

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

Pedro Henrique Gomes Borges Soares¹, Esmeraldo Dias da Silva¹, Bruno Gabriel Amorim Barros², Flávio José Vieira de Oliveira³

¹ Graduados em Engenharia Agrônômica pela Universidade do Estado da Bahia, Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais, Campus III, Juazeiro – BA.

² Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Horticultura Irrigada pela Universidade do Estado da Bahia, Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais, Campus III, Juazeiro - BA.

³ Professor da área de Mecanização Agrícola do curso de Engenharia Agrônômica da Universidade do Estado da Bahia, Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais, Campus III, Juazeiro – BA.

E-mail: brunoamorimagro1@gmail.com

Recebido em: 15/05/2024 – Aprovado em: 15/06/2024 – Publicado em: 30/06/2024

DOI: 10.18677/EnciBio_2024B5

RESUMO

As tecnologias de agricultura de precisão têm desempenhado uma função essencial no quesito eficiência dos cultivos agrícolas, uma vez que facilita a adoção de tecnologia, aprimorando o desempenho das operações mecânicas, reduzindo custos, bem como minimizando impactos ambientais. Métodos como GNSS, piloto automático e *softwares* avançados em cartografia têm gerado benefícios para o agronegócio, especialmente na automação de maquinários. Levando em consideração os impactos causados pelas operações de preparo de solo, o uso de projetos com linhas georreferenciadas, têm se tornado uma alternativa mais eficiente e econômica para diversos agricultores. Dessa forma, esse trabalho tem por objetivo avaliar e quantificar os ganhos de produtividade e economia de combustível em operações de preparo de solo que utilizam projetos de linhas georreferenciadas. O experimento foi realizado na Usina Sucroalcooleira Agroindústrias do Vale do São Francisco – AGROVALE, coletando dados referentes nos anos de 2018 à 2021. Tendo em vista, nossos resultados demonstraram que o uso da tecnologia de precisão foi responsável por aumentar de forma significativa o rendimento em horas/hectare em até 47,28%, resultando em economia de combustível de até 22,77% quando comparado as áreas que não adotavam linhas georreferenciadas. Portanto, o uso de tecnologias oriundas da agricultura 4.0 podem ser uma excelente alternativa para proporcionar cultivos mais sustentáveis e econômicos aos agricultores.

PALAVRAS-CHAVE: GNSS; Preparo de solo; Planejamento de rotas.

EVALUATION OF YIELD GAINS IN SOIL PREPARATION WITH THE USE OF GEOREFERENCED LINES

ABSTRACT

Precision agriculture technologies have played an essential role in the efficiency of agricultural crops, as they facilitate the adoption of technology, improving the performance of mechanical operations, reducing costs, as well as minimizing environmental impacts. Methods such as GNSS, autopilot and advanced cartography software have generated benefits for agribusiness, especially in the automation of machinery. Taking into account the impacts caused by soil preparation operations, the use of projects with georeferenced lines has become a more efficient and economical alternative for many farmers. Therefore, this work aims to evaluate and quantify productivity gains and fuel savings in soil preparation operations that use georeferenced line projects. The experiment was carried out at the Usina Sucroalcooleira Agroindústrias do Vale do São Francisco – AGROVALE, collecting data for the years 2018 to 2021. In view of this, our results demonstrated that the use of precision technology was responsible for significantly increasing the yield in hours/hectare by up to 47.28%, resulting in fuel savings of up to 22.77% when compared to areas that did not adopt georeferenced lines. Therefore, the use of technologies from agriculture 4.0 can be an excellent alternative to provide more sustainable and economical crops to farmers.

KEYWORDS: GNSS; Soil Tillage; Route planning.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o setor agrícola tem priorizado o desenvolvimento e implementação de novas tecnologias. Essas práticas não visam apenas manter os produtores competitivos em um mercado globalizado, como também atende as necessidades da crescente demanda de alimentos, impulsionada pelo aumento da população (SILVA; CAVICHIOLI, 2020).

Desde o início do século 20, o crescimento em massa da população tem sido uma preocupação global. Segundo a Organização das Nações Unidas – ONU, o número populacional de habitantes deve atingir uma marca de 10 bilhões de pessoas até o final deste século (PISON, 2022). Dessa forma, para evitar a escassez global de alimentos, fibra e energia, será necessário aumentar a produção agrícola em até 60% (MARIN *et al.*, 2016). Tendo em vista, é crucial que essa melhoria na produtividade agrícola, seja sustentável, dado os cenários futuros de mudanças climáticas e crises ambientais.

Dentro desse contexto, ferramentas como a agricultura de precisão emerge como uma protagonista, oferecendo soluções inovadoras para aumentar a eficiência dos cultivos nas lavouras, diminuindo os impactos ambientais decorrentes do processo produtivo (BALAFOUTIS *et al.*, 2017; MANTOVANI *et al.*, 2020).

Segundo Inamasu e Bernardi (2014), a disponibilização civil do sinal GPS pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos em 1995 viabilizou a integração da tecnologia de armazenamento de dados georreferenciados no maquinário agrícola. Esse acontecimento foi responsável por formular equipamentos como colheitadeiras, capazes de mapear a produção, marcando em 1996, o início do interesse do setor agropecuário pelas geotecnologias.

O uso das tecnologias de agricultura de precisão que se baseiam em dados georreferenciados têm sido objeto de estudo constante para o aprimoramento da aplicação em diversas atividades agrícolas mecanizadas, como plantio (LEMES *et*

al., 2021), colheita (HOLTZ *et al.*, 2019), aplicação de insumos e preparo de solo (AMORIM *et al.*, 2019), destacando a relevância da tecnologia de piloto automático e do planejamento de rotas de trabalho.

O sistema de piloto automático refere-se a um sistema de autorização destinado à condução operacional. Quando instalado em equipamentos agrícolas, ele automatiza as manobras durante as operações, ajustando o percurso dos maquinários com base em sinais dos Sistemas Globais de Navegação por Satélite - GNSS, seguindo rotas previamente estabelecidas por meio de *softwares* (JACTO, 2022).

O consórcio do planejamento de rotas com linhas georreferenciadas e emprego do piloto automático asseguram a consistência e visualização panorâmica das áreas de cultivo e produção como pastagens. Essa abordagem, permite uma redução significativa do consumo de combustível, tempo de operação e insumos, além de minimizar falhas e sobreposições indesejadas. Além disso, viabiliza a realização de operações durante a noite, ao mesmo tempo em que proporciona maior conforto ao operador (BAIO; MORATELLI, 2011; SILVA *et al.*, 2011; KHAREL *et al.*, 2020).

As operações de preparo de solo apresentam um potencial significativo para aproveitar essa tecnologia, não apenas devido à necessidade de cobrir completamente o campo em várias passagens, mas também pelo fato de que, embora sejam essenciais para melhorar as características do solo, geralmente são bastante dispendiosas. Além disso, elas representam uma parcela substancial dos custos totais durante os ciclos produtivos (SÁ *et al.*, 2013), especialmente nas grandes culturas como soja e cana-de-açúcar que são plantadas em áreas extensas (CARVALHO *et al.*, 2011).

Dessa forma, o presente trabalho tem por objetivo 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.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área experimental

As operações de preparo de solo foram conduzidas nos campos pertencentes à Usina Sucroalcooleira Agroindústrias do Vale do São Francisco S/A - AGROVALE S/A, localizada no município de Juazeiro - BA. As coordenadas geográficas da região são 9°29'45.42"S e 40°21'42.48"O, sendo esta propriedade situada no Semiárido brasileiro, região pertencente a região Nordeste, caracterizada por possuir irregularidade de precipitações e elevadas temperaturas na maior parte do ano (MOURA, 2005).

A Agrovale S/A é uma agroindústria situada no Submédio do Vale do São Francisco, com foco principal na produção de bioeletricidade, açúcar e etanol oriundos do monocultivo da cana-de-açúcar. A propriedade possui uma extensa área canavieira de aproximadamente 17.846 hectares (dados verificados em 2023), dividida em diferentes setores e campos (Figura 1). As parcelas cultivadas passam por renovações periódicas com operações de preparo de solo, visando manter altas produtividades.

As variedades de cana-de-açúcar predominantes no plantio são a VAT-90212 e RB-961003, correspondendo a 95% da área cultivada. O método de irrigação utilizado inclui gotejamento subterrâneo e por sulco, por meio de canais e politubos.

FIGURA 1. Representação cartográfica do município de Juazeiro – BA, destacando a localização exata da empresa Agrovale e percentual de sua área plantada.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Os solos encontrados nas áreas com presença de plantio consistem principalmente em argilosos, pertencentes a classes de Vertissolos Háplicos, Cambissolos Vérticos e Cambissolos Háplicos Eutróficos, distribuídos de forma irregular por toda a extensão territorial da agroindústria.

Segundo Amaral *et al.*, (2007), em levantamento para a classificação da irrigabilidade das terras, foram identificadas diversas limitações potenciais para os solos das regiões próximas, destacando-se a baixa capacidade de drenagem, a presença ou risco de ocorrência de processos de salinidade e sodicidade, áreas com pedregosidade significativa e pouca profundidade efetiva do solo.

Para a execução do trabalho, procurou-se utilizar, sempre que possível, dados de campo com características semelhantes, visando garantir maior homogeneidade e confiabilidade nos resultados. Em geral, foram selecionadas parcelas como solos classificados como Vertissolos Háplicos, que apresentam características físicas de drenagem limitada, boa fertilidade, relevo suave e baixa a moderada pedregosidade.

Conjunto: máquina/implemento

As operações de subsolagem foram empregadas dois tratores de esteira da marca *Caterpillar*, modelo D6T XL, equipados com sistema de autodirecionamento hidráulico. O implemento utilizado para a subsolagem foi o ríper de porta-pontas múltiplos original do trator, equipado com três dentes.

Obtenção de dados e construção do projeto de linhas

A obtenção de pontos e levantamento planialtimétrico da área, foram empregados por meio de um *Kit RTK Trimble R8 Model 3G* e um drone *DJI Mavic 2 Pro*.

No escritório, foi configurado o plano de voo do drone para a realização da aerofotogrametria, utilizando o *software DroneDeploy*. As configurações incluíram uma altura de voo de 80 metros com sobreposição lateral e longitudinal de 75% e 80%, e uma resolução do GSD de 1,5 cm por pixel.

Em campo, uma série de pontos de controle, marcados com gesso agrícola, teve suas coordenadas de centro registradas por meio de um receptor *RTK Trimble*. O número de pontos de controle variou de 6 à 8, dependendo do tamanho e formato do campo. Após a distribuição adequada dos pontos de controle georreferenciados, a equipe de topografia avançou com o levantamento aerofotogramétrico. As imagens capturadas foram então enviadas para o escritório para serem processadas através do geoprocessamento.

O processamento das imagens foi realizado com o *software Agisoft PhotoScan Professional*, resultando em um ortomosaico georreferenciado do campo. A partir desse ortomosaico, o projeto de linhas para a subsolagem foi elaborado com o software de desenho técnico AutoCAD Civil 3D e sua extensão específica para projetos agrícolas, *AgroCad*.

O espaçamento de preparo de solo foi ajustado para 4,5 metros entre passadas e 1,50 metros entre dentes, visando maximizar o tempo e a área de operação. O projeto de linhas foi convertido em um arquivo *Shapefile*, que foi então transferido para os tratores e utilizado como guia para a execução do preparo de solo.

Operações de subsolagem

As operações de subsolagem foram conduzidas nos cultivos realizados entre os anos de 2018 à 2021. Devido às características edafoclimáticas da região, as datas de início e término da safra da empresa permaneceram relativamente consistentes ao longo desses anos, geralmente começando no início de maio e encerrando nas primeiras semanas de novembro, para evitar o período chuvoso e facilitar o tráfego das máquinas no campo.

O preparo do solo para a renovação dos canaviais ocorre logo após a colheita, sendo que a decisão de renovar o campo é baseada na média de produtividade alcançada nas últimas colheitas. A empresa segue uma série de etapas, começando na subsolagem, seguida por gradagem pesada, sistematização do terreno para reduzir a ocorrência de microbacias, gradagem leve, operação com enxada rotativa e, por fim, sulcamento, tornando a área pronta para adubação e plantio da cana-de-açúcar.

No entanto, é importante destacar que na propriedade, as subsolagens são realizadas apenas em campos com presença de irrigação do tipo gotejamento subterrâneo ou em transição para esse sistema. Isso ocorre, devido ao alto custo dessas operações, não justificando economicamente sua realização em campos irrigados por superfície, que geralmente têm produtividades mais baixas.

As operações de subsolagem foram executadas por dois tratores de esteira do modelo Caterpillar D6T XL, utilizando o ríper de porta-pontas múltiplos original do trator com três dentes, a uma profundidade de aproximadamente 40 centímetros. A barra do ríper dos tratores D6T tem 2,20 metros de comprimento, e o espaçamento entre as passadas foi de 4,50 metros para maximizar a eficiência das operações de subsolagem.

As correções de coordenadas durante o preparo do 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 com base na relação entre a área de solo preparado por hora e o tempo total utilizado durante a operação (FARIAS, 2018), utilizando a seguinte fórmula matemática:

$$RO = AT / T$$

Onde:

Ro = Rendimento Operacional (hrs/ha)

AT= Área total Trabalhada (há^{-1})

T = Tempo total trabalhado (h^{-1})

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

$$RC = T / CC$$

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 e todas as operações realizadas foram acompanhadas por responsável técnico da empresa, vinculado ao setor de geoprocessamento e cartografia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Rendimento de hora/hectare

Para a variável rendimento em horas/hectare, foi notado um ganho expressivo no desempenho das operações de subsolagem, a partir da utilização dos projetos com linhas georreferenciados na condução das atividades. O confronto 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 $2,92 \text{ h/há}^{-1}$ e $1,86 \text{ h/ha}^{-1}$ respectivamente, mostrando um ganho de performance e produtividade em campo de aproximadamente 37% (Tabela 1).

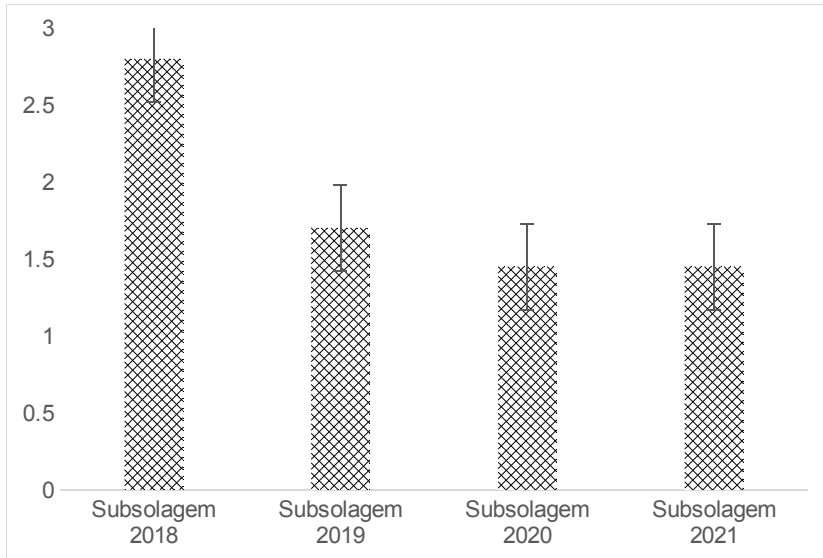
TABELA 1: Valores de horas/hectare de operações de subsolagens avaliadas nos anos de 2018, 2019, 2020 e 2021, com e sem o uso de projeto de linhas georreferenciadas.

Áreas experimentais	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
Média	2,92 c	1,86 b	1,41 a	1,45 a

Letras iguais não se diferenciam entre si (a), ao contrário das diferentes (b e c) que possuem resultados significativos pela comparação de médias.
Fonte: Elaborada pelos autores (2024)

Em 2020, a tecnologia continuou a ser utilizada em todas as operações de subsolagem, havendo uma melhoria considerável, atingindo uma média de 1,41 h/há⁻¹, representando rendimento de 25% 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 se diferenciando estatisticamente do ano anterior (Figura 2).

FIGURA 2. Representação gráfica das médias de horas/hectare das operações de subsolagem na empresa AGROVALE avaliadas nos anos de 2018, 2019, 2020 e 2021.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Pode-se inferir que a adoção do projeto de linhas georreferenciadas durante as operações de preparo de solo, contribui de forma positiva para aprimorar o rendimento dessas atividades. Isso ocorre, devido à redução da distância percorrida durante o trabalho e a diminuição do tempo ocioso dos operadores. A literatura aborda relatos que evidenciam significativos ganhos de rendimento por hora trabalhada, bem como redução na distância percorrida e no tempo de inatividade durante operações mecanizadas.

Edwards *et al.*, (2017) obtiveram resultados favoráveis ao comparar as distâncias percorridas e a intensidade do tráfego durante as operações de roçada, conduzidas por um operador profissional em comparação com o uso de uma ferramenta de otimização de rotas conhecidas como ORP – *Infield Route Planner*. Nos doze campos roçados (com excessão de dois da área menor), o operador percorreu distâncias mais longas do que a ferramenta ORP, com uma diferença máxima de 18,4%. Houve uma redução total de 9,2 km (7,5%) nos deslocamentos percorridos. Além disso, foi possível observar diminuição da intensidade do tráfego na área, indicando que a tecnologia foi benéfica para reduzir a compactação do solo causada pelo maquinário agrícola.

Bochtis *et al.*, (2013) encontraram através de uma abordagem algorítmica para otimização de trajeto e manobras, com foco principal na redução da distância total não trabalhada, foi experimentalmente demonstrada uma diminuição de até 50% no percurso das máquinas agrícolas, dependendo das operações realizadas. Os mesmos autores, utilizando uma outra abordagem baseada em padrões de trilhas (Padrões B) calculadas por um algoritmo para garantir a cobertura completa do campo pelas máquinas, evidenciaram reduções na distância não trabalhada de até 58,65% e aumentos na capacidade da área, isto é, o rendimento de área em relação ao tempo, de até 19,23%, quando comparado aos padrões de trabalho convencional.

Rodias *et al.*, (2017), obtiveram resultados significativos na melhoria de rendimento de operação calculada em minutos/há⁻¹, onde, nas 110 operações realizadas (55 otimizadas e 55 não otimizadas) as operações otimizadas conseguiram obter médias superiores de min/há⁻¹ às 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, conseguiram otimizar o rendimento espacial de 3 campos entre 13,8% e 31,5%. A melhoria de rendimento se deve principalmente pela redução do tempo não laboral durante as operações.

Jensen *et al.*, (2015), por meio de uma algorítmica, conseguiram 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%.

Consumo de combustível (L/h⁻¹)

Para a variável consumo de combustível, foram utilizados dados de subsolagens realizadas nos anos de 2018, 2019 e 2020, com exceção ao ano de

2021. 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, 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 (Tabela 2).

TABELA 3. Consumo de combustível em Litros/h⁻¹ 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: Elaborado pelos autores (2024).

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⁻¹ e 27,51 L/h⁻¹ 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⁻¹, sendo um pouco superior à média de 2019.

Resultados semelhantes foram encontrados em Rodias *et al.*, (2017), que demonstraram economia de combustível em operações mecanizadas submetidas a rotas de trabalho otimizadas. O estudo teve foco em operações de aração, gradagem, plantio, adubação, roçagem e colheita mecanizadas em campos com diferentes formatos geométrico e 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.

Norremark *et al.*, (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%.

Infere-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/há⁻¹, 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, profundidade efetiva do solo pode 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.

CONCLUSÃO

O uso de projeto com linhas georreferenciadas foi capaz de proporcionar maior rendimento nas operações de subsolagem, bem como proporcionar economia no consumo de combustível em operações agrícolas na empresa AGROVALE.

REFERÊNCIAS

AMARAL, F. C. S. do; CARVALHO JUNIOR, W. de; NAIME, U. J.; SILVA, E. F. Da; OLIVEIRA NETO.; *et al.*, **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.; CHIODEROLI, C.; NASCIMENTO, E.M.S.; SILVEIRA, W.M.; COSTA, R.G.; *et al.*, Qualidade da semeadura do arroz em função do preparo do solo e velocidade operacional do conjunto mecanizado. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 11, p. 26969–26982, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.34117/bjdv5n11-316>>. doi: 10.34117/bjdv5n11-316

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. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-69162011000200017>> doi: 10.1590/S0100-69162011000200017

BALAFOUTIS, A.; BECK, B.; FONTES, S., VANGEYTE, J.; WAL, D.V.T.; *et al.*, Precision agriculture technologies positively contributing to ghg emissions mitigation, farm productivity and economics. **Sustainability**, v. 9, n. 8, p. 1339, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su9081339>> doi: 10.3390/su9081339.

BOCHTIS, D. D.; SORENSEN, C.; BUSATO, P.; BERRUTO, R. Benefits from optimal route planning based on B-patterns', **Biosystems Engineering**. IAgRE, 115(4), pp. 389–395, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.04.006>>. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2013.04.006

CARVALHO, L. A.; SILVA, C.A.; NUNES, W.A.G.; MEURER, I.; JR, S.W. 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. Disponível em: <<https://doi.org/10.19084/rca.15942>> doi: 10.19084/rca.15942.

EDWARDS, G. T. C.; DOBRADIÇA, J.; NILSEN-SKOU, N.; HENRIKSEN-VILLA, A.; SOERENSEN, C.A.; *et al.*, Route Planning Evaluation of a Prototype Optimised Infield Route Planner for Neutral Material Flow Agricultural Operations, **Biosystems**

Engineering, 153, pp. 149–157, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.10.007>>doi: 10.1016/j.biosystemseng.2016.10.007

EVANS IV, JOHN T.; PITLA, S.; SORTE, J.; KOCHER, M. Row crop grain harvester path optimization in headland patterns. **Computers and electronics in agriculture**, v. 171, p. 105295, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105295>>doi: 10.1016/j.compag.2020.105295

FARIAS, M.; SCHLOSSER, J.; MARTINI, A.T.; BERTOLLO, G.M.; ALVEZ, J.V. Desempenho operacional e energético de um trator agrícola durante operação de gradagem. **Tecno-Lógica**, v. 22, n. 2, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.17058/tecnolog.v22i2.12125>> doi: 10.17058/tecnolog.v22i2.12125.

HOLTZ, V.; GRELLMANN, H.; AZEVEDO, R.O.; KOESTER, G.B.; JARDIM, C.C.; *et al.*, Perdas na colheita mecanizada de soja utilizando diferentes mecanismos na plataforma de corte. **Pubvet**, v. 13, p. 1–6, 2019 Disponível em: <<https://doi.org/10.31533/pubvet.v13n2a261.1-6>> doi: 10.31533/pubvet.v13n2a261.1-6

INAMASU, R. Y.; BERNARDI A. 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!** 2022. Disponível em: <<https://blog.jacto.com.br/piloto-automatiko/>>. Acesso em: 30 abr. 2023.

JENSEN, M.F.; BOCHTIS, D.; SORENSSEN, C.G. Coverage planning for capacitated field operations, part II: Optimisation. **Biosystems Engineering**, v. 139, p. 149-164, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.07.002>> 10.1016/j.biosystemseng.2015.07.002

LEMES, L. M.; COMPAGNON, A. M.; PEREIRA FILHO.; FRANCO, F.J.; FREITAS, K.R.; *et al.*, Quality evaluation of semi-mechanized sugarcane planting with statistical process control. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p. e10710513962, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.33448/rsd-v10i5.13962>> doi: 10.33448/rsd-v10i5.13962

KHAREL, T.; ASHWORTH, A.; SHOW, A.; POPP, M.; OWENS, P. Tractor guidance improves production efficiency by reducing overlaps and gaps. **Agricultural & Environmental Letters**, v.5. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/ael2.20012>> doi: 10.1002/ael2.20012.

MANTOVANI, E.; MIRANDA, R.A.; LANDAU, E.; PASSOS, A.M.A.; **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.; PILAU, F.G.; HUMBERTO, F.S.; SPOLADOR, R.O.; PEDREIRA, C.G.S. Intensificação sustentável da agricultura brasileira: cenários para 2050. **Revista de Política Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 108–124, 2016.

MONTANHA, G.K.; GUERRA, S.P.; SANCHEZ, P.A.; CAMPOS, F.H.; LANÇAS, K.P. 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. **Revista Energia na Agricultura**, v. 26, p. 39-51, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2011v26n1p39-51>> 10.17224/EnergAgric.2011v26n1p39-51

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

NORREMARK, M.; NILSSON, R.S.; SOERENSEN, C.A.G. In-field route planning optimisation and performance indicators of grain harvest operations. **Agronomy**, v. 12, n. 5, p. 1151, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/agronomy12051151>> doi: 10.3390/agronomy12051151.

PISON, G. World population: 8 billion today, how many tomorrow? **Population Societies**, v. 604, n. 9, p. 1–4, 19 out. 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.3917/popsoc.604.0001>> doi: 10.3917/popsoc.604.0001

RODIAS, E.; BERRUTO, R.; BUSATO P.; BOCHTIS, D.; SOERENSEN, C.G.; *et al.*, Energy Savings from Optimised In-Field Route Planning for Agricultural Machinery. **Sustainability**, v. 9, p. 1956, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su9111956>> doi: 10.3390/su9111956.

SÁ, J. M. E.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C.P.; SOARES, L.H.; ALVES, B.J.; *et al.*, Balanço energético da produção de grãos, carne e biocombustíveis em sistemas especializados e mistos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 10, p. 1323–1331, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013001000003>> doi: 10.1590/S0100-204X2013001000003.

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**, v.12, p.1-15, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11119-009-9155-8>> doi: 10.1007/s11119-009-9155-8.

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, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.31510/infa.v20i2.1740>> doi: 10.31510/infa.v20i2.1740.