geoespaciais, que, por sua vez, permeiam, direta ou indiretamente, uma série de temas relacionados à dinâmica da atividade agrícola" (MACÁRIO et al., 2020, p. 1)

Na Usina Caeté S/A, o uso de drones para identificar falhas de plantio e ervas daninhas, bem como o monitoramento contínuo através de sensores de solo e da CIA, tem sido crucial para melhorar a tomada de decisões e garantir a sustentabilidade.

Além disso, a aplicação de vinhaça localizada, o monitoramento da colheita mecanizada, o preparo do solo e os tratos culturais são processos que se beneficiam das geotecnologias, resultando em maior produtividade e redução de custos. Gustavo Ferreira de Souza, em seu estudo sobre agricultura de precisão por sensoriamento remoto, destaca a importância dessas tecnologias para a otimização de recursos e a sustentabilidade agrícola.

Empresas como a Embrapa e a Agroadvance têm sido pioneiras na implementação dessas tecnologias, desenvolvendo soluções inovadoras que auxiliam produtores a otimizar recursos e promover a sustentabilidade. Este estudo busca destacar os benefícios e desafios da geotecnologia na Usina Caeté S/A, propondo recomendações para sua implementação eficaz e contribuindo para o avanço do conhecimento na área da engenharia de agrimensura.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral foi investigar e analisar os impactos das geotecnologias na Usina Caeté S/A, destacando como os avanços geotecnológicos, incluindo o uso de VANTs, sensoriamento remoto, SIG e geoprocessamento, contribuem para a otimização dos processos agrícolas. Este estudo visou demonstrar como essas geotecnologias facilitam a tomada de decisões mais precisas e informadas, promovendo uma agricultura mais eficiente, sustentável e economicamente viável.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Investigar como as geotecnologias, incluindo drones, sensoriamento remoto, SIG e geoprocessamento, contribuem para a otimização dos processos agrícolas na Usina Caeté S/A.
- Avaliar de que maneira essas tecnologias permitem uma tomada de decisão mais precisa e informada, promovendo maior eficiência na gestão dos recursos agrícolas.
- Ressaltar a importância da agrimensura na integração e utilização dos dados geoespaciais obtidos pelas geotecnologias, e como isso contribui para um planejamento e execução mais eficazes das atividades agrícolas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 GEOTECNOLOGIAS

As geotecnologias são instrumentos capazes de incorporar informações sobre a localização, extensão e formato dos elementos presentes na superfície terrestre ao processo de geração de dados. Essas ferramentas possibilitam a análise do comportamento espacial dos objetos, extraindo informações relevantes a partir dessas características (IBAM, 2012).

Entre os principais componentes das geotecnologias, destacam-se:

- SIG: Ambientes computacionais que permitem a manipulação e análise de dados espaciais, integrando-os a dados não espaciais para a extração de informações detalhadas e úteis.
- SR: Conjunto de técnicas e instrumentos utilizados para adquirir dados sobre objetos à distância, sem contato direto, possibilitando a observação e monitoramento de grandes áreas de forma contínua e eficiente.
- Sistemas Global de Posicionamento por Satélites (GNSS): Conjunto de técnicas e equipamentos que fornecem a localização precisa de pontos na superfície terrestre, essencial para o mapeamento e navegação.

As geotecnologias abrangem não apenas o processamento de dados, mas também a obtenção, armazenamento, visualização e distribuição de informações espaciais. Este conjunto de ferramentas e técnicas permite um entendimento aprofundado do espaço geográfico, facilitando a tomada de decisões informadas e a gestão eficiente dos recursos (IBAM, 2012).

2.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO

Ao longo do século XX, a agricultura passou por diversas fases de evolução, começando com a Agricultura 1.0, que utilizava tração animal para as atividades no campo. A Agricultura 2.0 substituiu essa tração pelo motor a combustão, permitindo o desenvolvimento de máquinas agrícolas. A Agricultura 3.0 introduziu o sistema de Posicionamento Global (GPS), amplamente adotado para o gerenciamento do plantio. Atualmente, a Agricultura 4.0 integra

conectividade e automação, utilizando máquinas, drones (VANTs), robôs e sensores, proporcionando uma revolução no campo (ESPERIDIÃO et al., 2019).

No final do século XX, surgiu o conceito de Agricultura de Precisão (AP), uma ferramenta da Agricultura 4.0 que disponibiliza tecnologias como GPS, SR, SIG, VANTs e geoestatística. Essas tecnologias são associadas a outras inovações, como monitores de colheita e equipamentos para aplicação de insumos a taxas variáveis. No Brasil, a AP começou a ser difundida por volta de 1996, mas enfrentou resistência, sendo vista inicialmente como uma ferramenta exclusiva para grandes propriedades.

Conforme Lamparelli (2016), a AP consiste em um conjunto de técnicas que permite o manejo localizado dos cultivos, otimizando os insumos da produção e visando o melhor rendimento da cultura, levando em consideração a localização e a fertilidade do solo, entre outros fatores. A implementação da AP envolve quatro etapas: monitoramento intensivo para coleta de dados; geração e integração de mapas agrícolas; manejo da cultura com modelagem sistêmica; e gerenciamento diferenciado de insumos conforme necessário. A integração dessas etapas possibilita o cálculo de índices de produção e orienta o manejo adequado (PONTES e CAVICHIOLI, 2018).

A primeira etapa, a coleta de dados, quantifica a variabilidade no campo e identifica a localização específica dentro da produtividade dos cultivos e dos fatores que influenciam o manejo (MOLIN, 2002). Posteriormente, são buscadas relações de causa e efeito entre a produção e esses fatores, propondo um gerenciamento estratégico e a aplicação específica dos insumos e práticas para corrigir anormalidades (COELHO, 2005; BARBIERI et al., 2008).

A AP integra tecnologias modernas para coleta, processamento e análise de múltiplas fontes de dados em alta resolução espacial e temporal. Essas tecnologias são baseadas em soluções inovadoras de instrumentação agrícola, gestão da informação e indicadores de produção, fornecendo suporte para a tomada de decisões mais apropriadas e eficientes em cada talhão. O uso do GPS, máquinas com taxas variáveis e drones são algumas das ferramentas que tratam especificamente cada ponto da propriedade agrícola, analisando particularidades do solo (OLIVEIRA, 2016).

O sensoriamento remoto é uma tecnologia crucial na AP, amplamente utilizada devido às suas diversas aplicações, e é complementada por novas

tecnologias de sensores proximais, capazes de gerar dados em alta resolução espacial. Esses sensores realizam medições no solo por contato direto ou através de câmeras multiespectrais acopladas em drones (JORGE; INAMASU, 2014; RABELLO et al., 2014; SHIRATSUCHI et al., 2014). A leitura dos diferentes sensores é feita com a atualização sincronizada das coordenadas dos sensores de posicionamento, variando o número total de observações por área conforme a velocidade de operação (RABELLO et al., 2014).

De acordo com Mainardi (2015), a AP tende a ganhar espaço em relação à agricultura tradicional, devido à busca dos agricultores por alternativas que aumentem a produtividade e rentabilidade. O uso de drones, integrados a outras tecnologias, tem se mostrado uma alternativa viável, permitindo a coleta, processamento, análise e transmissão de informações das lavouras em tempo real, contribuindo para o monitoramento ambiental.

2.3 VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (VANTs)

No campo da AP, diversas tecnologias e serviços estão disponíveis, oferecendo ferramentas eficientes e adequadas para diferentes sistemas de produção (BERNARDI; INAMASU, 2014). Essas inovações tecnológicas associam informações para formar um sistema de manejo de produção integrado, ajustando o tipo e a quantidade de insumos às necessidades reais das culturas. Nos dias atuais, uma das tecnologias que se destaca é o uso de drones, devido aos inúmeros benefícios que proporcionam aos agricultores (NUNES, 2016).

O desenvolvimento dos VANTs surgiu como uma importante solução na AP, facilitado pelo avanço tecnológico atual. Eles são relativamente baratos, possuem um tamanho reduzido e ajudam na otimização da produção. O termo “Veículo Aéreo Não Tripulado” abrange uma ampla gama de aeronaves autônomas, semiautônomas ou operadas remotamente (Rasi, 2008). Segundo a Associação Brasileira de Aeromodelismo (ABA), um VANT é "um veículo capaz de voar na atmosfera, fora do efeito de solo, projetado ou modificado para não receber um piloto humano e operado por controle remoto ou de forma autônoma."

O interesse em VANTs tem crescido globalmente, impulsionado por avanços tecnológicos em computação, desenvolvimento de novos *softwares*, materiais mais leves, sistemas globais de navegação, *links* de dados avançados, sensores sofisticados e miniaturização. No Brasil, os primeiros relatos do uso de VANTs datam da década de 1980, quando o Centro Tecnológico Aeroespacial (CTA) desenvolveu o projeto Acauã para fins militares. Na mesma época, VANTs foram aplicados na agricultura através do projeto ARARA (Aeronave de Reconhecimento Assistida por Rádio e Autônoma), substituindo aeronaves convencionais para fotografias aéreas e monitoramento de áreas agrícolas e ambientais (JORGE, 2001; MEDEIROS, 2007).

Os VANTs são compostos por uma aeronave e uma estação de controle em solo (*Ground Control Station* - GCS), permitindo o planejamento e monitoramento remoto das missões. Equipados com GPS e Unidade de Medição Inercial (IMU), os drones proporcionam alta precisão de localização, essencial para operações agrícolas (RASI, 2008).

A navegação inercial integra acelerações Norte/Sul e Leste/Oeste através de sensores inerciais, determinando a posição do drone. (NERIS, 2001) destaca que os drones possuem um sistema de controle capaz de estabilizar a aeronave e executar manobras conforme a rota e missão estabelecidas.

Os VANTs são classificados da seguinte forma conforme a ANAC:

- Classe 1: RPA com PMD maior que 150 kg;
- Classe 2: RPA com PMD maior que 25 kg e menor ou igual a 150 kg; e
- Classe 3: RPA com PMD menor ou igual a 25 kg.

Os VANTs também são classificados funcionalmente para alvos, reconhecimento, monitoramento, combate, logística ou pesquisa, e também segundo alcance e altitude:

- De mão: 600 m de altitude, alcance de 2 km; Monitoramento de pequenas áreas; Pequenos produtores.
- Curto alcance: 1500 m de altitude, 10 km de alcance; Monitoramento agrícola; Médios produtores.

- OTAN: 3000 m de altitude, 50 km de alcance; Missões de reconhecimento; Forças armadas.
- Tático: 5500 m de altitude, 160 km de alcance; Operações táticas; Governos.
- MALE: até 9000 m de altitude, 200 km de alcance; Monitoramento estratégico; Exército.
- HALE: acima de 9100 m de altitude, alcance indefinido; Monitoramento contínuo; Agências meteorológicas.
- Hipersônico: 15200 m de altitude, alcance acima de 200 km; Operações de alta velocidade; Defesa.
- Orbital: baixa órbita; Monitoramento satelital; Agências espaciais.
- CIS: transporte lua-terra; Missões espaciais; NASA.

Além do alcance e altitude, VANTs se diferenciam pelo modelo da asa, podendo ser fixa ou rotativa. Os de asa rotativa incluem helicópteros convencionais ou multirotores, que são plataformas aéreas com eletrônica sofisticada, permitindo o transporte de sistemas de captura de imagens com alta estabilidade e baixo custo operacional (MEDEIROS, 2007).

Na agricultura, VANTs de asa delta são populares devido ao pequeno porte, apesar de serem suscetíveis a ventos fortes. Eles criam sustentação para o voo com asas delta e são impulsionados por hélices traseiras (FORCE, 2016).

A utilização de drones na AP se concentra no uso de sensores baseados na espectroscopia de refletância, medindo a radiação eletromagnética refletida e interagindo com diferentes superfícies em comprimentos de onda específicos. Aplicando esses sensores, as imagens hiperespectrais permitem estudos detalhados das coberturas vegetais e espécies, associadas às propriedades fisiológicas e estruturais das plantas (VARRSHNEY; ARORA, 2004).

Etapas para utilização de drones na AP incluem:

- Planejamento de voo;
- Voo com sobreposição;
- Obtenção de imagens georreferenciadas;
- Processamento das imagens;
- Geração de mosaico;
- Análise em ferramenta GIS;

- Geração de relatórios.

Seguindo essas etapas, pode-se obter um mapeamento preciso da área, trazendo benefícios como monitoramento de plantações, detecção de secas e pragas, localização de pragas, estimativas de produtividade, mapeamento agrícola e hídrico.

2.4 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

SIG são ferramentas computacionais relevantes para a coleta, armazenamento, análise e visualização de dados georreferenciados. Conforme o documento do programa de modernização do Ministério da Economia do Brasil (2016), os SIGs desempenham um papel fundamental no mapeamento de elementos da superfície terrestre e na análise de fenômenos espaciais.

Segundo GUITARRA, "SIG, é todo *software* ou *hardware* capaz de criar, coletar, processar, editar e armazenar dados espaciais, referentes à localização, bem como de mapear áreas e espacializar fenômenos que acontecem na superfície terrestre. Algumas definições de SIG incluem, ainda, todas as técnicas e a metodologia necessária para a leitura e aplicação desses sistemas, assim como os agentes responsáveis pela execução das tarefas e dos comandos. Um SIG tem como principal característica a sua propriedade de armazenamento, processamento e leitura de dados de diversas naturezas em um único software, sendo possível realizar várias combinações para o uso desses dados a fim de compor mapas e analisar informações espacializadas da maneira como o usuário deseja.”

‘‘Um SIG pode ser utilizado como ferramenta para produção de mapas, como suporte para análise espacial de fenômenos e como um banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial. O SIG é a aplicação do Geoprocessamento, entendido como um conjunto de técnicas matemáticas e computacionais para transformar o dado espacial em informação espacial. Portanto, sempre que o “Onde” aparece dentre as questões e problemas que precisam ser resolvidos por um sistema informatizado, haverá uma oportunidade para considerar a adoção de um SIG”. (BARROS, 2025).

2.5 GEOPROCESSAMENTO

O geoprocessamento é uma tecnologia útil para a manipulação e análise de dados georreferenciados. Conforme descrito pelo (INPE), o geoprocessamento envolve uma série de processos que permitem a obtenção, armazenamento, processamento e visualização de dados espaciais. Essas operações são realizadas através de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que integram *hardware*, *software* e dados geográficos para capturar, gerenciar, analisar e apresentar todas as formas de informação georreferenciada.

Geoprocessamento é uma técnica que utiliza tecnologias de informação para coletar, analisar e apresentar dados geográficos. Essa ferramenta é amplamente utilizada em diversas áreas do conhecimento, tanto na área urbana como nas áreas rurais, incluindo a agricultura e a gestão ambiental. Por ser uma área abrangente, o objetivo do geoprocessamento é fornecer informações precisas e confiáveis sobre a localização e distribuição de objetos e fenômenos geográficos, permitindo a tomada de decisões mais informadas e eficientes. Desta forma, o que é Geoprocessamento, pode ser visto e compreendido como o uso da tecnologia para analisar e manipular dados geográficos. Envolve o uso de SIG, sensoriamento remoto e outras tecnologias para coletar, armazenar, analisar e exibir dados espaciais. Portanto, o geoprocessamento permite-nos compreender melhor as relações entre as diferentes feições geográficas e tomar decisões mais informadas sobre como gerir e utilizar os nossos recursos naturais. (GEO SEM FRONTEIRAS, 2023).

Geoprocessamento pode ser aplicado em diversas áreas, como meio ambiente, planejamento urbano, agricultura, saúde, transporte, e diversas outras. Em resumo, o Geoprocessamento é uma ferramenta versátil e poderosa que pode ser utilizada em diversas áreas para a análise e tomada de decisões baseadas em dados geográficos. Estes são apenas alguns exemplos das diversas maneiras pelas quais o geoprocessamento pode ser usado para melhorar a tomada de decisões e o gerenciamento de recursos." (GEO SEM FRONTEIRAS, 2023).

2.6 AEROFOTOGRAMETRIA

A aerofotogrametria é uma técnica bastante utilizada na engenharia de agrimensura, utilizando drones para capturar fotografias aéreas e criar mapas topográficos e modelos tridimensionais da superfície terrestre. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), os voos fotogramétricos são realizados com câmeras especiais instaladas em drones, que tiram fotos sequenciais de maneira sobreposta. Essa sobreposição é crucial, pois permite a visualização estereoscópica das imagens, proporcionando uma percepção de profundidade e a geração de modelos tridimensionais precisos.

A aerofotogrametria consiste no uso de fotos aéreas para medir e/ou mapear uma determinada área. Sendo este um dos vários métodos utilizados para o mapeamento da superfície terrestre. A aquisição de imagens de alta resolução e a capacidade de cobrir grandes áreas rapidamente transformaram a aerofotogrametria em uma ferramenta versátil e acessível para mapeamento, planejamento urbano, monitoramento ambiental e diversas outras aplicações. (GABRIEL, 2024).

2.7 SISTEMA GLOBAL DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITE (GNSS)

O Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) é uma tecnologia de navegação que fornece informações de posicionamento, velocidade e tempo para usuários em terra, mar ou ar. Conforme descrito pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2023), o GNSS utiliza uma constelação de satélites que transmitem sinais de rádio, permitindo que dispositivos receptores em solo determinem sua posição exata com base no tempo de viagem desses sinais.

Na Engenharia de Agrimensura, o GNSS é uma ferramenta de grande importância para levantamentos topográficos, mapeamento de terrenos e monitoramento de áreas agrícolas. A precisão oferecida pelo GNSS permite aos engenheiros agrimensores realizar medições detalhadas e precisas, facilitando o planejamento e a execução de projetos de infraestrutura e manejo de terras (ANAC, 2023).

Além disso, o GNSS é muito importante para a agricultura de precisão, permitindo a aplicação otimizada de insumos e o monitoramento da

produtividade das culturas. A utilização de GNSS em drones também potencializa a realização de levantamentos rápidos e precisos, contribuindo significativamente para a eficiência e segurança das operações de campo (ANAC, 2023).

2.8 USO DE GEOTECNOLOGIAS NA AGRICULTURA DE PRECISÃO

O uso de geotecnologias tem revolucionado a agricultura de precisão, tornando-se uma prática útil para a modernização e eficiência no setor. As geotecnologias englobam ferramentas como SR, SIG e GPS, que auxiliam no monitoramento, coleta, análise e visualização de dados geoespaciais, permitindo tomadas de decisão mais assertivas e sustentáveis (MACÁRIO et al., 2020).

Com os avanços tecnológicos, a produção e a disponibilidade de dados geoespaciais cresceram rapidamente, possibilitando seu uso em diversas escalas e aplicações. Esses dados possuem características espaciais, temporais e não espaciais, úteis para representar fenômenos do mundo real, como a variação da fertilidade do solo e a identificação de áreas críticas nas lavouras. Tais informações são importantes para o manejo mais eficiente e para a gestão sustentável das propriedades agrícolas (MACÁRIO et al., 2020).

Além disso, os SIGs desempenham um papel central na integração e análise de dados geoespaciais, permitindo a criação de mapas detalhados e modelos preditivos que auxiliam no planejamento agrícola. Essas ferramentas são capazes de identificar padrões espaciais e temporais, fornecendo suporte para atividades como plantio, irrigação e colheita. Conforme destacado por Macário et al. (2020), o uso de SIGs facilita uma abordagem abrangente e integrada das operações no campo.

O Sensoriamento Remoto é outra tecnologia amplamente utilizada na agricultura de precisão, possibilitando a obtenção de imagens de satélite e dados aéreos que fornecem informações detalhadas sobre a saúde das plantas e a condição do solo. Esse monitoramento contínuo permite aos agricultores identificar áreas que demandam intervenções específicas, otimizando o uso de insumos e promovendo a sustentabilidade ambiental (MACÁRIO et al., 2020).

Por fim, o GPS e seus derivados, como GNSS, desempenham um papel essencial na navegação e mapeamento preciso das áreas agrícolas. A

integração dessa tecnologia com VANTs tem potencializado a coleta de dados detalhados, contribuindo para a eficiência e segurança das operações agrícolas. A utilização dessas ferramentas torna-se estratégica para atender às crescentes demandas por eficiência operacional e gestão sustentável das propriedades rurais (MACÁRIO et al., 2020).

2.9 SOFTWARE AVENZA MAPS

O Avenza Maps é um aplicativo de mapeamento *off-line* desenvolvido pela Avenza Systems, que permite o acesso a mapas digitais sem necessidade de conexão com a internet. Segundo informações da Engesat (2023), o Avenza Maps possibilita a importação de mapas personalizados em formato PDF (Portable Document Format), oferecendo funcionalidades avançadas como rastreamento de localização via GPS, adição de marcadores (placemarks) e medição de distâncias diretamente no mapa. Essas características tornam o aplicativo especialmente útil para atividades de campo realizadas em áreas remotas onde a conectividade é limitada.

Na Engenharia de Agrimensura, o Avenza Maps destaca-se pela capacidade de integrar dados georreferenciados com precisão. Isso é muito importante para levantamentos topográficos e criação de mapas detalhados, que são utilizados em projetos de infraestrutura e planejamento urbano. A possibilidade de carregar mapas personalizados e utilizá-los *off-line* garante que os profissionais possam acessar informações críticas, mesmo em locais sem conexão à internet. Esse recurso é particularmente relevante para topógrafos e engenheiros agrimensores que necessitam de ferramentas precisas e confiáveis para a coleta e análise de dados geoespaciais em tempo real (ENGESAT, 2023).

Um PDF georreferenciado contém coordenadas espaciais precisas, permitindo a associação de informações geográficas a locais específicos no terreno. Isso facilita o planejamento e a gestão de projetos agrícolas, além de possibilitar uma análise detalhada e a execução eficiente de tarefas no campo. A criação e utilização dos mapas PDFs georreferenciados permite que os usuários consigam transitar e identificar exatamente as propriedades em campo, melhorando significativamente a eficiência das operações e o gerenciamento dos recursos da Usina Caeté S/A.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

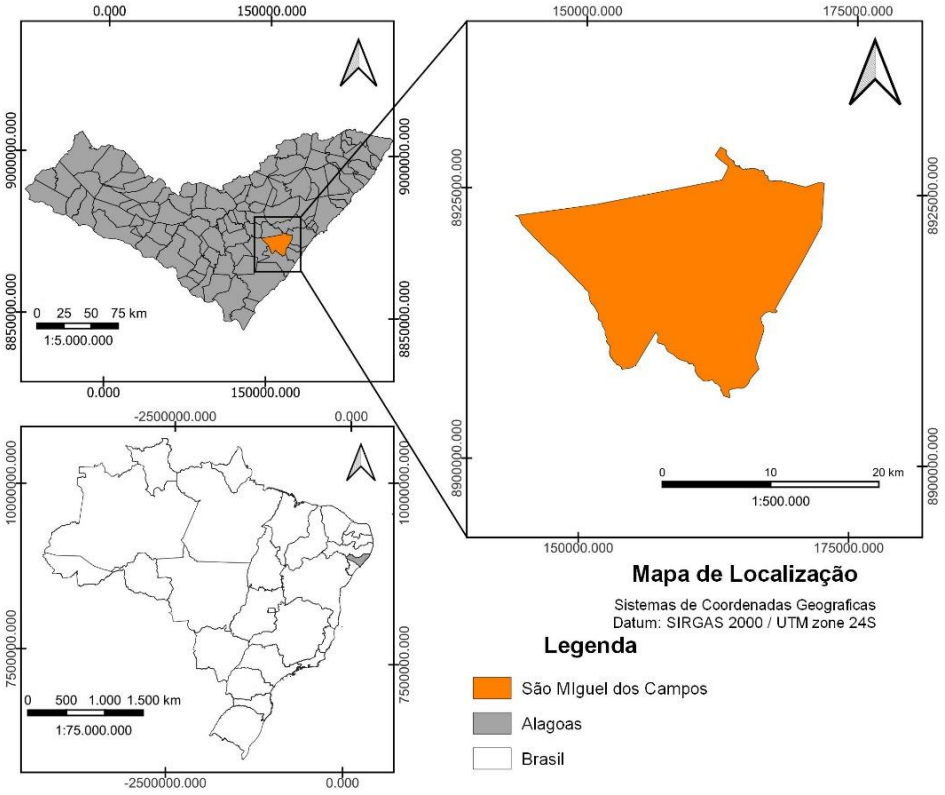
A área de estudo deste trabalho compreende a região agrícola da Usina Caeté S/A, localizada em São Miguel dos Campos, no estado de Alagoas, Brasil. A Usina Caeté S/A se destaca pela sua significativa contribuição ao setor sucroenergético e pela implementação de avanços tecnológicos recorrentes em suas operações.

A Usina Caeté S/A tem investido continuamente em tecnologias inovadoras que otimizam suas operações agrícolas e industriais. A aplicação de geotecnologias, como SIG, SR e GPS, tem sido eficaz para a modernização dos processos e o aumento da eficiência produtiva. Essas ferramentas permitem uma gestão mais precisa dos recursos naturais, a redução de custos operacionais e a promoção da sustentabilidade ambiental.

A importância da agrimensura nas operações da usina é evidenciada pelo uso de tecnologias avançadas para a realização de levantamentos topográficos e a criação de mapas detalhados. A agrimensura é importante para a delimitação exata das propriedades e o planejamento adequado das atividades agrícolas, contribuindo para a otimização do uso da terra e a melhoria da produtividade. A criação de PDFs georreferenciados pelo setor de geotecnologia/topografia da usina é um exemplo de como a precisão das medições e a integração de dados geoespaciais são relevantes para o sucesso das operações.

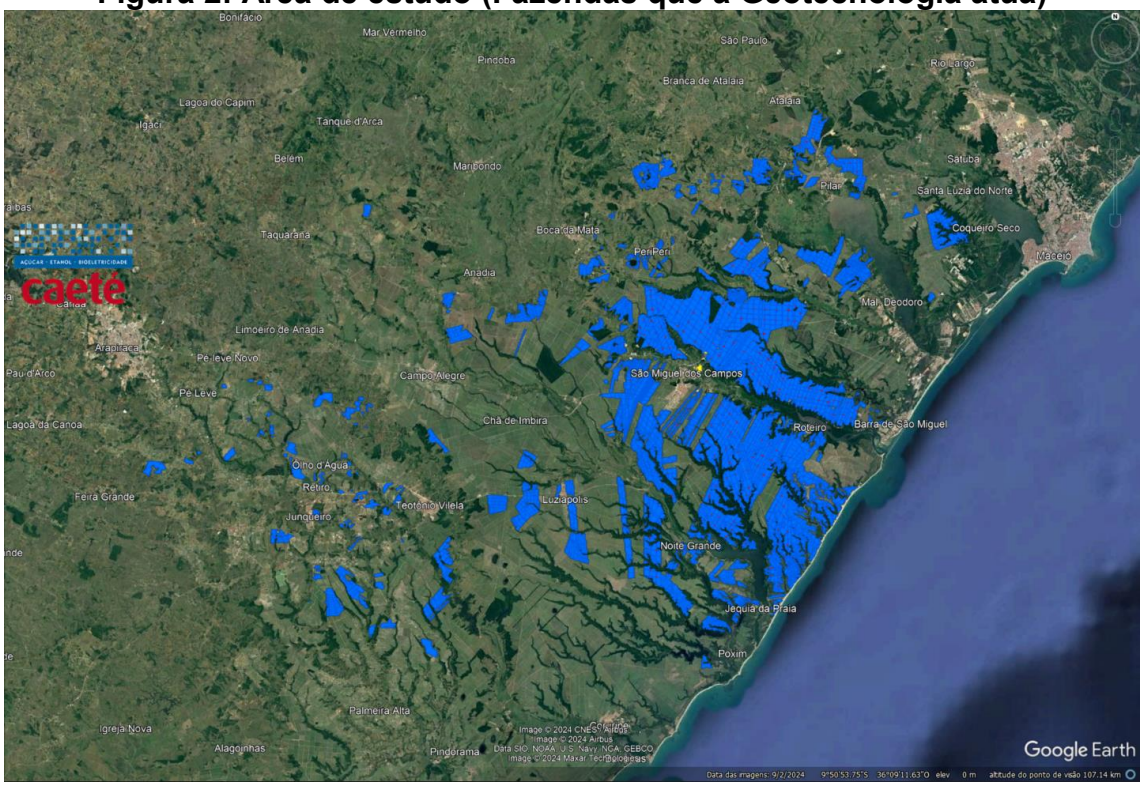
A localização estratégica da usina em São Miguel dos Campos, com solos férteis e clima favorável, também contribui para o sucesso das práticas agrícolas e a adoção de inovações tecnológicas na Agricultura de Precisão.

Figura 1: Localização da Usina Caeté S/A



Fonte: Autor (2024).

Figura 2: Área de estudo (Fazendas que a Geotecnologia atua)

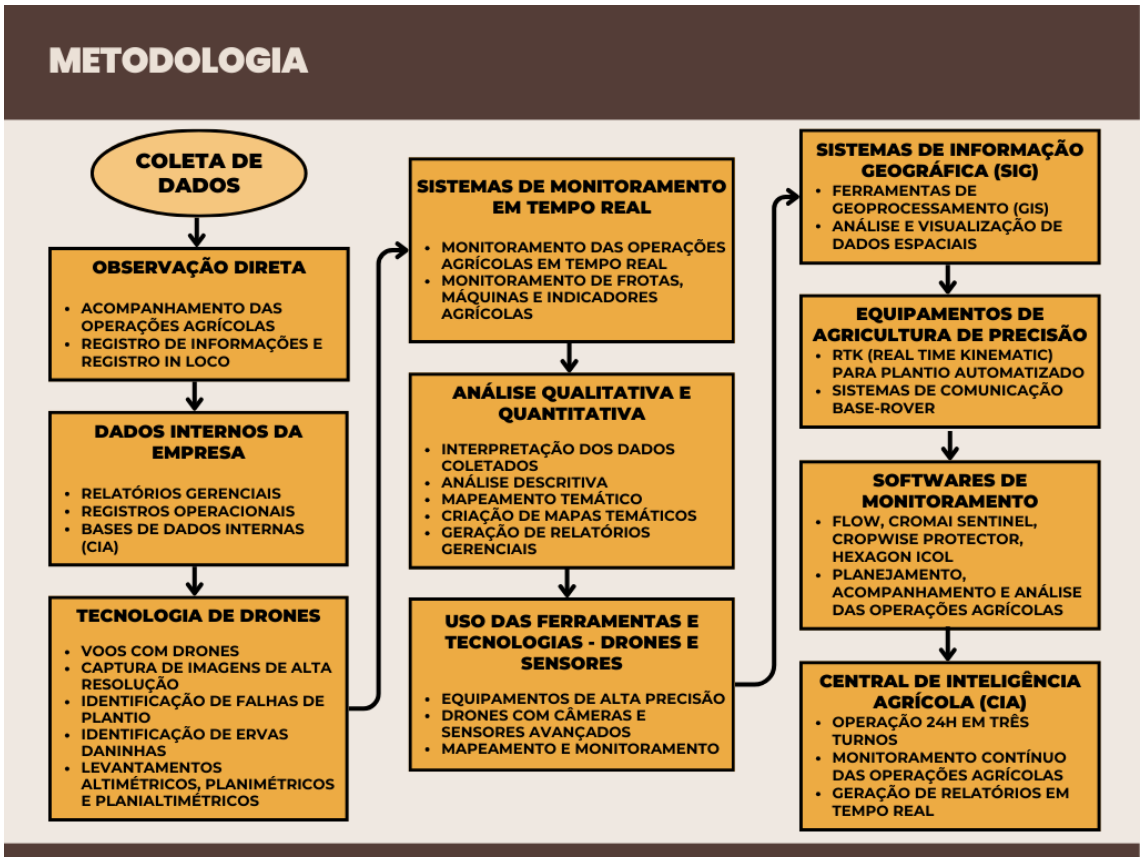


Fonte: Usina Caeté S/A

3.2 METODOLOGIA

A seguir, apresenta-se o fluxograma detalhando a metodologia adotada para a realização desse estudo de caso. Nele, são descritas as etapas de coleta de dados, que incluíram a observação direta das operações agrícolas na empresa, registro de informações *in loco*, utilização de dados internos da empresa, relatórios gerenciais e registro de operações. Além disso, o fluxograma destaca o uso de geotecnologias, como drones para captura de imagens de alta resolução, identificação de falhas de plantio e ervas daninhas, e levantamentos planialtimétricos. O sistema de monitoramento em tempo real, monitoramento das operações e frotas, análise qualitativa e quantitativa dos dados, interpretação de dados, análise descritiva e mapeamento temático também são abordados, assim como o uso de ferramentas e geotecnologias, incluindo VANTs, SR, SIGs, receptores GNSS e *softwares* de monitoramento.

Figura 3: Fluxograma metodológico a ser utilizado no desenvolvimento do trabalho.



Fonte: Autor (2025)

Além das etapas descritas no fluxograma, foram adotadas outras metodologias complementares, com foco em algumas fazendas selecionadas da Usina Caeté S/A. O mapeamento aerofotogramétrico foi realizado na Fazenda Iguape, utilizando VANT para capturar imagens detalhadas e georreferenciadas. Esses dados, aliados a uma base cartográfica confiável, foram relevantes para a análise e o manejo eficiente das áreas agrícolas. Na Fazenda Olho d'Água, a análise de falhas na cultura de cana-de-açúcar foi conduzida por meio da plataforma paga da Bem Agro, possibilitando a identificação de áreas com falhas de plantio. Já na Fazenda Hortelã, foi realizado um levantamento aerofotogramétrico específico para um projeto de plantio.

Na Fazenda Ilha das Palmeiras, foi realizado um levantamento planimétrico utilizando o equipamento Trimble R12i, que forneceu dados confiavéis sobre o terreno. Essas informações foram importantes para a elaboração de projetos de plantio. Por fim, destaca-se a atuação da CIA, que centraliza a integração de informações em tempo real, derivadas de diferentes metodologias e alinhadas à base cartográfica. Essa estrutura facilita a análise estratégica das operações, otimizando a gestão agrícola e contribuindo para decisões mais informadas.

3.2.1 Mapeamento Aerofotogramétrico

A Figura 4 ilustra o ponto de decolagem para execução do mapeamento aerofotogramétrico Fazenda Iguape, sendo utilizado um VANT modelo Mavic 3 Enterprise RTK, o plano de voo foi elaborado no Google Earth, o poligono foi feito na plataforma e passado para o *drive*, no controle tem o *drive*, o que facilita a elaboração do voo, os parametros foram feitos da seguinte forma, altura de 110m, GSD (Ground Sample Distance) de 2.95, sobreposição lateral de 70 e frontal de 80 com velocidade de 13 m/s. A presença da base RTK da DJI é destacada, garantindo a alta acurácia das coordenadas geográficas registradas. Esta etapa é fundamental para obter dados precisos e confiáveis, que serão utilizados nas análises subsequentes.

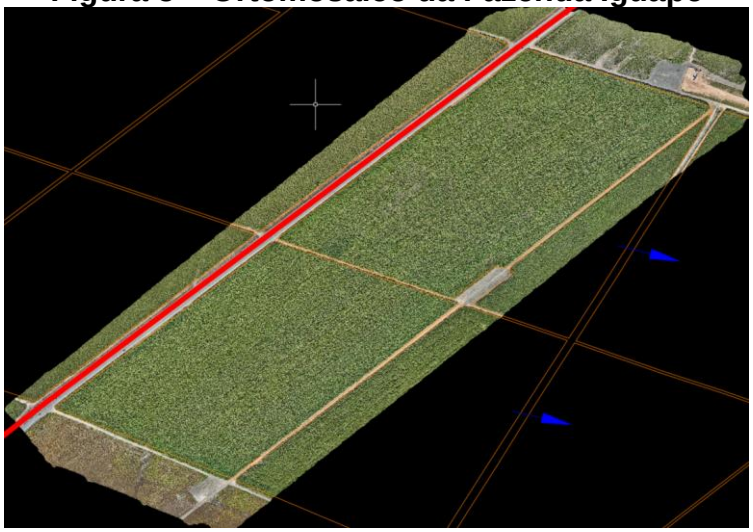
Figura 4 – Mapeamento aerofotogramétrico da Fazenda Iguape



Fonte: Autor (2024)

A Figura 5 apresenta o ortomosaico gerado a partir das imagens capturadas durante o levantamento aerofotogramétrico. O processamento foi realizado na plataforma Bem Agro, uma empresa especializada na identificação de falhas de plantio. Essa plataforma, que opera mediante assinatura, permite que o usuário insira o polígono da fazenda em análise e carregue as imagens brutas. A partir disso, é gerado o ortomosaico, resultando em um arquivo *TIFF* (Tagged Image File Format), que oferece uma visão detalhada e georreferenciada da área de cultivo. O mapa obtido possibilita a identificação precisa das linhas de plantio e a detecção de áreas com a presença de ervas daninhas. Esse recurso é útil para a gestão eficiente das atividades agrícolas, proporcionando intervenções mais precisas e informadas com base nos dados levantados.

Figura 5 – Ortomosaico da Fazenda Iguape

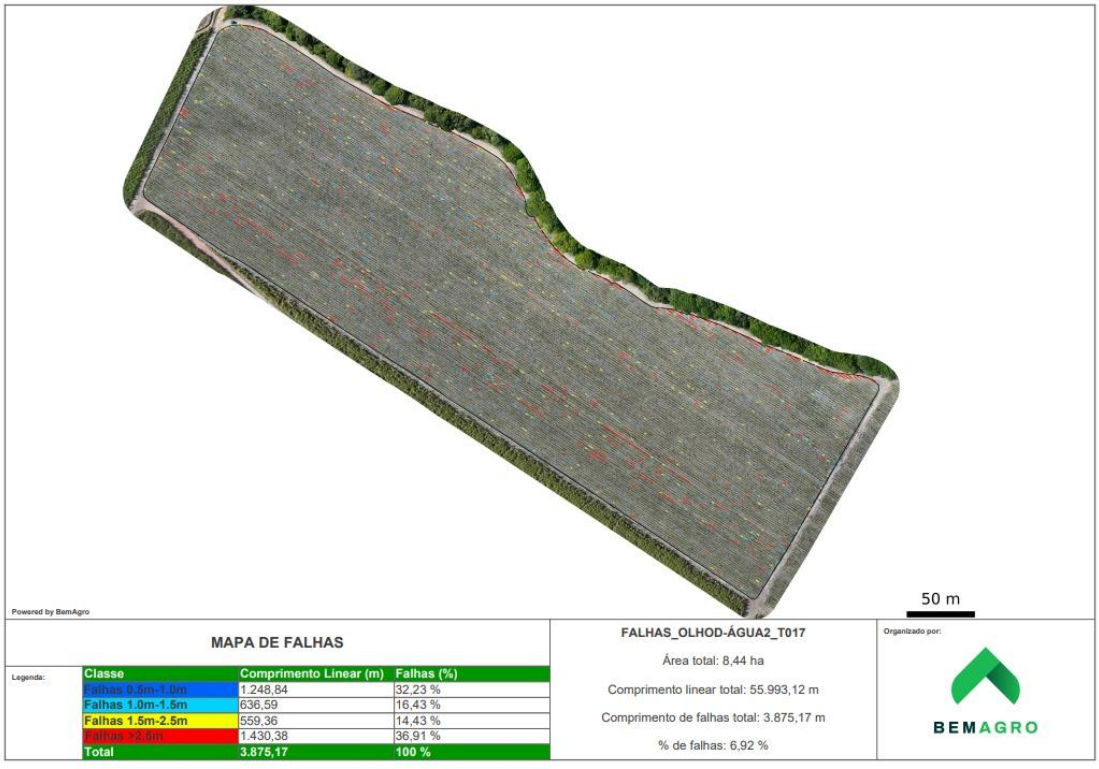


Fonte: Usina Caeté S/A (2024)

Foi realizado de um levantamento aerofotogramétrico na Fazenda Olho d'Água 2. O objetivo do levantamento foi identificar a presença de ervas daninhas nas áreas de cultivo. Como evidência do processo, foi capturada uma fotografia. A utilização da tecnologia RTK assegurou alta precisão nas coordenadas geográficas registradas, proporcionando dados confiáveis para análises subsequentes.

A Figura 6 apresenta o ortomosaico gerado a partir das imagens capturadas durante o levantamento aerofotogramétrico na Fazenda Olho d'Água 2. Este ortomosaico, além de evidenciar as áreas de cultivo de cana-de-açúcar, identifica de maneira detalhada as falhas nas plantações. As informações coletadas incluem a porcentagem de falhas, o comprimento linear total em metros e o comprimento total das falhas também em metros. Esses dados foram obtidos graças à tecnologia avançada adquirida pela Usina Caeté S/A, que aprimora a tomada de decisão na gestão agrícola. A utilização dessa tecnologia permite identificar com precisão as áreas problemáticas, contribuindo para intervenções mais eficazes e uma gestão mais eficiente dos cultivos.

Figura 6 – Análise de Falhas na Cultura de Cana-de-Açúcar



Fonte: Usina Caeté S/A (2024).

A Figura 7 evidencia o levantamento realizado para o projeto de plantio utilizando piloto automático na Fazenda Hortelã. Após a geração do ortomosaico, os talhões foram vetorizados no software CAD (Computer-Aided Design), resultando em um mapa detalhado das áreas de plantio. O projeto foi desenvolvido na plataforma AGROCAD, uma solução paga especializada nesse segmento de projetos de plantio. A plataforma permite o mapeamento de limites de talhões, simulação de cenários de plantio e integração com sistemas de piloto automático, otimizando o uso de recursos e garantindo maior eficiência operacional.

Os procedimentos metodológicos incluíram o uso de tecnologias de SIGs e SR, além de receptores GNSS de alta precisão para a delimitação dos talhões. Além disso, a vetorização dos talhões permitiu a criação de mapas precisos, ajustados para uso no sistema de piloto automático, garantindo que o maquinário agrícola seguisse trajetórias otimizadas durante as operações no campo.

Figura 7 – Levantamento aerofotogramétrico para projeto de plantio da Fazenda Hortelã



Fonte: Autor (2024)

A Figura 8 ilustra o ortomosaico gerado, após isso foi feito a vetorização dos talhões na Fazenda Hortelã. O levantamento aerofotogramétrico permitiu a criação de mapas detalhados e confiáveis das áreas de plantio, úteis para a execução de projetos de plantio com piloto automático.

Figura 8 – Ortomosaico e vetorização da Fazenda Hortelã

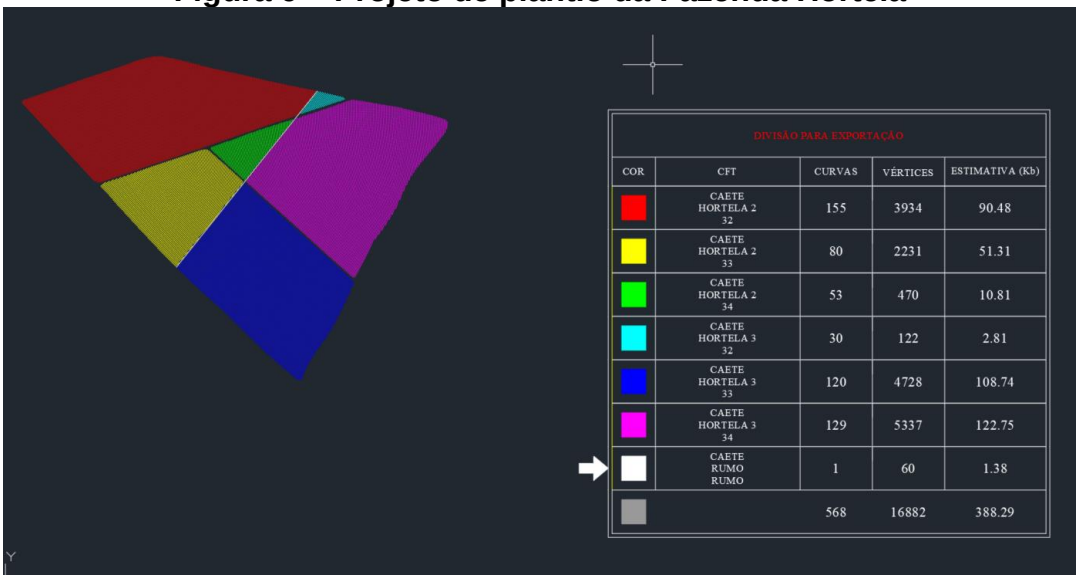


Fonte: Usina Caeté S/A (2024).

A Figura 9 apresenta o projeto de plantio com piloto automático, desenvolvido pelo coordenador do setor de geotecnologia, José Jânio Laranjeira de Lima. O projeto teve como base os dados obtidos por meio do mapeamento aerofotogramétrico, que utilizou VANTs equipados com câmeras de alta resolução para a captura de imagens georreferenciadas. Essas imagens foram processadas para a geração do ortomosaico, permitindo a identificação precisa dos limites dos talhões e a vetorização subsequente no *software* CAD.

Após a vetorização, o arquivo gerado foi utilizado no *software* AGROCAD, adquirido pela empresa, para a elaboração do projeto final. O AGROCAD, uma plataforma especializada em planejamento de operações agrícolas, possibilitou a criação de trajetórias precisas para o sistema de piloto automático. Este processo contou com o apoio da agrimensura com tecnologia RTK, que garantiu a precisão das medições e a eficácia na implementação do projeto.

Figura 9 – Projeto de plantio da Fazenda Hortelã



Autor: Usina Caeté S/A (2024).

3.2.2 Mapeamento Planimétrico

A Figura 10 apresenta o levantamento planimétrico realizado utilizando o equipamento Trimble R12i, útil para coletar dados confiáveis no campo. Após a conclusão do levantamento, os dados brutos foram processados no *software* TBC (Trimble Business Center), onde as informações foram organizadas e verificadas. A base planimétrica foi então montada e corrigida por meio do método PPP (Posicionamento Preciso por Ponto), utilizando dados do IBGE. Esse processo assegurou a precisão dos resultados obtidos, alinhando as informações às coordenadas oficiais fornecidas pelo sistema geodésico nacional.

O levantamento planimétrico processado e corrigido permitiu a obtenção de informações relevantes sobre as condições do terreno, como limites dos talhões e variações de superfície. Esses dados são importantes para o planejamento agrícola, pois permitem adequar as operações às particularidades do relevo, promovendo maior eficiência no uso de recursos e melhorando o manejo das áreas cultiváveis.

O processamento e correção dos dados demonstram como a aplicação de metodologias avançadas, aliadas à agrimensura e às tecnologias de georreferenciamento, contribui diretamente para a modernização e eficiência das práticas agrícolas.

Figura 10 – Mapeamento para projeto de plantio com R12i da Fazenda ilha das palmeiras.

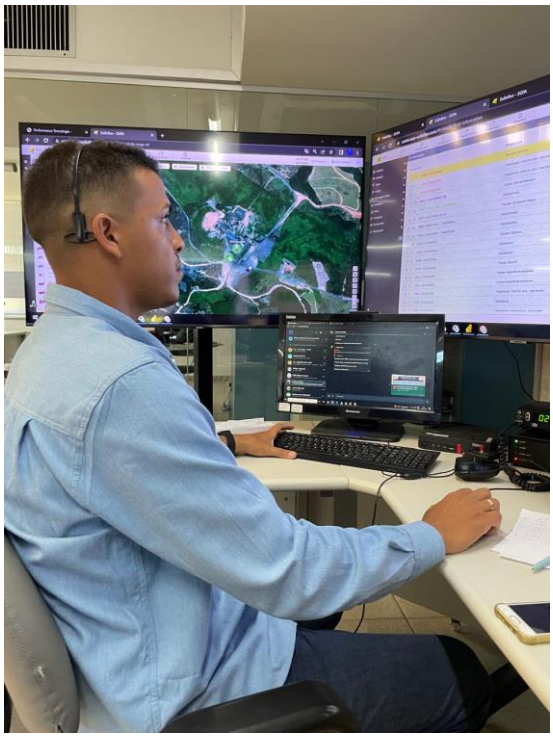


Fonte: Genilson Aristeu (2024).

A Figura 11 ilustra a CIA, onde são monitoradas as operações agrícolas em tempo real. A plataforma da Solinfitec depende da base cartográfica da usina para realizar suas operações. Isso destaca a importância da agrimensura que fornece a base cartográfica para garantir que todas as atividades estejam georreferenciadas de forma confiável.

Além disso, a empresa ZUQ Performance é responsável pela gestão dos sistemas GPS das frotas leve, os quais também requerem a base cartográfica da empresa para funcionar corretamente. A integração desses sistemas tecnológicos permite um monitoramento e controle eficientes das operações, assegurando uma gestão agrícola moderna e precisa.

Figura 11 – Sala de monitoramento da Central de Inteligência Agrícola

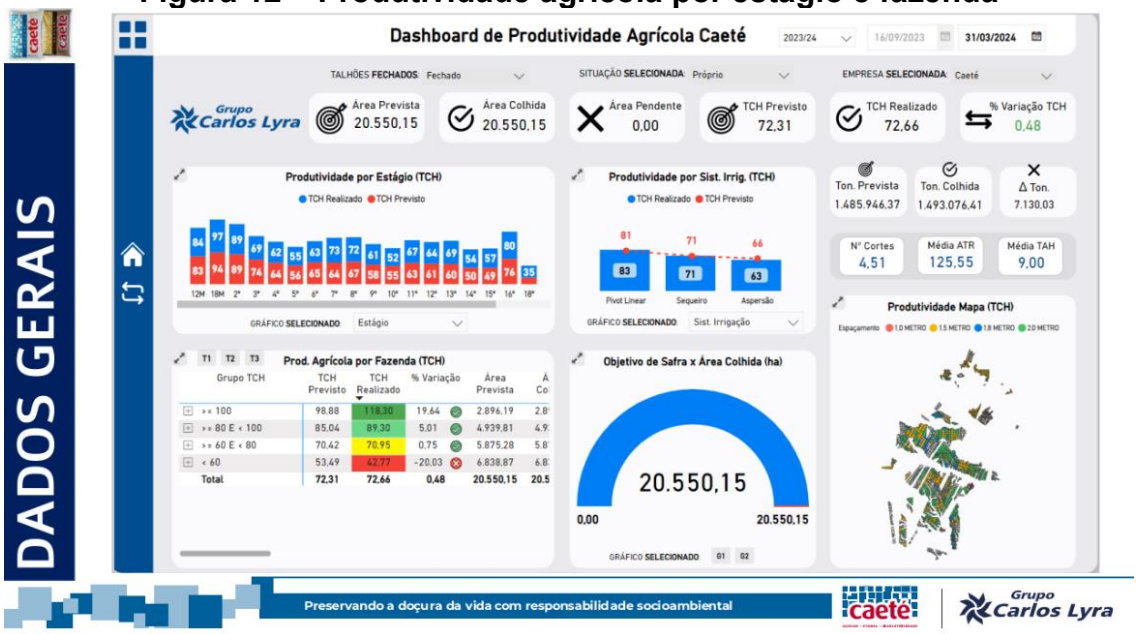


Fonte: Jonas Lins (2023).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A implementação das geotecnologias e agricultura de precisão na Usina Caeté S/A resultou em significativos ganhos de produtividade, redução de custos operacionais e melhorias na eficiência das operações agrícolas (Figura 12). A utilização de VANTs, sistemas de monitoramento em tempo real e ferramentas de geoprocessamento permitiu um manejo mais preciso e sustentável das áreas de cultivo.

Figura 12 – Produtividade agrícola por estágio e fazenda



Fonte: Usina Caeté S/A (2024).

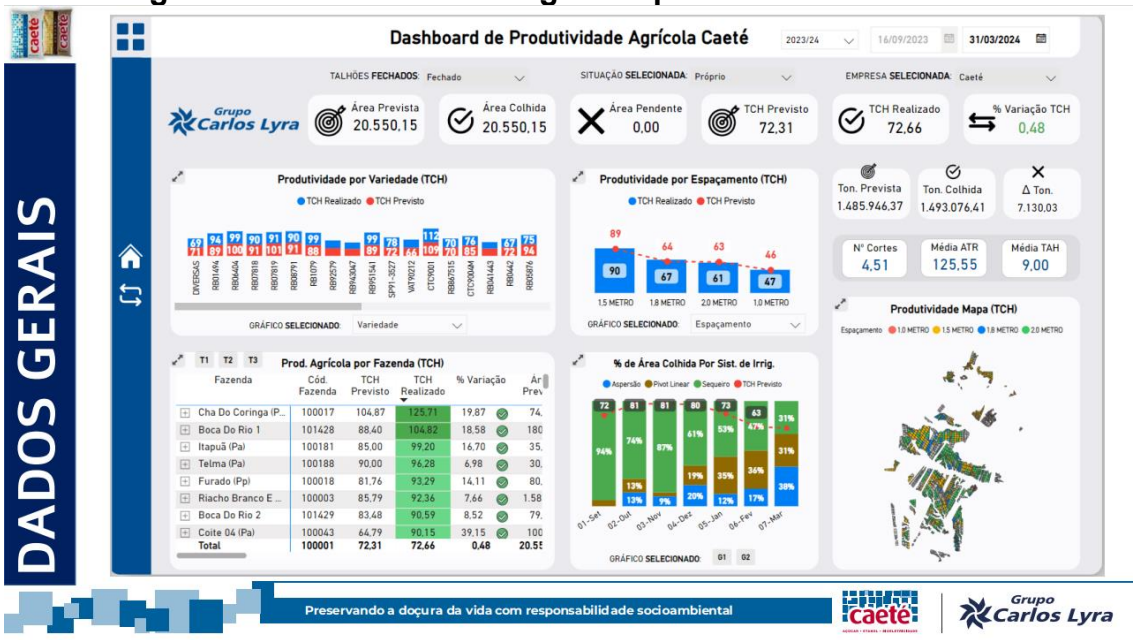
A Figura 13 apresenta um *dashboard* de produtividade agrícola da Usina Caeté S/A, abrangendo o período de setembro de 2023 a março de 2024. O *dashboard* exibe informações relevantes para a gestão agrícola, tais como:

Variedade por TCH (tonelada de cana por hectare), por espaçamento, toneladas previstas, toneladas colhidas, produtividade agrícola por fazenda em TCH, percentual de área colhida por sistema de irrigação (aspersão, pivô linear, sequeiro) e TCH previsto para cada sistema de irrigação. No canto inferior direito, há um mapa temático de produtividade. Essas informações, cedidas pela Usina Caeté S/A, são úteis para a análise e a tomada de decisões estratégicas no setor agrícola.

A agrimensura desempenha um papel importante na obtenção e precisão dessas informações. A base cartográfica detalhada e georreferenciada fornecida pela agrimensura é fundamental para a identificação e medição de áreas de plantio, sistemas de irrigação e produtividade. Tecnologias de SR e o uso de VANTs permitiu a coleta de dados altimétricos e mapeamento detalhado, relevantes para a criação de mapas temáticos e análise da produtividade.

A agrimensura também auxiliou na gestão da irrigação, monitorando e gerenciando os sistemas de forma eficiente. Com dados precisos e atualizados, os gestores agrícolas podem tomar decisões estratégicas, melhorando a eficiência das operações e aumentando a produtividade geral. Integrada aos sistemas de geotecnologia, a agrimensura permite o monitoramento em tempo real das operações agrícolas, facilitando ajustes imediatos e aumentando a eficácia das práticas agrícolas.

Figura 13 – Produtividade agrícola por variedade e fazenda

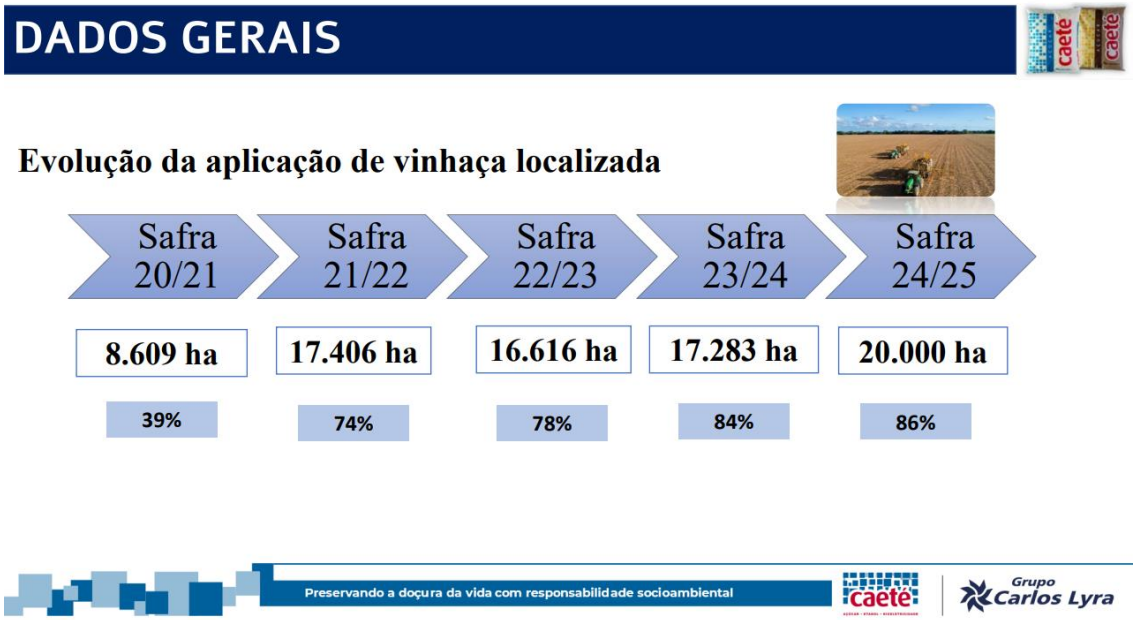


Fonte: Usina Caeté S/A (2024).

A Figura 14 mostra a evolução da aplicação da vinhaça localizada desde a safra 20/21 até a safra 24/25, com um aumento significativo devido às tecnologias adquiridas pela empresa, que sempre visa o melhor desempenho. A agrimensura desempenha um papel notável neste processo, fornecendo a base cartográfica necessária para o monitoramento e o uso de GPS para inspeção em tempo real. Essa integração de tecnologias avançadas assegura a precisão e a

eficiência na aplicação da vinhaça, contribuindo para uma gestão agrícola mais sustentável e produtiva.

Figura 14 – Evolução da aplicação da Vinhaça Localizada

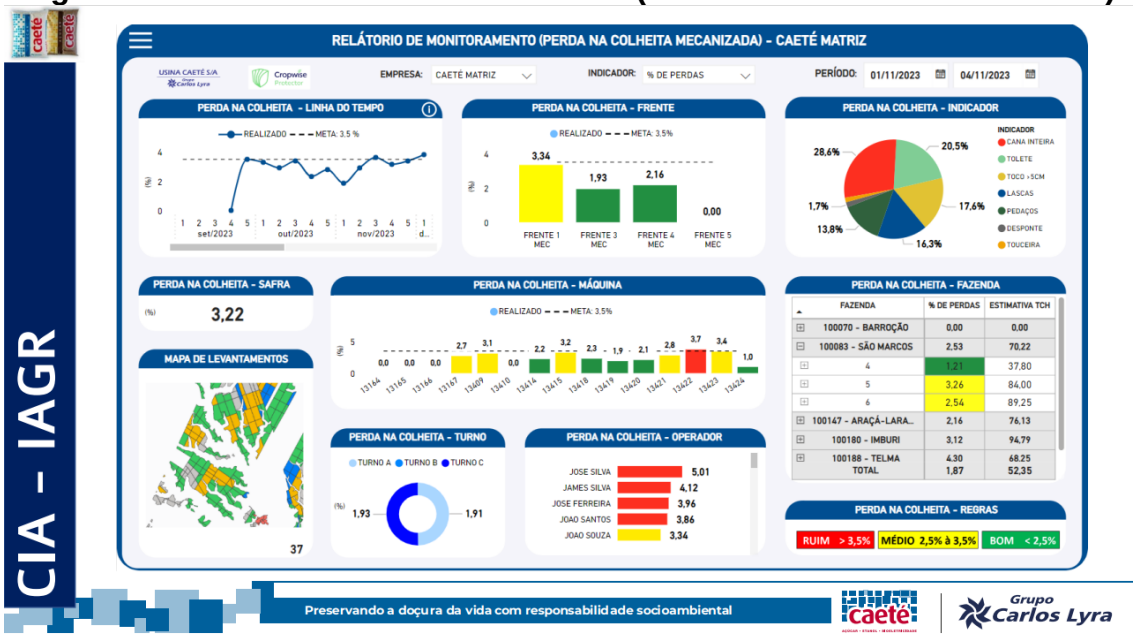


Fonte: Usina Caeté S/A (2024).

A Figura 15 apresenta um dashboard de monitoramento das perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar. Este dashboard detalha as perdas de colheita por frente de trabalho e inclui indicadores específicos como: cana inteira, tolete, toco >5cm, lascas, pedaços, desponte e touceira. Além disso, o dashboard exibe a porcentagem de perda na colheita por safra, por máquinas, por fazenda, por turno e por operador, classificando as perdas em categorias de ruim, médio e bom.

No lado inferior esquerdo, há um mapa de levantamento que utiliza cores para indicar os talhões de acordo com os indicadores de perdas. Mais uma vez, a agrimensura se mostra essencial, fornecendo a base cartográfica necessária para a criação desse mapa detalhado e georreferenciado. Esse nível de detalhamento permite um monitoramento preciso e uma análise aprofundada das operações de colheita, possibilitando ações corretivas e melhorias contínuas na eficiência e produtividade agrícola.

Figura 15 – Relatório de monitoramento (Perda na Colheita Mecanizada)



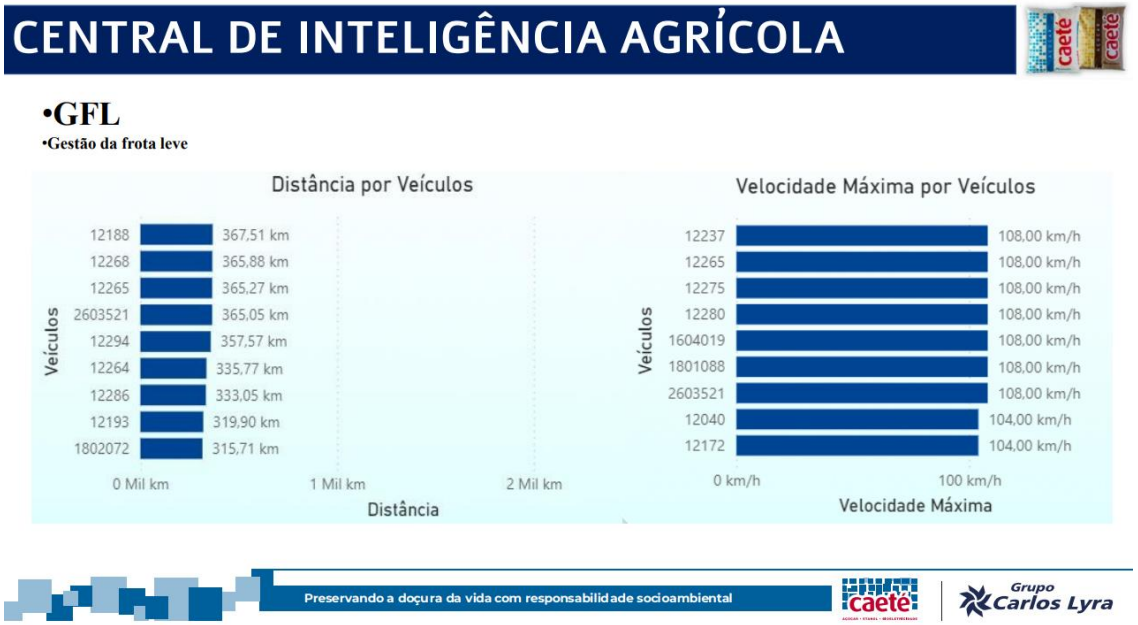
Fonte: Usina Caeté S/A (2024)

A Figura 16 apresenta um dashboard de gestão de frota leve, onde são exibidas as distâncias percorridas pelos veículos e a velocidade máxima atingida. Este monitoramento é viabilizado pela tecnologia da ZUQ Performance, que integra sistemas de GPS aos veículos, e pela base cartográfica fornecida pelo setor de geotecnologia da usina.

A agrimensura desempenha um papel fundamental nesse processo, pois a precisão e a exatidão da base cartográfica são essenciais para o funcionamento adequado dos sistemas de monitoramento. Com esses dados, é possível gerenciar de maneira eficaz as frotas leves, otimizando rotas, garantindo a segurança dos motoristas e aumentando a eficiência operacional.

Essa integração de tecnologias avançadas demonstra a importância da agrimensura na gestão moderna e eficiente das operações agrícolas e logísticas.

Figura 16 – Gestão da Frota Leve



Fonte: Usina Caeté S/A (2024)

A Figura 17 apresenta um dashboard de base cartográfica no software da Solinftec, onde são exibidas informações sobre a frota de máquinas, a operação atual de cada máquina, o tempo de permanência em cada operação e o nome do operador. Este monitoramento é viabilizado pelas geotecnologias adquiridas pelo setor de geotecnologia da Usina Caeté S/A. Adicionalmente, a ZUQ Performance é responsável pelo rastreamento das máquinas agrícolas, integrando sistemas de GPS aos veículos, e o *software* da Solinftec realiza o monitoramento das operações.

O SIG e o SR desempenham papéis importantes neste processo, pois permitem a coleta, análise e visualização de dados geoespaciais com alta precisão e exatidão. Através desses dados, é possível gerenciar de maneira eficaz as operações das máquinas, otimizando rotas, garantindo a segurança dos motoristas e aumentando a eficiência operacional.

Essa integração de tecnologias avançadas demonstra a importância da Engenharia de Agrimensura na gestão moderna e eficiente das operações agrícolas e logísticas.

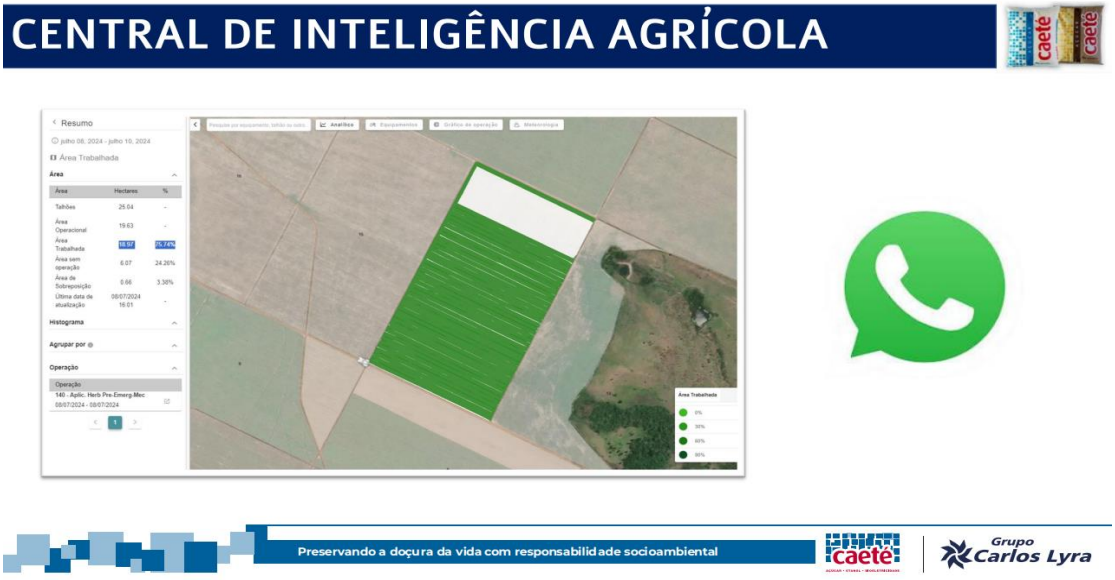
Figura 17 – Monitoramento de Operações Agrícolas Utilizando SIG e Sensoriamento Remoto no Software Solinftec



Fonte: Usina Caeté S/A (2024)

A Figura 18 apresenta o resumo da operação, detalhando o talhão onde a máquina agrícola realizou a operação. São exibidos os hectares do talhão, a área operacional realizada pela máquina agrícola, a área que ainda não foi operada, a quantidade de sobreposição, caso tenha ocorrido, e o tipo de operação realizada.

Figura 18 – Resumo da Operação Agrícola



Fonte: Usina Caeté S/A (2024)

A Figura 19 apresenta o mapa de operação, evidenciando a eficácia das geotecnologias aplicadas. O mapa mostra todas as informações corretamente, permitindo uma análise detalhada das operações realizadas e sua precisão. Este monitoramento é viabilizado pelas geotecnologias adquiridas pela Usina Caeté S/A, demonstrando a importância destas tecnologias no gerenciamento eficiente das operações agrícolas.

Figura 19 – Mapa de aplicação

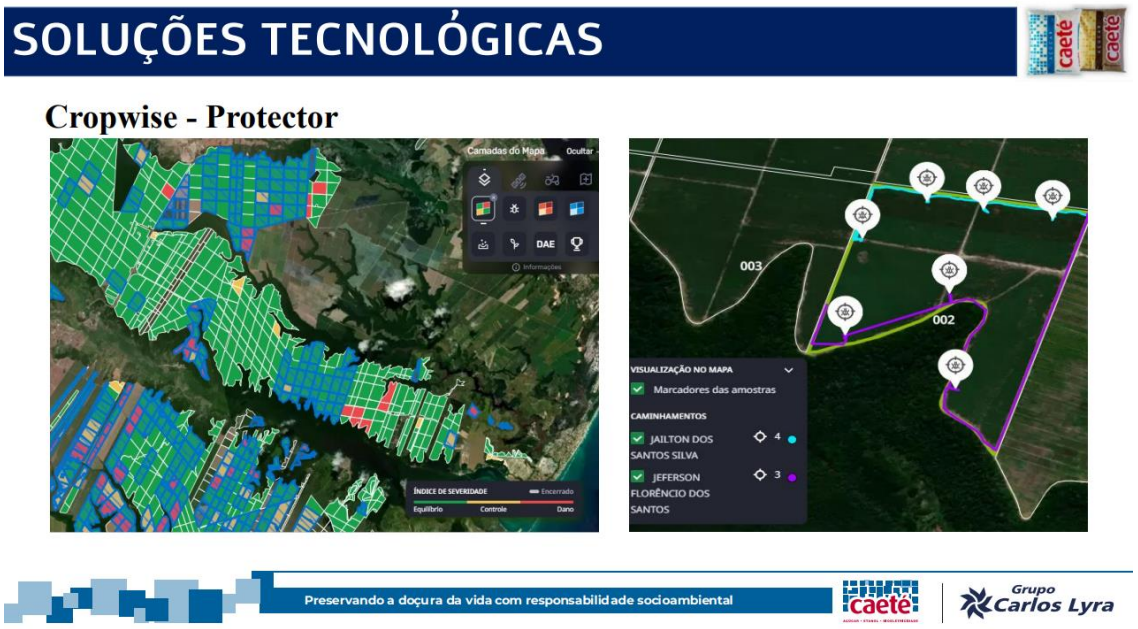


Fonte: Usina Caeté S/A (2024)

A Figura 21 apresenta um mapa temático que ilustra o uso de uma geotecnologia avançada na empresa, o Cropwise Protector. Esta ferramenta é responsável pelo levantamento e monitoramento de pragas e doenças, proporcionando uma visão histórica e comparativa da área analisada. Todos os dados são georreferenciados e incluem amostragens de solo.

O mapa exibe os índices de severidade classificados como equilíbrio, controle e dano. No lado direito da imagem, são mostrados os locais das coletas de dados e os responsáveis pelo levantamento. Este nível de detalhamento e precisão é possível graças à utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e de Sensoriamento Remoto, que garantem a qualidade e a exatidão das informações geoespaciais.

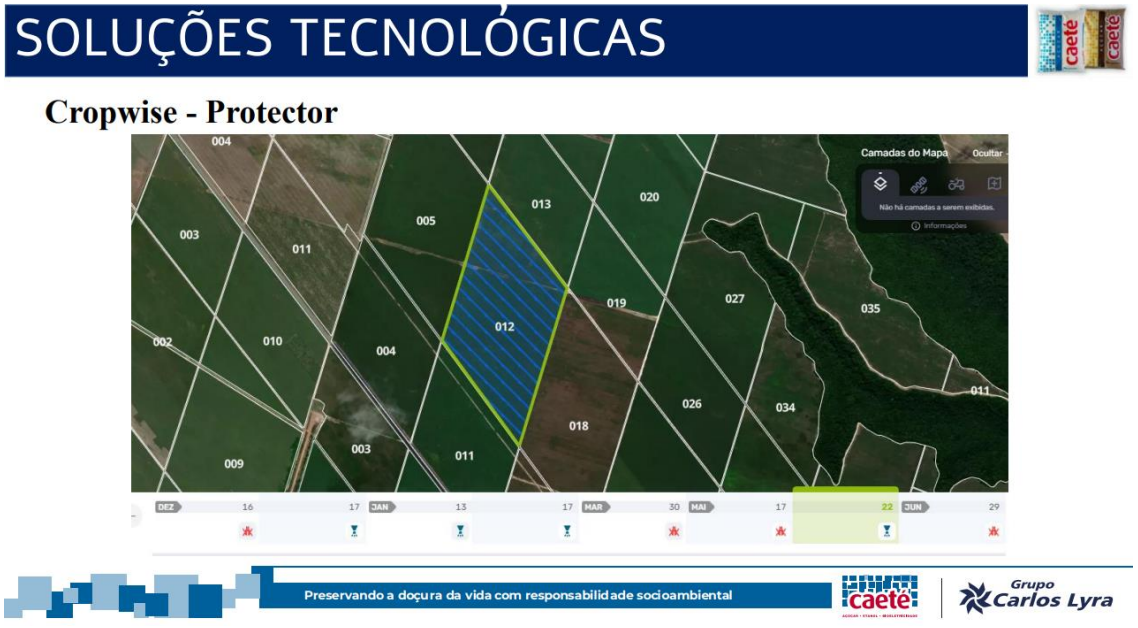
Figura 20 – Base Cartográfica e pontos coletados no controle de pragas



Fonte: Usina Caeté S/A (2024)

A Figura 21 apresenta o mapa do talhão onde foi realizado o levantamento da pesquisa e controle biológico, evidenciando que todas as informações estão georreferenciadas. Este mapa demonstra a precisão das geotecnologias empregadas, permitindo uma análise detalhada das áreas monitoradas

Figura 21 – Pesquisa e Controle Biológico



Fonte: Usina Caeté S/A (2024)

A Figura 22 apresenta as informações do talhão georreferenciado após as análises de campo. Este mapa permite visualizar, por exemplo, qual insumo foi aplicado em cada local, com todas as informações devidamente georreferenciadas. Essa precisão é alcançada graças à utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e Sensoriamento Remoto.

A importância da Engenharia de Agrimensura é evidenciada neste processo, pois ela garante a base cartográfica para a coleta e análise dos dados geoespaciais. Esta integração de tecnologias avançadas destaca a eficácia da Agrimensura na gestão moderna e eficiente das operações agrícolas.

Figura 22 - Pesquisa e Controle Biológico (Dados dos insumos aplicados)

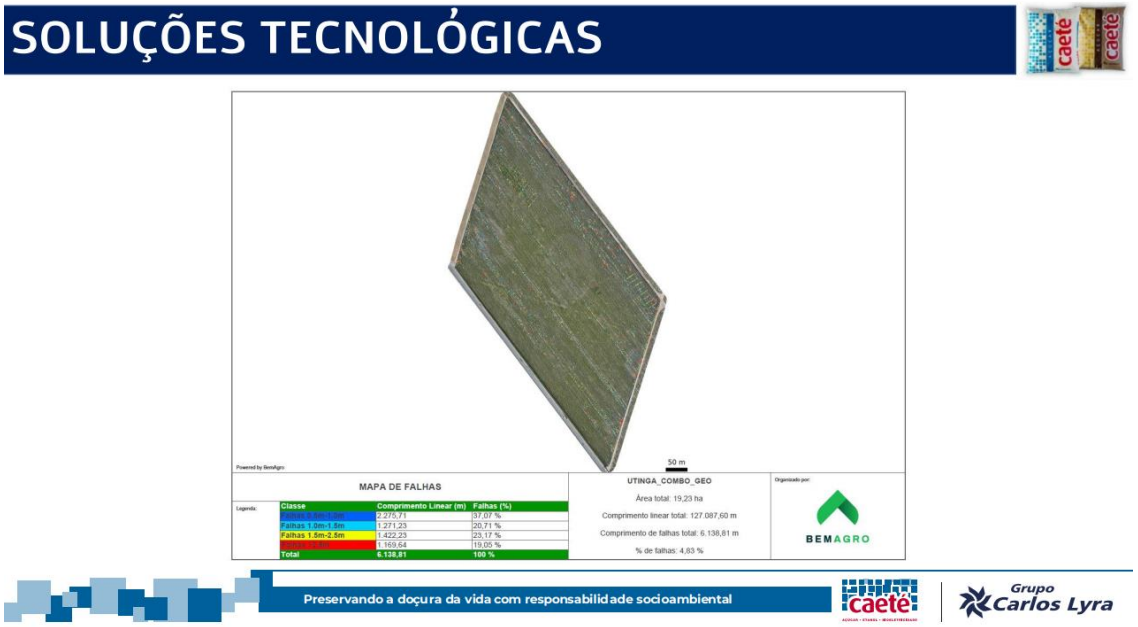


Fonte: Usina Caeté S/A (2024)

A Figura 23 apresenta o relatório de falhas da Fazenda Utinga, o relatório detalha as classes de falhas e demonstra que, com essas melhorias, é possível otimizar as linhas de cana e todo o processo produtivo.

O uso de geotecnologias, como SIG e SR, permite identificar e corrigir falhas com maior precisão. A Engenharia de Agrimensura desempenha um papel importante neste processo, fornecendo dados confiáveis para o mapeamento e análise das áreas monitoradas, destacando sua importância na gestão eficiente das operações agrícolas.

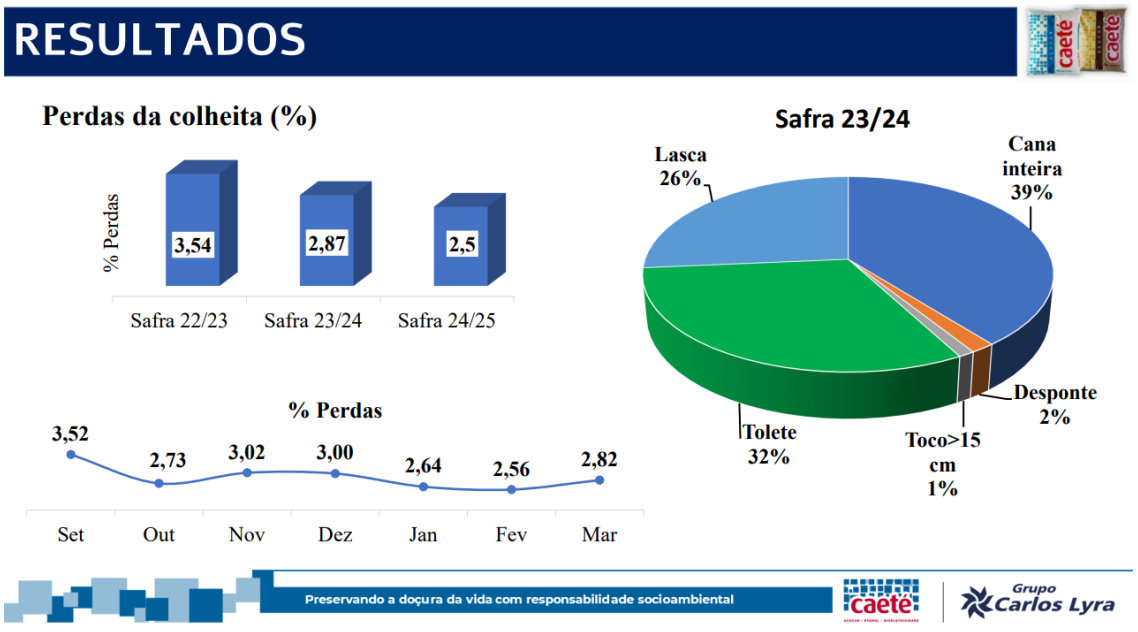
Figura 23 – Relatório de falhas de plantio da Fazenda Utinga



Fonte: Usina Caeté S/A (2024)

A Figura 24 mostra o resultado das perdas nas últimas três safras, evidenciando uma significativa redução após a implementação das geotecnologias. Esses avanços tecnológicos têm demonstrado sua eficácia na diminuição de perdas, refletindo diretamente na melhoria da produtividade e na eficiência das operações agrícolas devido o avanço geotecnológico.

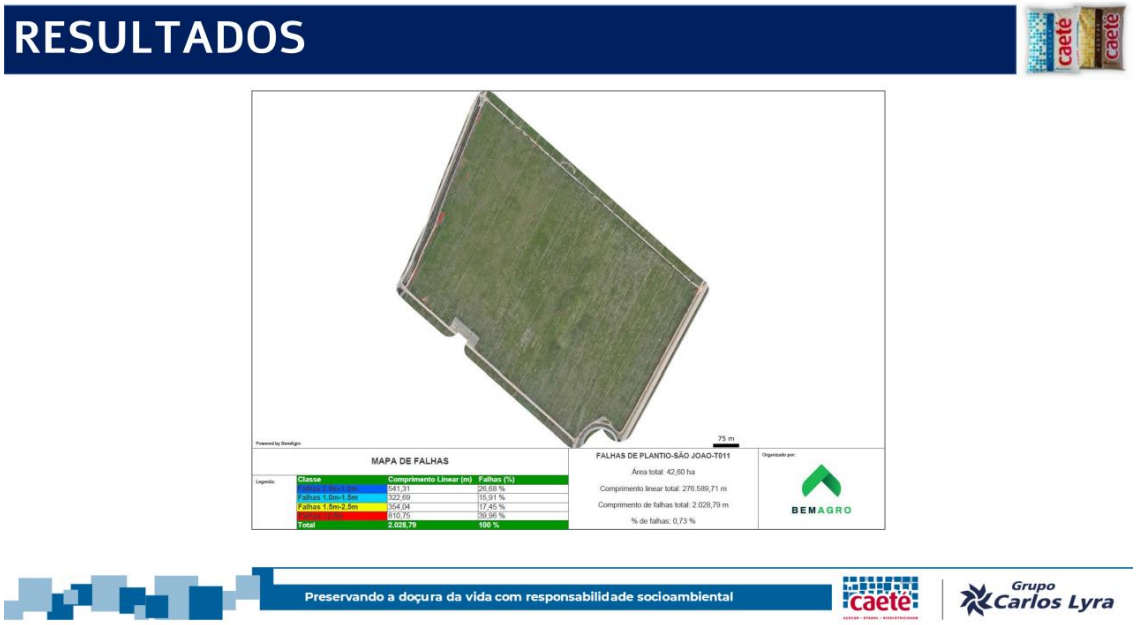
Figura 24 – Resultados de perdas das colheitas nos últimos 3 anos



Fonte: Usina Caeté S/A (2024)

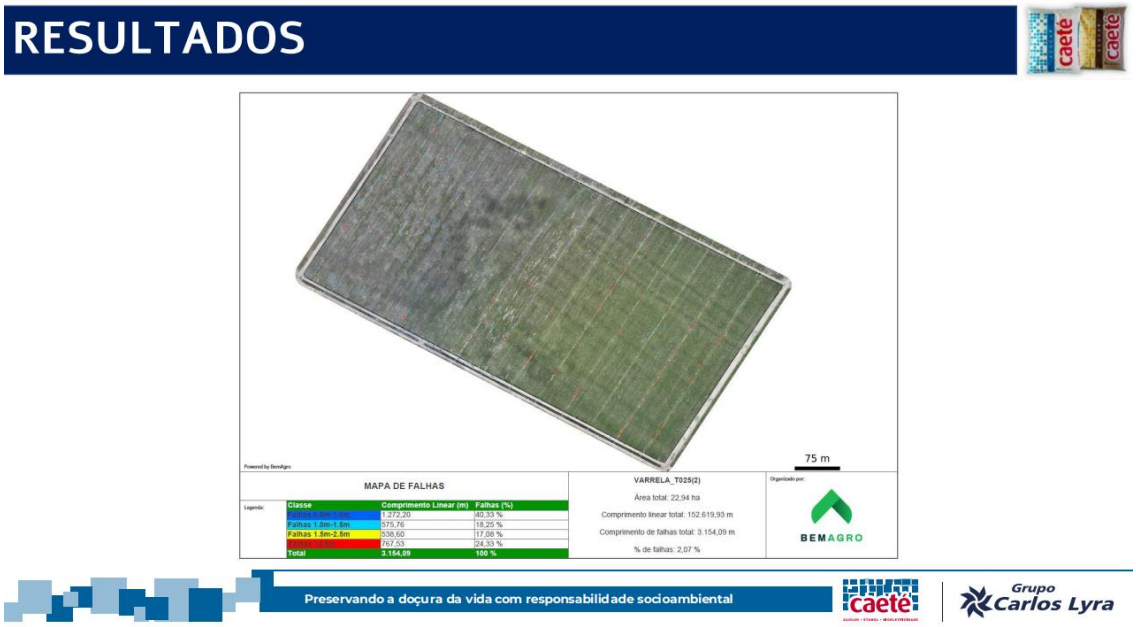
As Figuras 25 e 26 apresentam relatórios de falhas de plantio nas fazendas São João e Varrela, respectivamente. Após o mapeamento e a identificação das falhas, é feito a replanta, resultando em melhorias significativas nos talhões. As geotecnologias, como os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e o Sensoriamento Remoto, garantem a precisão necessária para otimizar a produtividade.

Figura 25 – Resultado de falhas da Fazenda São João após replantio



Fonte: Usina Caeté S/A (2024)

Figura 26 - Resultado de falhas da Fazenda Varrela após replantio



Fonte: Usina Caeté S/A (2024)

5. Considerações Finais

O presente estudo visou sintetizar os principais resultados e contribuições obtidas ao longo da pesquisa sobre a aplicação de geotecnologias na Agricultura de Precisão, com um enfoque especial na Engenharia de Agrimensura. A pesquisa realizada na Usina Caeté S/A demonstrou a relevância dessas tecnologias para a modernização e a eficiência das práticas agrícolas.

A adoção de geotecnologias, como SIG, SR e GNSS, revelou-se úteis para a otimização do manejo agrícola. Essas ferramentas permitiram a coleta, processamento e análise de dados geoespaciais com alta precisão, resultando em uma gestão mais eficiente dos recursos naturais e um aumento significativo da produtividade. A capacidade de monitorar e gerenciar as lavouras de maneira precisa contribuiu para a aplicação otimizada de insumos, a redução de custos operacionais e a sustentabilidade ambiental.

Os resultados positivos obtidos pela Usina Caeté S/A foram evidenciados pela melhoria na eficiência das operações agrícolas e pelo aprimoramento do planejamento e execução de projetos. A utilização de drones equipados com câmeras e sensores possibilitou a captura de imagens aéreas detalhadas, essenciais para levantamentos topográficos e monitoramento das condições das culturas. Além disso, os softwares utilizados, como ArcGIS, QGIS, ferramentas CAD, Google Earth, plataforma Bem Agro e AgroCAD, foram cruciais para a integração e análise dos dados geoespaciais, proporcionando insights valiosos para a tomada de decisões.

A importância da agrimensura no setor sucroenergético é inegável, destacando-se a necessidade de medições precisas e a gestão eficiente das áreas agrícolas. A precisão nas medições e a utilização de tecnologias avançadas permitem a delimitação exata das propriedades e o planejamento adequado das atividades agrícolas, promovendo a sustentabilidade e a produtividade do setor.

O estudo também abordou a importância de PDFs georreferenciados, produzidos pelo setor de geotecnologia/topografia da Usina Caeté S/A, que contêm informações geográficas precisas e são essenciais para a análise e execução de projetos de infraestrutura e manejo de terras. Esses documentos

permitem que as equipes no campo possam transitar e identificar com precisão as fazendas, melhorando significativamente a eficiência das operações e o gerenciamento dos recursos.

Em conclusão, a pesquisa realizada confirma a relevância das geotecnologias na Agricultura de Precisão, destacando os benefícios proporcionados pela utilização de tecnologias modernas na Usina Caeté S/A. A integração dessas ferramentas não só melhorou a eficiência operacional, mas também promoveu a sustentabilidade ambiental, beneficiando tanto os produtores quanto o meio ambiente. Espera-se que este trabalho contribua para o avanço do conhecimento na área de Engenharia de Agrimensura e inspire novos estudos e aplicações práticas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS). Disponível em: <https://www2.anac.gov.br/anacpedia/sig_por_ing/tr1057.htm#:~:text=O%20sistema%20global%20de%20navega%C3%A7%C3%A3o,em%20terra%2C%20mar%20ou%20ar>. Acesso em: 17 dez. 2024.

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. Requisitos Gerais para Veículos Aéreos Não Tripulados e Aeromodelos. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/participacao-social/consultas-publicas/audiencias/2015/aud13/anexoi.pdf>. Acesso em: 28 fev. 25.

BARBIERI, D. M.; MARQUES J. J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Argissolo para aplicação de insumos à taxa variável em diferentes formas de relevo. Jaboticabal: Engenharia Agrícola, 2008. Acesso em: 17 dez. 2024.

BERNARDI, A. C. de C.; INAMASU, R. Y. Adoção da Agricultura de Precisão no Brasil. Brasília: Embrapa, 2014. Acesso em: 13 dez. 2024.

BARROS, Jocilene. SIG e suas aplicações. Disponível em: <https://geoaplicada.com/sig-e-suas-aplicacoes>. Acesso em: 28 fev. 2025.

COELHO, A. M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas.Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. Acesso em: 15 nov. 2024.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Portal Embrapa. Disponível em: < https://www.embrapa.br/tema-geotecnologias/>. Acesso em: 17 dez. 2024.

ENGESAT. Avenza Maps. Disponível em: <https://www.engesat.com.br/softwares/avenza/pdf-maps/#:~:text=O%20aplicativo%20Avenza%20Maps%20%C3%A9,possam%20ser%20levados%20a%20campo>. Acesso em: 17 dez. 2024.

ESPERIDIÃO, T. L.; SANTOS, T. C.; AMARANTE, M. S. Agricultura 4.0: Software de Gerenciamento de Produção.Mogi das Cruzes: Pesquisa e Ação V5 N4, 2019. Acesso em: 10 out. 2024

FORCE, P. Drones na Agricultura: tudo sobre a tecnologia que está mudando o setor. Porto Alegre: Floresta & Agricultura, 2016. Acesso em: 17 dez. 2024.

GABRIEL. Aerofotogrametria: Entenda o que é e saiba como funciona. Disponível em: <https://www.geoscan.com.br/aerofotogrametria/>. Acesso em: 28 fev. 2025.

GEO SEM FRONTEIRAS. O que é Geoprocessamento e Como Funciona?. Disponível em: <https://geosemfronteiras.org/blog/o-que-e-geoprocessamento-e-como-funciona/#1_O_que_e_Geoprocessamento>. Acesso em: 28 fev. 2025.

GUITARRARA, Paloma. "Sistema de Informações Geográficas (SIG)"; Brasil Escola. Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/geografia/sig.htm. Acesso em 28 de fevereiro de 2025.

IBAM. Introdução à Geotecnologia. Fundo Amazônia, 2012. Disponível em: <https://www.fundoamazonia.gov.br/export/sites/default/pt/.galleries/documentos/acervo-projetos-cartilhas-outros/IBAM-Introducao-Geotecnologia-caderno-estudo.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2024.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Aerofotogrametria. Disponível em: <https://atlasescolar.ibge.gov.br/cartografia/21736-aerofotogrametria.html>. Acesso em: 17 dez. 2024.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. O que é geoprocessamento?. Disponível em: <https://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html>. Acesso em: 17 dez. 2024.

JORGE, L. A. C. Determinação da cobertura de solo em fotografias aéreas do Projeto Arara.2001. 97f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001. JORGE, L. A. C.; INAMASU, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT)em Agricultura de Precisão.Brasília: Embrapa, 2014. Acesso em: 17 dez. 2024

LAMPARELLI, R. A. C. Agricultura de precisão. Brasília: Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2016. Acesso em: 23 set. 2024

MACÁRIO, Carla Geovana do Nascimento; ESQUERDO, Júlio César Dalla Mora; COUTINHO, Alexandre Camargo; SPERANZA, Eduardo Antonio; SILVA, João dos Santos Vila da; ANTUNES, João Francisco Gonçalves; VENDRÚSCULO, Laurimar Gonçalves; CRUZ, Sérgio Aparecido Braga da. Tecnologias da informação aplicadas aos dados geoespaciais. Embrapa. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1126226/1/LV-Agricultura-digital-2020-cap4.pdf. Acesso em: 07 dez. 2024.

MEDEIROS, F. A. Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para aplicação em agricultura de precisão. 2007. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) -Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007. Acesso em: 23 nov. 2024

Ministério da Economia do Brasil. (2016). Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Disponível em: <https://www.gov.br/economia/pt-br/assuntos/patrimonio-da-uniao/arquivos-anteriores-privados/programa-de-modernizacao/linha-do-tempo/34-sig-apostila.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2024.

MIRANDA, A. C. C.; VERÍSSIMO, A. M.; CEOLIN, A. C. Agricultura de precisão: Um mapeamento da base da Scielo-Precision Agriculture: A Scielo Base Mapping. GESTÃO. Pernambuco: Org-Revista Eletrônica de Gestão Organizacional, 2017. Acesso em: 16 dez. 2024.

MOLIN, J. P. Desafios da agricultura brasileira a partir da agricultura de precisão. Piracicaba: SIMPÓSIO SOBRE ROTAÇÃO SOJA/MILHO NO PLANTIO DIRETO, 2002. Acesso em: 15 dez. 2024.

MOLIN, J. P. Agricultura de precisão: Números do mercado brasileiro. Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Biossistemas. São Paulo: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2017. Acesso em: 15 dez. 2024.

NERIS, L. O. Um piloto automático para as aeronaves do projeto ARARA.2001. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação) -Universidade de São Paulo, São Carlos. Acesso em: 17 dez. 2024.

NUNES, J. L. S. Agricultura de Precisão In: Agricultura de Precisão. Agrolink, 2016.Disponível<https://www.agrolink.com.br/culturas/cafe/informacoes-da-cultura/manejos-culturais/agricultura-de-precisao_361553.html>. Acesso em: 08 dez .2024.

OLIVEIRA, T. P. A.; PANTOJA, M. J.; BRISOLA, M.V. Plano ABC: Contribuições Teóricas para o Novo Paradigma da Agropecuária e uma Proposta de Avaliação. Maringá: Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, 2016. Acesso em: 10 dez. 2024.

OLIVEIRA, R. P. Apoio à decisão na adoção da agricultura de precisão. Tupã: Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar, 2016. Acesso em: 17 dez. 2024.

PONTES, L. B.; CAVICHIOLI, F. A. AGRICULTURA DE PRECISÃO: uma ferramenta eficaz para o produtor rural. Taquaritinga: V SIMTEC –Simpósio de Tecnologia, 2018. Acesso em: 08 dez. 2024.

RABELLO, L. M.; BERNARDI, A. C. C.; INAMASU, R. Y. Condutividade elétrica aparente do solo. In: Bernardi, A.C.C.; Naime, J.M.; Resende, A.V.; Bassoi, L.H.; Inamasu, R.Y. Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília: Embrapa, 2014. Acesso em: 08 out. 2024.

RASI, J. R. Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para aplicação em pulverização agrícola.70f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Rural) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 2008. Acesso em: 17 dez. 2024.

SHIRATSUCHI, L. S.; BRANDÃO, Z. N.; VICENTE, L. E.; VICTORIA, D. C.; DUCATI, J. R.; DE OLIVEIRA, R. P.; VILELA, M. F. Sensoriamento Remoto: conceitos básicos e aplicações na Agricultura de Precisão. Brasília: Embrapa, 2014. Acesso em: 05 dez. 2024.

SOUZA, Gustavo Ferreira de. Agricultura de precisão por sensoriamento remoto: estudo aplicado na fertirrigação de cana-de-açúcar. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/47030?locale=pt_BR. Acesso em: 28 out. 2024.