

UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA
Autorização Decreto nº 9237/86. DOU 18/07/96. Reconhecimento: Portaria
909/95, DOU 01/08-95

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS
CAMPUS III – JUAZEIRO
Colegiado de Engenharia Agrônoma



PEDRO HENRIQUE GOMES BORGES SOARES

**AVALIAÇÃO DE GANHOS DE RENDIMENTO NO PREPARO DE SOLO COM O
USO DE PROJETO LINHAS GEORREFERENCIADAS**

Juazeiro-Ba

2023

PEDRO HENRIQUE GOMES BORGES SOARES

**AVALIAÇÃO DE GANHOS DE RENDIMENTO NO PREPARO DE SOLO COM O
USO DE PROJETO LINHAS GEORREFERENCIADAS**

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de Engenharia Agrônoma da Universidade do Estado da Bahia, como requisito para a obtenção do título Bacharel em Engenharia Agrônoma.

Orientador: Prof. Drº Flávio José Vieira de Oliveira

Juazeiro-Ba

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CPI)
Regivaldo José da Silva/CRB-5-1169

S676a Soares, Pedro Henrique Gomes Borges

Avaliação de ganhos de rendimento no preparo de solo com o uso de projeto linhas georreferenciadas / Pedro Henrique Gomes Borges Soares. Juazeiro-BA, 2023.
30 fls.: il.

Orientador: Prof. Dr. Flávio José Vieira de Oliveira.

Inclui Referências

TCC (Graduação – Engenharia Agrônômica) – Universidade do Estado da Bahia.
Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais – DTCS. 2023.

1. Piloto automático. 2. Georreferenciamento. 3. Planejamento de rotas para maquinário agrícola. 4. Preparo de solo. I. Oliveira, Flávio José Vieira de.
II. Universidade do Estado da Bahia. Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais – DTCS. III. Título.

CDD: 631

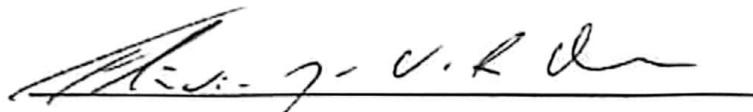
PEDRO HENRIQUE GOMES BORGES SOARES

**AVALIAÇÃO DE GANHOS DE RENDIMENTO NO PREPARO DE SOLO COM
O USO DE PROJETO LINHAS GEORREFERENCIADAS**

Monografia apresentada à
Universidade do Estado da Bahia,
Departamento de Tecnologia e
Ciências Sociais, UNEB/DTCS
Campus III, Curso de Engenharia
Agrônômica, como um dos pré-
requisitos para a disciplina de
Trabalho de conclusão de curso –
TCC.

Aprovado em 15, 12, 23

BANCA EXAMINADORA



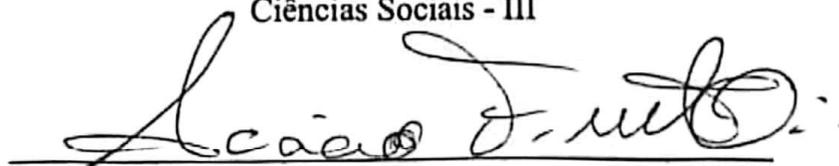
Prof. Dr. Flávio José Vieira de Oliveira

Universidade do Estado da Bahia – Departamento de Tecnologia e
Ciências Sociais - III



Prof. Dr. Ruy de Carvalho Rocha

Universidade do Estado da Bahia – Departamento de Tecnologia e
Ciências Sociais - III



Prof. Dr. Acácio Figueiredo Neto

Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF

Juazeiro- BA

2023

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por ter me fortalecido todos esses anos e pela oportunidade de me graduar em uma das melhores instituições educacionais do Vale do São Francisco e da Bahia (Universidade do Estado da Bahia – CAMPUS III).

Em segundo lugar, agradeço aos meus pais, Sara Gerlan Gomes Borges Soares e Pedro Roberto Soares, por serem a minha base desde o meu primeiro dia de vida e por seguirem me apoiando e orientando nesta jornada até o dia de hoje. Vocês são a minha maior inspiração, e nada disso teria sido possível sem vocês.

Em terceiro lugar, agradeço à AGROVALE S/A por permitir a realização deste trabalho a partir do seu banco de dados e pela ajuda prestada na condução de toda pesquisa. Atrelado a isso, deixo um agradecimento especial ao Coordenador do setor de topografia da AGROVALE, Luan de Jesus Rosa, e a Lucas Faustino e Samuel Alves do escritório de topografia, pelo apoio no desenvolvimento do trabalho e por todo conhecimento transmitido durante o meu período de estágio na empresa.

Agradeço também ao meu orientador, Professor Dr. Flávio José Vieira de Oliveira, por aceitar me orientar no desenvolvimento deste trabalho e pelos conselhos passados. Também agradeço aos diversos professores que tive nesta jornada, que sem dúvida me apresentaram as bases do que é ser um Agrônomo e o quão importante é esta profissão para a sociedade e para o mundo.

Por fim, agradeço aos diversos amigos e colegas que fiz durante a formação, especialmente Matheus, Yuri, Isis, Ranayne, Ana e Grazy, com os quais dividi grandes momentos e tive o privilégio de conhecer. Seria impossível citar todas as pessoas que me acompanharam nesta jornada, não só dentro da UNEB mas fora também. Uma delas, em especial, me acompanhou e me ajudou muito no desenvolvimento, mandando vigiar <3.

A todos que deixei de citar, deixo o meu imenso obrigado por estarem presentes na minha vida e por torcerem por mim acima de tudo. Espero poder honrar todo este apoio sendo um bom profissional.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BDS – BeiDou Navigation Satellite System
CAD – Computer Aided Design
DGNSS – Differential Global Navigation Satellite System
GEE – Gases do Efeito Estufa
GLONASS – Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
GNSS – Global Navigation Satellite System
GPS – Global Positioning System
GSD – Ground Sample Distance
MEO – Medium Earth Orbit
ONU – Organização das Nações Unidas
SIBCS – Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos
RTK – Real Time Kinematic
RTX – Real Time eXtended
TOA – Time of Arrival
USDOD – Department de Defesa dos Estados Unidos
VANT – Veículo Aéreo não Tripulado

RESUMO

As tecnologias de agricultura de precisão têm sido uma peça-chave para impulsionar a produtividade das fazendas, apresentando soluções inovadoras capazes de melhorar o rendimento das operações mecanizadas e, ao mesmo tempo, reduzir seus custos e impactos no meio ambiente. O surgimento das tecnologias GNSS, do piloto automático e de softwares avançados de desenho técnico proporcionou novas possibilidades nunca vistas para o setor agrícola, principalmente relacionadas ao tráfego planejado e automatizado de veículos. As operações de preparo de solo, embora importantes, costumam ser onerosas, tendo grande impacto nos custos finais da produção. Nesse contexto, o presente trabalho buscou demonstrar os ganhos em economia e produtividade com o uso de projetos de linhas georreferenciadas no planejamento e execução de operações de preparo de solo, através de dados de subsolagens de diferentes anos, provenientes da Usina Sucroalcooleira Agroindústrias do Vale do São Francisco S/A (Agrovale). Neste trabalho, foram comparados os valores de rendimento em horas/hectare e consumo de combustível de diferentes campos submetidos a subsolagem nos anos de 2018, 2019, 2020 e 2021. Ao longo dos anos de utilização da tecnologia, foi observado um ganho expressivo de rendimento em horas/hectare de até 47,28% e economia de combustível nas operações de até 22,77%, comparando campos subsolados sem e com o projeto de linhas georreferenciadas. A tecnologia se mostrou eficiente, cabendo mais estudos para observar outros possíveis benefícios atrelados ao seu uso, como a redução de compactação do solo, aumento de produtividade e redução dos custos totais.

Palavras-chaves: Preparo de solo; Planejamento de rotas; GNSS;

ABSTRACT

Precision agriculture technologies have been a key element in boosting farm productivity, offering innovative solutions capable of enhancing the performance of mechanized operations while simultaneously reducing their costs and environmental impacts. The emergence of GNSS technologies, autopilot systems, and advanced technical drawing software has provided unprecedented possibilities for the agricultural sector, particularly related to planned and automated traffic of vehicles. Soil preparation operations, though crucial, tend to be costly, exerting a significant impact on overall production costs. In this context, this study aimed to demonstrate the gains in economy and productivity through the use of georeferenced line projects in the planning and execution of soil preparation operations, using subsoiling data from different years obtained from the Agroindustries Sugar and Alcohol Plant in the São Francisco Valley (Agrovale). In this work, the yield values in hours/hectare and fuel consumption of different fields subjected to subsoiling in the years 2018, 2019, 2020, and 2021 were compared. Over the years of technology use, a significant increase in yield in hours/hectare of up to 47.28% and fuel savings in operations of up to 22.77% were observed, comparing subsoiled fields with and without the georeferenced line project. The technology proved to be efficient, warranting further studies to explore other potential benefits associated with its use, such as soil compaction reduction, increased productivity, and overall cost reduction.

Keywords: Soil Tillage; Route planning; GNSS;

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
2 REVISÃO DE LITERATURA	9
2.1 PREPARO DO SOLO	9
2.2 GNSS	10
2.3 PILOTO AUTOMÁTICO	11
2.4 PLANEJAMENTO DE ROTAS E PROJETO DE LINHAS GEORREFERENCIADAS	13
3 OBJETIVOS.....	15
3.1 OBJETIVO GERAL	15
3.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
4 MATERIAIS E MÉTODOS	16
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	16
4.2 CONJUNTO MÁQUINA IMPLEMENTO.....	18
4.3 AQUISIÇÃO DE DADOS E CONSTRUÇÃO DO PROJETO DE LINHAS	20
4.4 OPERAÇÕES DE SUBSOLAGEM.....	21
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	25
5.1 RENDIMENTO DE H/HA	25
5.2 CONSUMO DE COMBUSTÍVEL (L/H).....	28
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
REFERÊNCIAS.....	31

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias têm sido um dos temas mais importantes do setor agrícola nas últimas décadas, não só pela necessidade que os produtores têm de se manterem competitivos em um mercado cada vez mais globalizado, mas também pelo aumento nas demandas por produção de alimentos para uma população mundial cada vez maior e mais urbanizada (Silva; Cavichioli, 2020).

O acentuado crescimento populacional observado desde o início do século 20 tem sido uma questão de grande preocupação para diversas autoridades em todo o mundo, e de acordo com projeções propostas pela ONU (Organização das Nações Unidas), a população mundial que atualmente corresponde a 8 bilhões pode atingir um número próximo a 10 bilhões até o final do século 21 (Pison, 2022). Estimativas também indicam que, para evitar um cenário de escassez global de alimentos, fibra e energia, será necessário elevar a produção agrícola global em 60% (Marin et al., 2016), sendo importante ressaltar que esse incremento de produtividade precisa vir atrelado a sustentabilidade, tendo em vista as crescentes preocupações globais com o meio ambiente e mudanças climáticas.

Nesse contexto, a agricultura de precisão tem tido um papel de destaque, apresentando soluções inovadoras capazes de melhorar a eficiência das fazendas e ao mesmo tempo reduzir os impactos ambientais gerados pelo processo produtivo (Balafoutis et al., 2017; Mantovani et al., 2020).

Segundo Inamasu e Bernardi (2014), após a liberação para uso civil do sinal GPS em 1995 pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos (USDOD), foi possível implementar no maquinário agrícola a tecnologia de armazenamento de dados georreferenciados (dados associados a coordenadas geográficas), o que levou, em 1996, ao surgimento do mercado de colhedoras com capacidade de mapeamento de produção, trazendo os primeiros interesses do setor agropecuário para o ramo das geotecnologias.

Desde então, as tecnologias de agricultura de precisão que utilizam dados georreferenciados têm sido constantemente estudadas e aprimoradas para a implementação em diversas atividades agrícolas mecanizadas, como plantio (Lemes et al., 2021), colheita (Holtz et al., 2019; Santos et al., 2019), aplicação de insumos (Gonzaga, 2020; Guazzelli, 2018) e preparo do solo (Amorim et al., 2019; Dadalto, 2018), sendo que, para este último, ressalta-se a importância da tecnologia de piloto automático e do planejamento de rotas de trabalho.

O piloto automático pode ser definido como um sistema de automação para condução operacional, que, ao ser instalado no maquinário agrícola, é capaz de automatizar as manobras

durante as operações mecanizadas, corrigindo o percurso das máquinas por meio de sinais de GNSS (em português, Sistemas Globais de Navegação por Satélite) em rotas pré-estabelecidas a partir de softwares (Jacto, 2022).

O planejamento de rotas com linhas georreferenciadas, aliado ao uso do piloto automático, garante o paralelismo entre passadas, otimizando o percurso das máquinas na área e sendo capaz de reduzir o gasto de combustível, reduzir o gasto de insumos, diminuir o tempo de operações, reduzir falhas e sobreposições indesejadas, possibilitar a realização de operações no período noturno e ainda proporcionar maior conforto ao operador (Baio; Moratelli, 2011; Kharel et al., 2020; Silva; Moraes; Molin, 2011).

As operações de preparo de solo têm grande potencial para aproveitamento desta tecnologia, não só pela sua necessidade intrínseca de cobertura total do campo em várias passadas, como também pelo fato que, embora sejam uma prática de grande importância para melhorar as qualidades edáficas do solo, também costumam ser bastante onerosas, representando uma grande parcela dos custos totais durante os ciclos produtivos (Sá et al., 2013), principalmente em grandes culturas plantadas em grandes áreas como a soja e a cana-de-açúcar. Na cana-de-açúcar, ressalta-se os elevados custos relacionados à renovação periódica do canavial, que é realizada para obter o melhor desenvolvimento e longevidade da cultura (Carvalho et al., 2011; Silva, 2010).

Nesse contexto, o presente trabalho buscou, através de um estudo de comparação de dados provenientes da Usina Sucroalcooleira Agroindústrias do Vale do São Francisco S/A (AGROVALE S/A), demonstrar os ganhos em economia de combustível e rendimento operacional a partir da utilização de planos de linhas georreferenciadas em operações de preparo de solo realizadas na empresa.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PREPARO DO SOLO

Segundo Pusch (2018), o preparo de solo pode ser definido como um conjunto de operações realizadas antes do plantio, que visam condicionar o ambiente físico do solo a fim de torná-lo mais apropriado ao desenvolvimento das plantas, feito pelo emprego de tratores e implementos que rompem e/ou revolvem o solo, destorroando, sistematizando e ainda podendo incorporar restos vegetais e adubos no mesmo.

O preparo de solo é uma das etapas básicas para a implementação da maioria das culturas agronomicamente relevantes. Contudo, é necessário salientar que este não deve ser empregado sem critérios, pois se for mal utilizado, pode resultar na degradação da estrutura física do solo, tanto pela compactação proveniente dos pneus dos tratores quanto pelo revolvimento excessivo do solo (Donagemma; Viana; Andrade, 2007; Mentges et al., 2013; Valicheski et al., 2012). Segundo Magno Junior (2012, p.2):

A mobilização do solo em excesso altera a agregação entre as partículas, facilitando a lixiviação de nutrientes e o arrastamento de partículas pela água da chuva. Outro dano causado pela mobilização do solo em excesso e sem a observação de alguns critérios, como, por exemplo, teor de água, profundidade de ação dos equipamentos é a formação de uma camada compactada abaixo da superfície do solo [...]. Camadas compactadas abaixo da superfície dos solos diminuem a eficiência de infiltração da água da chuva e irrigação, deixando o solo saturado e aumentando o risco de escoamento superficial.

Os sistemas de preparo de solo comumente empregados nas lavouras são: o Sistema de Preparo Convencional, o Sistema Plantio Direto e o Sistema Cultivo Mínimo (Silva et al., 2011). O sistema de plantio direto e o sistema de cultivo mínimo são práticas conservacionistas que tem como principal cerne o não revolvimento do solo, ou o mínimo possível, sendo menos agressivas para a estrutura física do solo, buscando melhorar suas qualidades edáficas (atributos químicos, físicos e biológicos) ao mesmo tem que diminuem as perdas de solo por erosão (Wezel et al., 2014).

Já no sistema de preparo de convencional, o manejo é realizado com o revolvimento total das camadas subsuperficiais do solo, com o principal intuito de quebrar impedimentos físicos e incorporar insumos e restos vegetais ao solo (Albuquerque Filho et al., 2021), podendo o número de operações e implementos utilizados variar de acordo com solo, cultura de interesse, região, custo e equipamentos disponíveis.

O preparo convencional pode ser dividido em preparo primário e preparo secundário, que diferem em implementos utilizados e objetivos durante a sistematização do solo. Segundo (Carvalho Filho et al., 2007), o preparo de solo primário tem um trabalho mais profundo e grosseiro nas camadas subsuperficiais do solo, quebrando impedimentos e revolvendo o material, a fim de promover um ambiente favorável ao desenvolvimento radicular, utilizando-se principalmente de grades pesadas, arados e subsoladores.

Já o preparo secundário são as operações superficiais realizadas após o preparo primário, que tem como principais finalidades o destorroamento da área, nivelamento do terreno e preparo da linha de plantio (Carvalho Filho et al., 2007). Nesta etapa, são utilizados principalmente grades leves, pranchões, rolos destorroadores e enxadas rotativas.

2.2 GNSS

Global Navigation Satellite System, ou GNSS, é um termo padrão utilizado para designar os sistemas de navegação por satélite que fornecem o posicionamento geoespacial de qualquer ponto no globo terrestre (Sapucci et al., 2014). “As constelações globais dentro do GNSS, às vezes chamadas de constelações centrais, consistem nominalmente em 24 ou mais satélites em órbita terrestre média (MEO) dispostos em 3 ou 6 planos orbitais com quatro ou mais satélites por plano” (Kaplan; Hegarty, 2017, p.2).

Segundo Jin, Wang e Dardanelli (2022), no final de maio de 2022, mais de 130 satélites estavam operacionais e totalmente globais, contando com satélites dos sistemas *Global Positioning System* (GPS) dos EUA, *Global Navigational Satellite System* (GLONASS) da Rússia, *Galileo Positioning System* da União Europeia e *BeiDou Navigation Satellite System* (BDS) da China.

Receptores mais modernos, conhecidos como Multi-GNSS, são capazes de utilizar dados obtidos por duas ou mais constelações de satélites, garantindo a disponibilidade do sinal e potencializando a acurácia e precisão posicionamento (Menezes, 2019).

Os sistemas de navegação por satélite utilizam a técnica baseada no *Time Of Arrival* (ToA), que consiste na aferição do tempo de propagação de um sinal emitido por um transmissor para calcular a distância até um aparelho receptor, e necessitam que ambos possuam relógios altamente precisos e sincronizados (Micheletti, 2021). No caso dos sistemas de navegação por satélite, os emissores são 3 ou mais satélites em órbita, enquanto os receptores são os aparelhos dos usuários em terra. Segundo Lima et al., (2006, p.538):

Cada satélite emite, de forma contínua, informações de sua posição e um sinal de tempo para sincronismo. O receptor determina o tempo que o sinal leva para percorrer a distância entre o satélite e o receptor. Conhecendo as coordenadas do satélite em um sistema de referência adequado, podem-se determinar as coordenadas do usuário.

Utilizando estes recursos, os sistemas de navegação por satélite entregam informações de posicionamento e velocidade de maneira precisa e contínua, regionalmente ou para todo o globo (Lima et al., 2006). Um ponto importante a ressaltar, é que como toda tecnologia os sistemas de navegação também são suscetíveis a erros, sendo os principais deles provenientes de erros no relógio atômico no cálculo da pseudodistância, variações na órbita do satélite e interferências geradas pela atmosfera (refração, multicaminhamento e perdas de ciclo) e erros nos próprios receptores (Dal’Cól, 2022). Estes erros podem acarretar numa perda considerável de precisão e acurácia nos aparelhos receptores.

Para mitigação destes efeitos, foram desenvolvidos os métodos de posicionamento relativo como o RTK, que através da utilização de um segundo receptor de posicionamento conhecido, é capaz de corrigir o posicionamento do usuário a uma precisão centimétrica ou até mesmo milimétrica, praticamente eliminando este problema (Rizos, 2007). Mais recentemente, outra solução desenvolvida para estes problemas de correção, ainda baseada na utilização de um segundo receptor de correção, é CenterPoint RTX Correction Service, capaz de fornecer a mesma precisão obtida pelo RTK comum, mas sem a necessidade de se instalar uma segunda base em campo, tendo em vista que a rede RTX já possui bases instaladas por todo o globo, implementando agilidade e eficiência aos serviços que utilizam o sinal (Alkan, 2021).

2.3 Piloto Automático

Ao longo dos anos, a mecanização agrícola tem exercido um papel fundamental no crescimento e desenvolvimento do agronegócio no Brasil, principalmente pela melhoria na eficiência de utilização de insumos (Silva, Baricelo e Vian, 2015) e redução na dependência de mão de obra (Santinato et al., 2015).

A mecanização viu seu leque de possibilidades aumentar após o surgimento da tecnologia GNSS, que possibilitou toda uma nova gama de soluções inovadoras, capazes de melhorar a eficiência, produtividade e controle das atividades no campo. Uma dessas soluções, e talvez a de maior impacto, são os sistemas de direcionamento automatizados veicular ou piloto automático (Molin; Amaral; Colaço, 2015).

O piloto automático pode ser definido como um sistema de automação para condução operacional, que, ao ser instalado no maquinário agrícola, é capaz de automatizar as manobras durante as operações mecanizadas, corrigindo o percurso das máquinas por meio de sinais de GNSS em rotas pré-estabelecidas a partir softwares (Jacto, 2022).

“Na prática, basta o operador criar uma linha de referência definindo o espaçamento entre as passadas, e o software do equipamento replica infinitas passadas à direita e à esquerda da linha de referência” (Oliveira; Molin, 2011, p.335)

Na atualidade, também é possível realizar o planejamento manual das linhas de referência através de softwares de “Desenho Assistido por Computador” (CAD em inglês), onde será realizada a vetorização do projeto de linhas, para caminhamento do maquinário a partir de informações georreferenciadas (Bandeira; Denadai, 2021).

Ao automatizar as manobras e planejar rotas otimizadas de tráfego, maquinário agrícola é possível melhorar o aproveitamento da área, reduzir gastos de combustível, aumentar a velocidade operacional, proporcionar maior conforto para o operador, reduzir o desperdício de insumos como fertilizantes e defensivos, tendo um impacto considerável nos custos finais de produção (Baio; Moratelli, 2011; Balafoutis et al., 2017; Batte, 2006; Bettio et al., 2016; Shockley; Dillon; Shearer, 2008).

Kharel et al., (2020) encontraram uma redução nas sobreposições de até 6% da área do campo e redução de lacunas de até 16% comparando operações com e sem o uso de sistemas de auto direcionamento, gerando uma melhoria de eficiência geral de até 20%, resultando na economia de insumos e tempo de aplicação.

É importante destacar também a coleta de dados georreferenciados durante as operações mecanizadas, que têm a capacidade de produzir diagnósticos precisos sobre todos os processos executados no campo, auxiliando no gerenciamento do maquinário agrícola (Araldi et al., 2013) e fornecendo informações de grande importância para o planejamento das próximas safras.

Sobre os tipos de piloto automático, estes podem ser subdivididos em sistemas elétricos e hidráulicos, que se diferenciam principalmente por sua forma de ação no sistema de direção, pelo custo de aquisição e pela versatilidade de uso (Jacto, 2022).

Segundo Cocco (2021), o piloto automático elétrico opera com um motor de corrente elétrica contínua conectado diretamente ao eixo da direção, atuando pelo contato de uma roda dentada com o volante. O mesmo autor ainda exalta a praticidade na montagem e portabilidade deste tipo de sistema, pois permite que o produtor utilize o mesmo equipamento em diferentes tipos de máquinas agrícolas e em diversas atividades em sua propriedade. Já o piloto automático

hidráulico é um sistema integrado a direção da máquina agrícola, atuando sobre válvula que regula o fluxo de óleo do pistão de direção (Belinazzo, 2018).

Pereira et al. (2019), destaca que os sistemas de direcionamento hidráulico apresentam melhor capacidade de correção do alinhamento entre as passadas e diminuição dos erros de alinhamento, se comparado a outros sistemas, sendo importante ressaltar que para a seleção do piloto automático mais adequado é necessário ter em mente as condições de uso e necessidades de precisão para as atividades da propriedade.

2.4 Planejamento de rotas e projeto de linhas georreferenciadas

O planejamento de rotas para o tráfego de máquinas tem grande potencial de melhorar a eficiência das operações em campo, principalmente daquelas que utilizam diferentes configurações de máquinas e implementos (Nilsson; Zhou, 2020), como o caso das operações de preparo de solo.

Diversas abordagens têm sido testadas para o planejamento de rotas de tráfego otimizadas de máquinas agrícolas, principalmente a partir da utilização de complexos algoritmos como, “branch-and-bound e branch-and-cut; métodos heurísticos clássicos e métodos meta-heurísticos, como Simulated and Deterministic Annealing, Tabu Search, Genetic Algorithms, Ant Systems, ou Neural Networks.” (Villa-Henriksen, 2021, p.2 apud. Toth e Vigo, 2022).

Embora constituam um ramo muito recente de estudos, estas abordagens têm tido grande sucesso em otimizar o percurso de máquinas do campo e aumentar seus rendimentos operacionais (Villa-Henriksen, 2021). Contudo, deva-se salientar que muitas delas ainda estão inacessíveis para a maioria dos produtores, principal por estarem em processo de desenvolvimento e/ou por exigirem um alto nível conhecimento técnico para serem operadas de maneira adequado e investimento econômico.

Uma abordagem mais simplificada para o planejamento de rotas consiste na utilização de ortomosaicos georreferenciados, que podem ser utilizados para a vetorização das linhas de tráfego (Bandeira; Denadai, 2021). O ortomosaico é um conjunto de fotos aéreas tiradas de uma área com ângulos diferentes e sobrepostas em um software de geoprocessamento, para formarem uma grande foto de alta qualidade e livre de distorções radiais (Jorge; Inamasu, 2014). Dentre as diversas aplicações agrônômicas para os ortomosaicos, podemos destacar a avaliação e monitoramento de pragas e doenças (Jim, 2018), monitoramento de plantas invasoras em áreas produtivas (Pessi et al., 2021), identificação de falhas no plantio (Preve,

2021), monitoramento e diagnóstico de queimadas (Soares, 2018) e a produção de mapas georreferenciados (Bryson et al., 2010).

Resumidamente, um projeto de linhas de tráfego georreferenciadas é construído e aplicado com configurações otimizadas para cada campo e operação mecanizada, a partir de uma imagem aérea de drones e de pontos georreferenciados, ao invés da metodologia mais clássica de operação do piloto automático da máquina, onde o operador apenas multiplica linhas infinitamente para um baseadas no espaçamento da operação. (Machado, 2020; Oliveira; Molin, 2011)

Os ortomosaicos são utilizados na agricultura há muito tempo, porém, vem ganhando mais destaque nos últimos anos, principalmente pelo interesse mundial na agricultura de precisão e pelos avanços nas tecnologias de produção de VANT's (Veículos Aéreos Não Tripulados), que estão se tornando cada vez mais baratos, confiáveis e eficientes para o uso em aerofotogrametria (Kux; Oliveira; Nogueira, 2019). Para garantir a precisão e acurácia do georreferenciamento do mapeamento aéreo, é necessário distribuir pontos de controle na área de coleta das imagens e no alinhamento das imagens durante o processamento.

Esses pontos devem ser distribuídos uniformemente na área que formará o ortomosaico, sendo que suas coordenadas devem ser coletadas por um receptor GNSS com correção diferencial para obter uma melhor precisão (Jorge; Inamasu, 2014). A distribuição dos pontos de controle interfere mais na precisão do que a quantidade, sendo que o aumento da quantidade de pontos representa pouca diferença no resultado para a precisão do levantamento. (Figueredo, 2022). Após a inserção dos pontos de controle georreferenciados e processamento das imagens, é realizada a vetorização das linhas de tráfego em um programa de desenho técnico CAD, como o Autodesk AutoCAD Civil 3D (Machado, 2020), sendo exportados para as máquinas posteriormente.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar, quantificar e demonstrar, por meio da comparação de médias de dados obtidos em operações de subsolagem, os ganhos de produtividade e economia de combustível em operações de preparo de solo que utilizaram projetos de linhas georreferenciadas.

3.1.1 Objetivos Específicos

Quantificar e comparar nos campos e operações selecionadas:

- Número de horas/ha de operações de subsolagem realizadas nos anos de 2018, 2019, 2020 e 2021.
- Gasto de combustível das operações de subsolagem realizadas nos anos de 2018, 2019, 2020.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

As operações de preparo de solo foram realizadas em campos pertencentes a usina sucroalcooleira Agroindústrias do Vale do São Francisco S/A (Agrovale S/A), localizada na cidade de Juazeiro, Bahia, nas coordenadas: latitude 9°29'45.42"S e longitude 40°21'42.48"O.

O local do experimento em questão está situado no semiárido brasileiro, que é caracterizado como uma região com grande irregularidade de precipitações, e elevadas temperaturas na maior parte do ano (Moura; Silva; Soares, 2005).

A AGROVALE S/A é uma agroindústria de referência no Vale do São Francisco e no Brasil, atuando principalmente na produção de açúcar, etanol e bioeletricidade. A empresa possui uma extensa área canavieira de aproximadamente 17.846 há (dados verificados em dezembro de 2023), divididos em diferentes setores e campos. Esses campos são renovados periodicamente com preparos de solo para garantir a manutenção de altas produtividades dos canaviais. As variedades predominantes no plantio são a VAT-90212 e RB-961003, que juntas correspondem a 95% da área total plantada. Os sistemas de irrigação utilizados são o gotejamento subterrâneo e irrigação por sulco (canais e politubos).

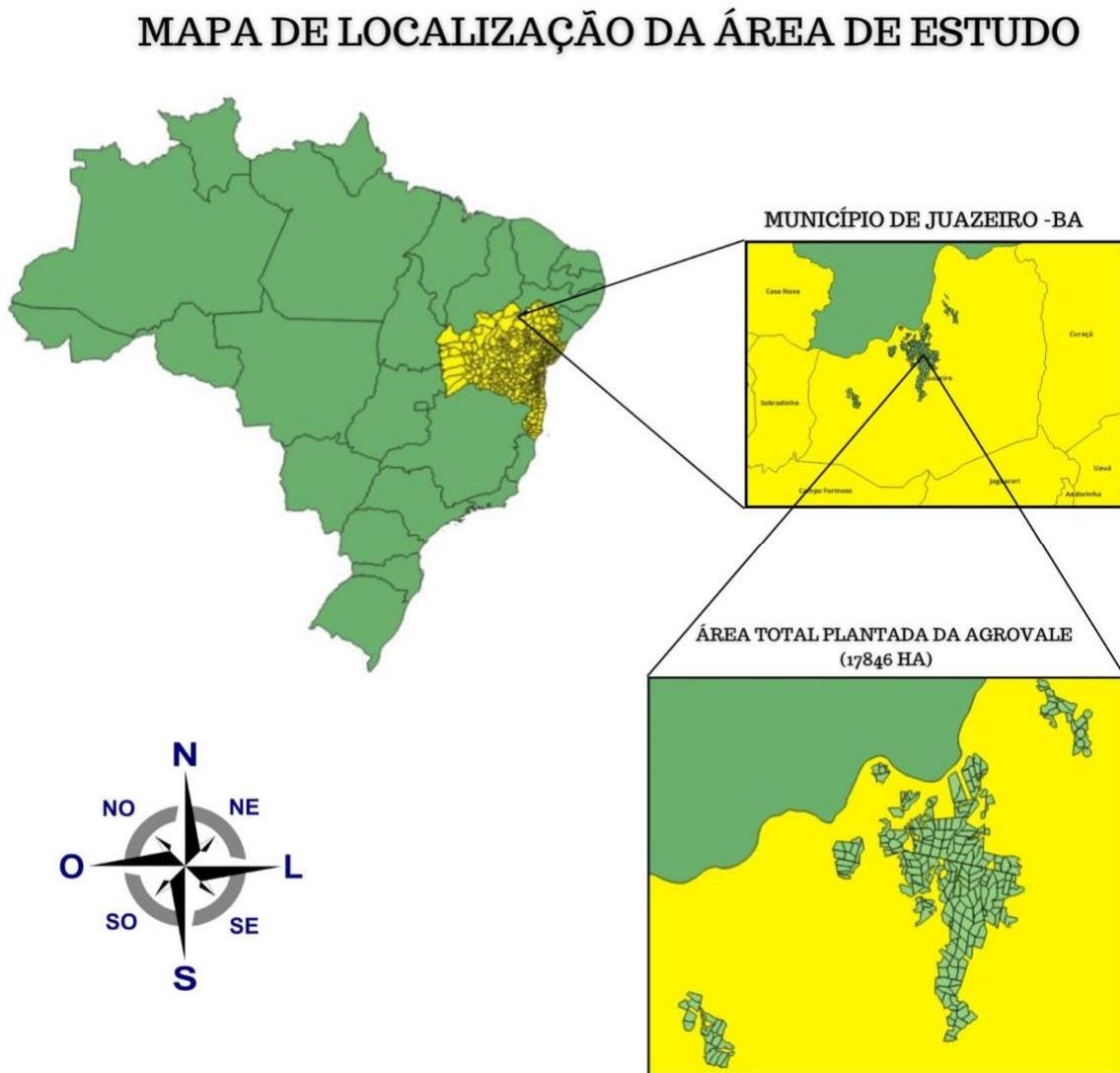
Os solos presentes nas áreas de plantio da empresa são, em grande parte, de textura argilosa (solos pesados), sendo em sua maioria classificados pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), como Vertissolos Háplicos e Cambissolos Vérticos e Cambissolos Háplicos Eutróficos, distribuídos de maneira desuniforme por toda extensão da empresa.

Amaral et.al (2007), em um levantamento para a classificação da irrigabilidade das terras do entorno do Projeto Salitre, descreveu uma série de possíveis limitações para os solos das regiões próximas (Agrovale sendo inclusa), citando principalmente a baixa drenabilidade, a presença ou risco de ocorrência de processos de salinidade e/ou sodicidade, a presença de áreas com acentuada pedregosidade e a comum baixa profundidade efetiva dos solos. Contudo, o mesmo autor ainda cita a existência de solos com boa potencialidade para a irrigação na região, como é o caso dos Cambissolos Háplicos Eutróficos, encontrados também na Agrovale, que possuem características positivas como boa profundidade efetiva, excelente fertilidade, boa drenabilidade natural e um relevo suave que pode facilitar o dimensionamento dos projetos de irrigação e drenagem.

Para o desenvolvimento deste projeto, buscou-se (quando possível) utilizar dados de campos com características semelhantes, visando a maior homogeneidade e confiabilidade dos

resultados. No geral, foram selecionados campos classificados como Vertissolos Háplicos, com baixa drenabilidade, boa fertilidade, relevo suave e baixa a moderada pedregosidade.

Figura 1: Mapa de localização da AGROVALE – S/A.



Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2023.

Figura 2: (A esquerda) Parte frontal do trator de esteiras Caterpillar D6T XL, estacionado no pátio da Usina. (A direita) Parte traseira do trator Caterpillar D6T XL, demonstrando seu ríper de 3 dentes utilizado nas operações de subsolagem .

Fonte: Agrovale

4.2 CONJUNTO MÁQUINA IMPLEMENTO



Nas operações de subsolagem, foram utilizados dois tratores de esteira da marca Caterpillar, modelo D6T XL, (descrito na tabela 1 e ilustrado na figura 2), com um sistema de

autodirecionamento do tipo hidráulico. Para as operações de subsolagem, utilizou-se o ríper de porta-pontas múltiplos original do trator com 3 dentes.

Tabela 1: Especificações do Trator Caterpillar D6T XL

Descrição	Características
Marca	Caterpillar
Modelo	Trator de Esteiras Caterpillar D6T XL
Motor	Cat C9
Potência Líquida	149 kW
RPM na Rotação Nominal do Motor – Direção	2.625 rpm
RPM na Rotação Nominal do Motor – Implemento	1.965 rpm
Peso sem lastro	20449 kg

Fonte: Catterpillar (2023).

4.3 AQUISIÇÃO DE DADOS E CONSTRUÇÃO DO PROJETO DE LINHAS

Para a aquisição de pontos e levantamento planialtimétrico da área, foi utilizado um Kit RTK Trimble R8 Model 3G (figura 3) e um drone do modelo Mavic 2 Pro da DJI (figura 4).

Figura 2: Kit de receptores GNSS da Trimble Modelo R8 3G.



Fonte: Precison Geosystems, (2023).

Figura 3: Drone DJI modelo Mavic 2 pro



Fonte: DJI (2023).

Em escritório, foi configurado o plano de voo do drone para a realização da aerofotogrametria das áreas. O plano de voo foi criado a partir do software DroneDeploy, utilizando como configurações básicas: altura de voo de 80 m, sobreposição lateral e longitudinal de 75% e 80% e um GSD de 1.5 cm/px.

Figura 4: (A esquerda), mapeamento aéreo realizado com o Drone Mavic 2 pro e planejado por meio do software DroneDeploy. (A direita) Georreferenciamento de Pontos de Controle, através do Receptor RTK Trimble R8 Model 3G



Fonte: AGROVALE.

A próxima etapa ocorreu em campo, onde uma série de pontos de controle marcados com gesso agrícola, tiveram suas coordenadas de centro tomadas, por meio de um receptor RTK da Trimble. O número de pontos de controle estabelecidos variou de 6 a 8 pontos, bem distribuídos, dependendo do tamanho e formato do campo. Com os pontos devidamente distribuídos e georreferenciados, a equipe de topografia prosseguiu realizando o levantamento aerofotogramétrico, sendo as fotos posteriormente enviadas para o escritório para a realização do geoprocessamento.

Para o processamento das imagens, foi utilizado o software Agisoft PhotoScan Professional, obtendo como produto, um ortomosaico georreferenciado do campo, exemplificado na figura 5. Com o ortomosaico pronto, o seguinte passo foi construção do projeto de linhas para a subsolagem, sendo que esta etapa foi realizada a partir do software de desenho técnico AutoCAD® Civil 3D e sua extensão específica para projetos agrícolas

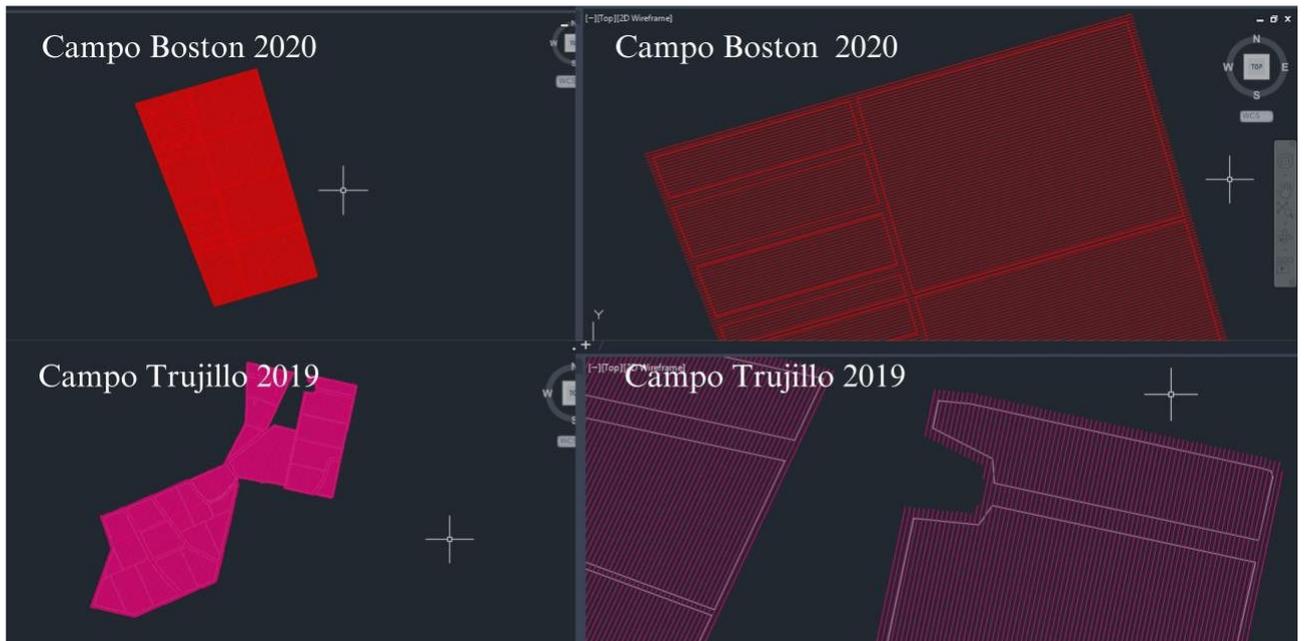
Figura 5: Ortomosaico do campo de cana-de-açúcar DAKOTA, pertencente a AGROVALE, levantado e processado após 45 dias da colheita.



AgroCad, (figura 6).

O espaçamento de preparo de solo foi ajustado para 4,5 m entre passadas, com o espaçamento entre dentes do implemento sendo de 1,50 m, visando obter o máximo aproveitamento de tempo e área das operações.

Figura 6: (Acima) Projeto de linhas georreferenciadas desenvolvido para o Campo Boston, pertencente a Agrovale e subsolado no ano de 2020. (baixo) Projeto de linhas georreferenciadas desenvolvido para o Campo Trujillo, pertencente a Agrovale e subsolado no ano de 2019. As linhas são destruídas paralelamente em um espaçamento e alinhamento favorável buscando máximo aproveitamento nas passadas.



Ao fim desta etapa, o projeto de linhas foi convertido em um arquivo SHAPFILE, que posteriormente foi descarregado nos tratores e utilizado como guia para a realização do preparo de solo.

4.4 OPERAÇÕES DE SUBSOLAGEM

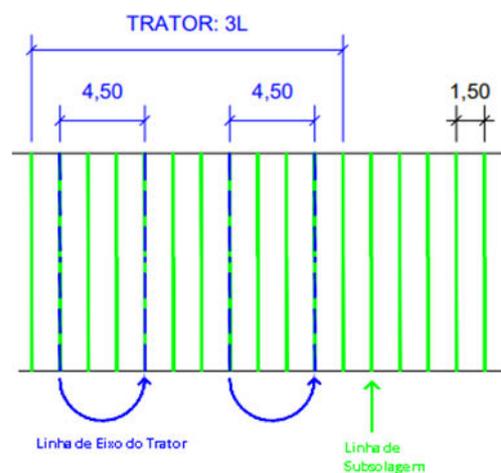
As operações de subsolagens estudadas foram realizadas em diferentes safras, nos anos de 2018, 2019, 2020 e 2021. Devido as condições edafoclimáticas da região, as datas de início e fim de safra da empresa variaram pouco nos diferentes anos, geralmente iniciando-se no início do mês de maio (dia 5) e encerrando-se nas primeiras semanas de novembro, como forma de evitar o período de chuvas e possibilitar o tráfego de máquinas no campo. O preparo de solo para a renovação dos canaviais ocorre logo após a colheita, sendo importante salientar que a tomada de decisão para a renovação do campo é baseada na média de produtividade atingida nas últimas colheitas de cada campo.

O preparo de solo convencional adotado pela empresa incorpora uma série de etapas, sendo inicialmente uma subsolagem, seguida por uma gradagem pesada, uma sistematização de terreno visando reduzir a ocorrência de microbacias (característica marcante dos vertissolos), uma gradagem leve, uma operação com enxada rotativa e, por fim, um sulcamento, sendo que após esta última, o campo está pronto para a adubação e plantio da cana.

Contudo, vale salientar que no contexto da Agrovale, as subsolagens são realizadas apenas em campos irrigados por sistema de gotejamento subterrâneo ou que estão em transição para esse tipo de sistema, tendo em vista que, por serem operações onerosas, não há justificativa econômica para que estas sejam realizadas em campos de irrigação por superfície, que comumente apresentam médias de produtividade mais baixas.

As operações de subsolagem foram realizadas por dois tratores de esteira Caterpillar D6T XL, utilizando o ríper de porta-pontas múltiplos original do trator com 3 dentes, a uma profundidade de aproximadamente 40 cm. A barra do ríper dos tratores D6T possui o comprimento de 2,20 m, sendo que o espaçamento adotado para maximizar a produtividade das operações de subsolagem foi de 4,50 m entre passadas (figura 7).

Figura 7: Esquema de espaçamento de passadas para a subsolagem com o D6T XL com Ríper de 3 dentes. O espaçamento entre passadas do eixo do trator de 4,50 m justifica-se pelo espaçamento entre os dentes do ríper, levando ao máximo aproveitamento da área.



Fonte: AGROVALE

As correções de coordenadas durante o preparo de solo foram realizadas com o auxílio do piloto automático hidráulico do trator e dos sinais de correção do RTX, utilizando a metodologia PPP RTK. O rendimento das operações foi calculado a partir da relação entre a área de solo preparado (ha) e o tempo total utilizado durante a operação(h) (De Farias, 2018),

sendo a fórmula:

$$\mathbf{Ro = At / T}$$

Onde:

Ro = Rendimento Operacional (hrs/ha)

At = Área total Trabalhada (ha)

T = Tempo total trabalhado (h)

O consumo de combustível total das operações foi obtido através da relação entre tempo de trabalho total (h) e volume de combustível utilizado (L), e expresso nos volumetricamente em L/h-1, e obtido através de leituras diretas dos instrumentos dos tratores agrícolas (Montanha, 2010). A fórmula simples utilizada corresponde a:

$$\mathbf{RC = T / Cc}$$

Onde:

Rc = Rendimento do consumo de combustível (L/h)

T = Tempo total trabalhado (h)

Cc = Consumo de combustível (L)

A análise comparativa dos dados obtidos foi realizada por meio de comparação de médias obtidas pelas operações de subsolagem.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 RENDIMENTO DE H/HA

Para a variável rendimento em horas/hectare, foi notado um ganho expressivo no desempenho das operações de subsolagem a partir do período em que se começou a utilizar os projetos de linhas georreferenciados na condução das atividades. O confrontamento das médias dos anos de 2018 e 2019 demonstraram o quão impactante foi adoção do projeto de linhas georreferenciadas para as operações de subsolagem, onde a média geral de horas/hectare para estas operações nos dois anos foi de 2,92 h/ha e 1,86 h/ha respectivamente, demonstrando um ganho de performance e produtividade em campo de 36,30%.

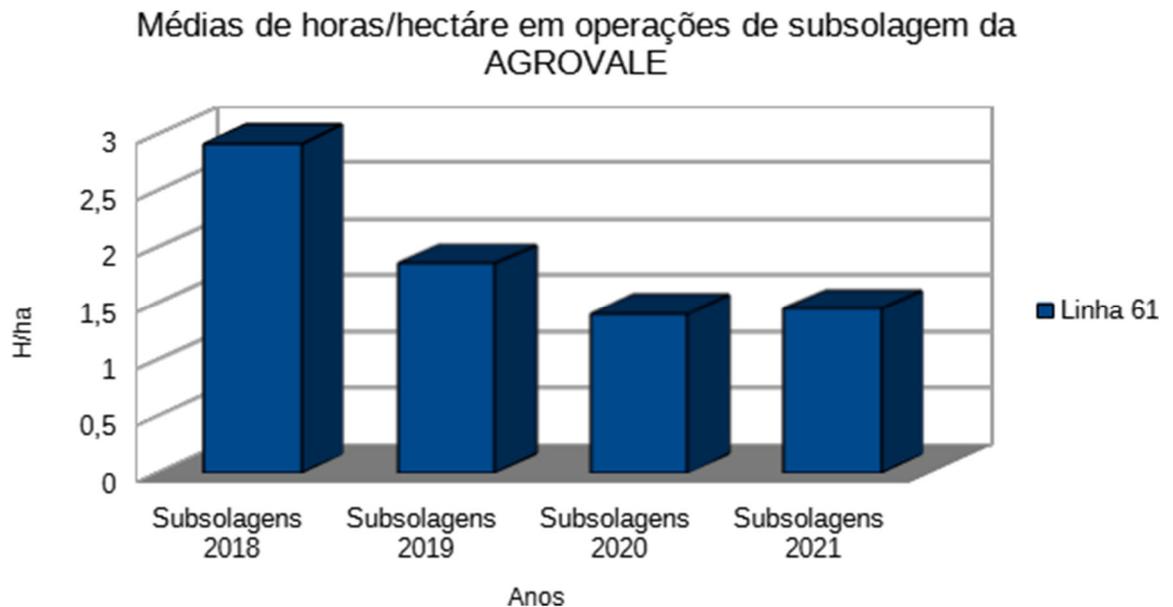
Nos anos seguintes, a tecnologia continuou a ser utilizada em todas as operações de subsolagem, havendo uma melhoria considerável no ano seguinte (2020), que atingiu uma média de 1,41 h/ha, representando uma melhora de rendimento de 24,19% em relação ao ano anterior e 47,28% em relação ao ano de 2018. O ano de 2021 manteve a média de produtividade obtida no ano de 2020, atingindo a média 1,45 h/ha, não divergindo estatisticamente do ano anterior.

Tabela 2: Valores de horas/hectare de operações de subsolagens avaliadas nos anos de 2018, 2019, 2020 e 2021, com e sem o uso de projeto de linhas georreferenciadas.

	Subsolagens 2018 (sem georreferenciamento)	Subsolagens 2019 (com georreferenciamento)	Subsolagens 2020 (com georreferenciamento)	Subsolagens 2021 (com georreferenciamento)
Campo 1	2,78	2,06	1,90	1,69
Campo 2	2,78	2,03	1,41	1,53
Campo 3	2,90	1,95	1,40	1,46
Campo 4	2,92	1,94	1,39	1,43
Campo 5	2,94	1,82	1,35	1,36
Campo 6	3,05	1,66	1,24	1,35
Campo 7	3,07	1,58	1,21	1,34
Total	2,92 c	1,86 b	1,41 a	1,45 a

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Gráfico 1: Representação gráfica das médias de horas/hectare das operações de subsolagem avaliadas nos anos de 2018, 2019, 2020 e 2021



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Inferese-se que a utilização do projeto de linhas georreferenciadas nas operações de preparo de solo contribui positivamente para a melhoria do rendimento das operações, possivelmente pela redução da distância de percurso de trabalho e pela redução do tempo não trabalhado dos operadores. Estes resultados eram esperados, visto que a literatura está repleta de estudos demonstrando ganhos expressivos de rendimento h/há, redução de distância de percurso e de tempo de operação não laboral em operações mecanizadas, através da aplicação de tecnologias e metodologias similares.

Edwards et al, (2017) obteve resultados positivos em um experimento que comparou as distâncias percorridas e intensidade do tráfego de operações de roçada, realizadas por um operador profissional e por uma ferramenta de otimização de rotas conhecido como ORP (*Infield Route Planner*). Nos doze campos roçados (exceto dois campos de área menor), o operador percorreu distâncias mais longas do que a ferramenta ORP, atingindo uma diferença máxima de 18,4%, com uma redução de 9,2 km (7,5%) no total de deslocamentos percorridos. O autor ainda observou a diminuição da intensidade de tráfego na área, inferindo que a tecnologia foi benéfica para a redução da compactação do solo pelo maquinário agrícola.

Bochtis (2008), através de uma abordagem algorítmica para a otimização do percurso e das manobras, visando principalmente a redução da distância total não laboral, conseguiu

demonstrar experimentalmente uma redução de percurso das máquinas agrícolas de até 50%, dependendo das operações realizadas. O mesmo autor, utilizando outra abordagem, através de padrões de trilhas (Padrões b) calculadas por um algoritmo visando a cobertura completa do campo pelas máquinas, demonstrou reduções na distância não laboral de até 58,65% e aumentos na capacidade da área, ou seja, o rendimento de área em relação ao tempo de até 19,23%, comparado a padrões de trabalho convencionais.

Rodias et al., (2017), obteve resultados significativos na melhoria de rendimento de operação calculada em minutos/ha, onde, nas 110 operações realizadas (55 otimizadas e 55 não otimizadas) as operações otimizadas conseguem obter médias superiores de min/ha as que não otimizadas, havendo ainda economia no consumo de combustível.

Exemplos da redução da distância de tráfego, de tempo não trabalhado e melhoria de rendimento por meio de planos de rotas otimizados também são encontrados em outros tipos de operações mecanizadas. Evans et. al, (2020), através de um Algoritmo Genético desenvolvido para otimizar as rotas de colheita pela determinação de padrões de tráfego mais eficientes, conseguiu otimizar o rendimento espacial de 3 campos entre 13,8% e 31,5%. Autor inferiu que esta melhora de rendimento se deve principalmente pela redução do tempo não laboral durante as operações.

Jensen (2015), por meio de uma algorítmica, conseguiu uma otimização de eficiência operacional considerável para operações de aplicação de adubo líquido. Três operações de fertilização realizadas em rotas otimizadas foram comparadas com outras três realizadas de maneira convencional, tendo como resultado a redução da distância percorrida não produtiva entre 15,7% e 43,5%, e a redução de distância total percorrida entre 5,8 e 11,8%.

5.2 CONSUMO DE COMBUSTÍVEL (L/H)

Tabela 3. Consumo de combustível em Litros/Hora de operações de subsolagem realizadas nos anos de 2018, 2019 e 2020

	2018	2019	2020
Horas Rodadas (h)	1022,00	2867,73	2560,42
Consumo de combustível (L)	36408	78913	75067
Total (L/h)	35,62	27,51	29,31

Fonte: Elaborada pelo autor (2023).

Para a variável consumo de combustível, foram utilizados dados de subsolagens realizadas nos anos de 2018, 2019 e 2020. Não foi possível encontrar os mesmos dados relacionados ao ano de 2021, por um problema relacionado ao software de armazenamento utilizado. O número de horas rodadas (h) corresponde ao registro total em horas de subsolagens realizadas pela empresa nos anos correspondente. Acrescenta-se uma observação ao aumento substancial de subsolagens ocorrido entre as safras de 2018 e 2019, como sendo um efeito da política da empresa de substituição dos antigos sistemas de irrigação por sulco para sistemas mais eficientes de gotejamento subterrâneo. Desta forma, salienta-se que o consumo de combustível foi menor no ano de 2018, contudo, a média de rendimento deste insumo nas operações de subsolagem foi inferior as médias obtidas nos anos seguintes registrados.

Como observado na tabela 3, é possível constatar uma melhoria do rendimento de combustível significativa entre os anos de 2018 e 2019, que tiveram médias de consumo por hora para as operações de subsolagem de 35,62 L/h e 27,51 L/h respectivamente, resultando em uma economia de 22,77% do insumo. No ano seguinte (2020), a média seguiu menor do que a encontrada no de 2018, atingindo 29,32 L/h, sendo apenas um pouco superior à média de 2019.

Resultados semelhantes foram encontrados em Rodias et al., (2017), que demonstrou uma economia de combustível em operações mecanizadas submetidas a rotas de trabalho otimizadas. O estudo trabalhou com operações de aração, gradagem, plantio, adubação, roçagem e colheita mecanizadas em campos com diferentes formatos geométrico e nas culturas gramíneas Switchgrass (*Panicum virgatum*) e Miscanthus (*Miscanthus sinensis*). A economia energética registrada foi na faixa de 3-8%, podendo ser inferido ainda que as maiores porcentagens de economia foram encontradas em campos com formato mais irregular.

Nørremark, Nilsson e Sørensen (2022), utilizando um algoritmo de colônia artificial de

abelhas (ABC), buscaram encontrar as rotas e permutações que obtivessem as melhores relações de custos em tempo e distância, para operações complexas de colheita. Os dados operacionais de sete campos de tamanhos e formas variados demonstraram uma redução no consumo de combustível de 7%, em campos localizados mais próximos da instalação de armazenamento (>5 km), sendo estes resultados associados ao aumento na frequência de carga total, ao nível médio de carga e a diminuição da distância de viagem no campo. Ainda foram observados uma redução no risco de compactação do solo de até 25% e uma redução na distância total de viagem no campo de até 15%.

Inferese-se que, através na redução da distância de percurso proporcionada pelo planejamento de rotas, houve a redução no consumo de combustível utilizado nas operações, fato este observado nos trabalhos citados e em outras fontes da literatura.

É importante salientar que por questões de dificuldade na obtenção de dados específicos para as operações por campo, não foi possível realizar a mesma homogeneização de dados praticada para a variável horas/ha, sendo, como descrito anteriormente, utilizado os dados gerais de todas as operações de subsolagem do ano safra. Neste sentido, certas diferenças relacionadas ao tipo de solo, nível de pedregosidade e profundidade efetiva do solo podem ter ocasionado pequenas diferenças aos valores totais apresentados, porém, não comprometendo os resultados gerais apresentados, tendo em vista que a redução na distância percorrida nas operações inevitavelmente acaba por gerar também como efeito a redução no consumo de combustível.

6 CONCLUSÃO

Através do planejamento de rotas utilizando linhas georreferenciadas, foi possível melhorar o rendimento em horas/hectare de operações de subsolagem em até 47,28%. Também foi constatada a redução de consumo de combustível total nas operações de até 22,77%.

Grande parte dos trabalhos de pesquisa e literaturas mais recentes a respeito da construção de rotas de trabalho automatizadas em máquinas agrícolas tem se baseado principalmente na utilização de abordagens algorítmicas para o desenho de rotas, ao invés do desenho manual das rotas por meio de softwares de desenho técnico, obtendo excelentes resultados, sendo posso inferir que ainda existe um grande espaço para pesquisas do gênero, especialmente no Brasil, onde e existe um grande campo para testes para esta tecnologia e um baixo número de trabalhos desenvolvidos para este ramo de pesquisa.

Estudos mais detalhados com a metodologia utilizada neste trabalho são necessários para avaliar outros possíveis benefícios, como a redução do nível de compactação do solo e o impacto resultante na produtividade do canavial, redução de custos totais das operações de subsolagem, ganhos de rendimento em outras operações de preparo de solo como a gradagem e enxada rotativa, e a redução da emissão de GEE's (Gases do Efeito Estufa) a partir do uso da tecnologia.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE FILHO, M. R. DE et al. **Plantio Convencional – Portal Embrapa**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/manejo-do-solo-e-adubacao/sistema-de-manejo-do-solo/plantio-convencional>>. Acesso em: 9 fev. 2023.

ALKAN, Reha Metin. **Posicionamento de ponto de alta precisão em nível Cm com serviço de correção GNSS baseado em satélite em aplicações dinâmicas**. Revista de ciência espacial, v. 66, n. 2, pág. 351-359, 2021.

AMARAL, F. C. S. do; CARVALHO JUNIOR, W. de; NAIME, U. J.; SILVA, E. F. Da; OLIVEIRA NETO, M. B. De; CUNHA, T. J. F; FERNANDES, L. A. C. **Classificação da irrigabilidade das terras do entorno do Projeto Salitre, Juazeiro-BA**. Embrapa Solos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 122. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 37 p. 2007.

AMORIM, M. Q. et al. **Qualidade da semeadura do arroz em função do preparo do solo e velocidade operacional do conjunto mecanizado / Rice seeding quality as a preparation of the soil and operational speed of the mechanized assembly**. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 11, p. 26969–26982, 27 nov. 2019.

ARALDI, P. F. et al. **Eficiência operacional na colheita mecanizada em lavouras de arroz irrigado**. Ciência Rural, v. 43, p. 445–451, mar. 2013.

BAIO, F. H. R.; MORATELLI, R. F.. **Avaliação da acurácia no direcionamento com piloto automático e contraste da capacidade de campo operacional no plantio mecanizado da cana-de-açúcar**. Revista de Engenharia Agrícola., Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 367-375, 2011.

BALAFOUTIS, A. et al. **Precision agriculture technologies positively contributing to ghg emissions mitigation, farm productivity and economics**. Sustainability, v. 9, n. 8, p. 1339, 2017.

BANDEIRA, P. F.; DENADAI, M. S.. **Uso de Agricultura de Precisão (Piloto Automático e Computador De Bordo) Como Forma de Melhoria na Cultura da Cana de Açúcar**. In: X JORNACITEC-Jornada Científica e Tecnológica. 2021.

BATTE, M. **The economics of precision guidance with auto-boom control for farmer-owned agricultural sprayers**. Computers and Electronics in Agriculture, v. 53, p. 28–44, 1 jan. 2006.

BELINAZZO, W. V. **Aperfeiçoamento De Uma Bancada Para Teste De Vida Acelerada Em Sistemas Eletrônicos Embarcados Em Máquinas Agrícolas**. 154f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal De Santa Maria Centro De Ciências Rurais, Santa Maria, 2018.

BETTIO, C. S. et al. **Uso de piloto automático com sinal RTX na semeadura de trigo em curva aberta e fechada**. Revista Técnico-Científica. 3º Congresso Técnico-Científico da Engenharia e da Agronomia (CONTECC 2016). 2016.

BOCHTIS, D. D.; VOUGIOUKAS, S. G. **Minimising the non-working distance travelled by machines operating in a headland field pattern.** Biosystems engineering, v. 101, n. 1, p. 1-12, 2008.

BOCHTIS, D. D. ET AL. (2013) ‘**Benefits from optimal route planning based on B-patterns**’, **Biosystems Engineering**. IAgRE, 115(4), pp. 389–395. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2013.04.006.

BRYSON, M. et al. **Airborne vision-based mapping and classification of large farmland environments.** Journal of Field Robotics, v. 27, n. 5, p. 632–655, 2010.

CARVALHO FILHO, A. et al. **Agregação de um latossolo vermelho submetido a cinco sistemas de preparo do solo em Uberaba – MG.** Engenharia Agrícola, v. 27, p. 317–325, abr. 2007.

CARVALHO, L. A. DE et al. **Produtividade e viabilidade econômica da cana-de-açúcar em diferentes sistemas de preparo do solo no centro-oeste do Brasil.** Revista de Ciências Agrárias, v. 34, n. 1, p. 199–211, 2011.

CATTERPILLAR, 2023. **Tratores de Esteira D6T | Buldôzers | Buldôzers de Esteira | Cat | Caterpillar.** Disponível em: <https://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/dozers/medium-dozers/18331763.html>. Acesso em: 9 de dezembro de 2023.

COCCO, G. F. **Desenvolvimento de Um Sistema de Baixo Custo para Correção de Direcionamento em Operações Agrícolas – Projeto Informacional e Conceitual.** 55f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação Em Engenharia Mecânica) Universidade Federal De Santa Maria – Campus Cachoeira Do Sul, Cachoeira Do Sul, 2021.

DADALTO, Juliana Pinheiro. **Preparo mecanizado e sua influência na qualidade física do solo.** 2018. 64 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2018.

DAL’CÓL, C. J. B. **O impacto das irregularidades ionosféricas na operação de sistemas autônomos.** 2022. 85 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Instrumentação, Controle e Automação de Processos de Mineração) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022.

DE FARIAS, Marcelo Silveira et al. **Desempenho operacional e energético de um trator agrícola durante operação de gradagem.** Tecno-Lógica, v. 22, n. 2, 2018.

DJI, 2023. **Dji Mavic 2 Pro support.** Disponível em: <<https://www.dji.com/br/support/product/mavic-2>>. Acesso em: 9 de dezembro de 2023.

DONAGEMMA, G. K.; VIANA, J. H. V.; ANDRADE, A. G. de. **Propriedades físicas do solo influenciadas por sistemas de preparo e manejo:** uma revisão. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007. 69 p. (Documentos 100).

EDWARDS, G. T. C. ET AL. (2017) **‘Route Planning Evaluation of a Prototype Optimised Infield Route Planner for Neutral Material Flow Agricultural Operations’**, *Biosystems Engineering*, 153, pp. 149–157. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2016.10.007

EVANS IV, JOHN T. ET AL. **Row crop grain harvester path optimization in headland patterns**. *Computers and electronics in agriculture*, v. 171, p. 105295, 2020.

FIGUEREDO, R. H. B. **Influência da quantidade e distribuição de pontos de controle na precisão de ortoimagens de áreas urbanas geradas por ARPs**. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2022.

GONZAGA, A. R. **Avaliação de tratores agrícolas para pulverização na cultura do citros**. 2020. 118f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal – Agronomia) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Jaboticabal, 2020.

GUAZZELLI, T. M. **Pulverizador pneumático autopropelido controlado e monitorado à distância para o tratamento fitossanitário de tomateiros**. 2018. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2018.

HOLTZ, V. et al. **Perdas na colheita mecanizada de soja utilizando diferentes mecanismos na plataforma de corte**. *Pubvet*, v. 13, p. 1–6, 1 fev. 2019.

INAMASU, R. Y.; BERNARDI A. C. de C. Agricultura de Precisão. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 21-33.

JACTO. **Confira as principais novidades em relação ao piloto automático!** Disponível em: <<https://blog.jacto.com.br/piloto-automatgico/>>. Acesso em: 30 abr. 2023.

JENSEN, Martin F.; BOCHTIS, Dionysis; SØRENSEN, Claus G. **Coverage planning for capacitated field operations, part II: Optimisation**. *Biosystems Engineering*, v. 139, p. 149-164, 2015.

JIM, A. S. **Identificação e caracterização espectral da ferrugem (*Austropuccinia psidii*) do eucalipto por imagens de alta resolução obtidas de veículos aéreos não tripulados (vant) e em laboratório (espectroradiômetro)**. 103f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal), Universidade Estadual Paulista – UNESP, Botucatu, 2018.

JIN, S.; WANG, Q.; DARDANELLI, G. **A Review on Multi-GNSS for Earth Observation and Emerging Applications**. *Remote Sensing*, v. 14, n. 16, p. 3930, jan. 2022.

JORGE, L. A. DE C.; INAMASU, R. Y. **Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão**. [s.l.] In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 109-134., 2014.

KAPLAN, E. D.; HEGARTY, C. **Understanding GPS/GNSS: Principles and Applications**, Third Edition. Boston, USA. 3. ed. Artech House, 2017.

KHAREL, T. et al. **Tractor guidance improves production efficiency by reducing overlaps and gaps.** *Agricultural & Environmental Letters*, v.5. 2020.

KUX, H. J. H.; OLIVEIRA, L. T. DE; NOGUEIRA, F. DA C. **Análise De Exatidão Posicional De Ortomosaicos Gerados A Partir De Dados Termais A Bordo De Vant.** In: *Anais Do Xix Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 2019, Santos. Anais eletrônicos.* São José dos Campos, INPE, 2019. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/analise-de-exatidao-posicional-de-ortomosaicos-gerados-a-partir-de-dados-termais-a-bordo-de-vant?lang=pt-br>> Acesso: 2023.

LEMES, L. M.; COMPAGNON, A. M.; PEREIRA FILHO, W. J.; FRANCO, F. J. B.; FREITAS, K. R. de S.; CINTRA, P. H. M. **Quality evaluation of semi-mechanized sugarcane planting with statistical process control.** *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 10, n. 5, p. e10710513962, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i5.13962. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/13962>. Acesso em: 1 mar. 2023.

LIMA, T. C. B. et al. **Equipamento microprocessado para geração de sinal de correção diferencial, em tempo real, para GPS.** *Engenharia Agrícola*, v. 26, n. 2, p. 537–545, ago. 2006.

MACHADO, E. G. G. **Restituição de linhas de plantio de cana-de-açúcar com erros de paralelismo para colheita georreferenciada.** TCC (Bacharelado em Agronomia) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina, PE, 14 f., 2020.

MAGNO JÚNIOR, R. G. **Evaluation of tillage systems for carrots (*Daucus carota L.*), aiming mechanical harvest.** 2012. 85 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

MOURA, M. S. B. de, T. G. F. SILVA, e J. M. SOARES. **Análise Da Precipitação E Do Número De Dias De Chuva Em Juazeiro, Bahia.** Repositório Institucional da EMBRAPA. Juazeiro, Bahia, 2005.

MANTOVANI, E. et al. **Agricultura de precisão no contexto do sistema de produção: lucratividade e sustentabilidade.** *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, 209. Sete Lagoas. Embrapa Milho e Sorgo, 2020.

MARIN, F. R. et al. **Intensificação sustentável da agricultura brasileira: cenários para 2050.** *Revista de Política Agrícola*, v. 25, n. 3, p. 108–124, 29 dez. 2016.

MENEZES, R. R. V. **Análise do GNSS PPP multi-constelações com uso dos sistemas GPS, GLONASS e GALILEO.** 2019. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2019.

MENTGES, M. I. et al. **Alterações estruturais e mecânicas de solo de várzea cultivado com arroz irrigado por inundação.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, p. 221–231, fev. 2013.

MICHELETTI, J. A. **Localização e Rastreamento 3D usando Comunicação sem Fio**

LoRa. 2021. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia elétrica) Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2021.

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

MONTANHA, GUSTAVO KIMURA ET AL. **Consumo de combustível de um trator agrícola no preparo do solo para a cultura do algodão irrigado em função da pressão de inflação nos pneus.** Energia na Agricultura, p. 39-51, 2011.

MONTANHA, Gustavo Kimura. **Avaliação do consumo energético no preparo de solo para a cultura do algodão irrigado.** 2010. vii, 77 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu, 2010.

NILSSON, R. S.; ZHOU, K. **Decision Support Tool for Operational Planning of Field Operations.** Agronomy, v. 10, n. 2, p. 229, fev. 2020.

NØRREMARK, MICHAEL; NILSSON, RENÉ SØNDERGAARD; SØRENSEN, CLAUS AAGE GRØN. **In-field route planning optimisation and performance indicators of grain harvest operations.** Agronomy, v. 12, n. 5, p. 1151, 2022.

OLIVEIRA, T. C. A.; MOLIN, J. P. **Uso de piloto automático na implantação de pomares de citros.** Engenharia Agrícola, v. 31, p. 334–342, abr. 2011.

PEREIRA, J.T.; OLIVEIRA, J.A.; SORTE, J.D.; KOCHER, M. **Otimização do caminho de colheitadeiras de grãos em linha em padrões de cabeceira.** Computação. Elétron. Agric. 2020, 171, 105295.

PEREIRA, R.; TEDESCO, D.; LOUREIRO, A. **Novas Tecnologias Da Engenharia Para Aproveitamento Do Amendoim,** A. e. A. d. J., 2019.

PESSI, D. et al. **Estimando a Altura de Gramíneas Invasoras com Imagens de Um Veículo Aéreo Não Tripulado no Cerrado Brasileiro:** Precisão do Sistema Global de Navegação por Satélite do Phantom 4. Revista de Geociências do Nordeste, v. 7, p. 140–152, 2021.

PISON, G. **World population: 8 billion today, how many tomorrow?** Population Societies, v. 604, n. 9, p. 1–4, 19 out. 2022.

PRECISIONS GEOSYSTEMS, 2023. Disponível em:<Trimble R8 Modelo 3 GPS / GNSS Receiver w / TSC2 Coletor de Dados | Precision Geosystems, Inc. (precision-geosystems.com)>. Acesso em: 7 de dezembro de 2023.

PREVE, M. B. **Utilização de drones para identificação de falhas no plantio.** 2021. 51 F. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2021.

PUSCH, M. **Compactação do solo e produtividade da soja em sistemas de preparo.** 2018. 21 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2018.

RIZOS, Chris. **Alternativas aos atuais serviços GPS-RTK e algumas implicações para a infraestrutura e operações do CORS.** Soluções GPS , v. 11, p. 151-158, 2007.

RODIAS, E. et al. **Energy Savings from Optimised In-Field Route Planning for Agricultural Machinery.** Sustainability, v. 9, p. 1956, 27 out. 2017.

SÁ, J. M. E et al. **Balanco energético da produção de grãos, carne e biocombustíveis em sistemas especializados e mistos.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 48, n. 10, p. 1323–1331, out. 2013.

SANTINATO, F. et al. **Análise econômica da colheita mecanizada do café utilizando repetidas operações da colhedora.** Coffee Science, Lavras, v. 10, n. 3, p. 402-411, jul./set. 2015.

SANTOS, **Alexsandro Oliveira et al. AGRICULTURA 4.0.** VI SIMTEC – Simpósio de Tecnologia – Faculdade de Tecnologia de Taquaritinga. 2019.

SAPUCCI, L. F. et al. **Impacto de perfis de rádio ocultação GNSS na qualidade das Previsões de tempo do CPTEC/INPE.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 29, p. 551–567, dez. 2014.

SHOCKLEY, J. M.; DILLON, C. R.; SHEARER, S. A. **Cost savings for multiple inputs with swath control and auto guidance technologies.** Em: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE. Denver: 2008.

SILVA, C. B.; Moraes, M.A.F.D.; Molin, J.P. **Adoption and use of precision agriculture technologies in the sugarcane industry of São Paulo state, Brazil.** Precision. Agriculture, p.1-15, 2010.

SILVA, F. C. DE S. **Avaliações para estudo de viabilidade de implantação de tecnologias de auto-direcionamento em operações mecanizadas em uma usina de cana-de-açúcar.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2010.

SILVA, J. C. et al. **Análise comparativa entre os sistemas de preparo do solo: aspectos técnicos e econômicos.** Enciclopedia Biosfera, v. 7, n. 12, 2011.

SILVA, J. M. P.; CAVICHIOLI, F. A. **O uso da agricultura 4.0 como perspectiva do aumento da produtividade no campo.** Revista Interface Tecnológica, v. 17, n. 2, p. 616–629, 18 dez. 2020.

SILVA, R. P. DA; BARICELO, L. G.; VIAN, C. E. DE F. **Estoque brasileiro de tratores agrícolas: evolução e estimativas de 1960 a 2016.** Revista de Economia Agrícola, v. 62, n. 2, p. 21–35, 2015.

SOARES, F. Q. **Utilização de drones para preservação da biodiversidade do Cerrado no Jardim Botânico de Brasília.** 2018. 61f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica), Universidade de Brasília – UNB, Brasília, 2018.

TOTH, Paolo; VIGO, Daniele (Ed.). **The vehicle routing problem**. Society for Industrial and Applied Mathematics, 2002.

VALICHESKI, R. R. et al. **Desenvolvimento de plantas de cobertura e produtividade da soja conforme atributos físicos em solo compactado**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 16, p. 969–977, set. 2012.

VILLA-HENRIKSEN, ANDRÉS. **Implementation and applications of harvest fleet route planning**. Industrial Ph.D. Aarhus University Dept. of Electrical and Computer Engineering & Agro Intelligence Ap. Aarhus, Dinamarca. Jul. 2021.

WEZEL, A. et al. **Agroecological practices for sustainable agriculture**. A review. Agronomy for Sustainable Development, v. 34, n. 1, p. 1–20, 1 jan. 2014.