

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA –UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DESEMPENHO OPERACIONAL DE UM TRATOR 4X2 TDA NA  
PULVERIZAÇÃO DE CITRUS**

**Discente: Enzo Henrique Baumann Palocci**

**Orientador: Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva**

**Coorientador: MSc. Breno dos Santos Silva**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA –UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DESEMPENHO OPERACIONAL DE UM TRATOR 4X2 TDA NA  
PULVERIZAÇÃO DE CITRUS**

**Discente: Enzo Henrique Baumann Palocci**

**Orientador: Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva**

**Coorientador: MSc. Breno dos Santos Silva**

Trabalho de conclusão de curso apresentada à  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias –  
Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das  
exigências para a obtenção do título de Engenheiro  
Agrônomo

P181d Palocci, Enzo Henrique Baumann  
Desempenho operacional de um trator 4x2 TDA na pulverização de citrus / Enzo Henrique Baumann Palocci. -- Jaboticabal, 2025  
36 f. : il., tabs., fotos, mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal  
Orientador: Rouverson Pereira da Silva  
Coorientador: Breno dos Santos Silva

1. Mecanização agrícola. 2. Pulverização. 3. Citricultura. I. Título.

ENZO HENRIQUE BAUMANN PALOCCI

DESEMPENHO OPERACIONAL DE UM TRATOR 4X2 TDA NA  
PULVERIZAÇÃO DE CITRUS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientador: Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva

Coorientador: MSc. Breno dos Santos Silva

Área de Concentração: Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola

Data da defesa: 31 / 10 / 2025

(X) Aprovado

( ) Reprovado

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente  
ROUVERSON PEREIRA DA SILVA  
Data: 07/11/2025 08:18:56-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva

UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal



Documento assinado digitalmente  
LUIZ ALBERTO ROCHA RODRIGUES JUNIOR  
Data: 06/11/2025 09:29:39-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Luis Alberto Rocha Rodrigues Junior

UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal



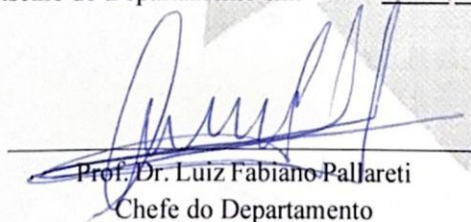
Documento assinado digitalmente  
THIAGO CAIO MOURA OLIVEIRA  
Data: 05/11/2025 21:06:11-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Thiago Caio Moura Oliveira

UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em:

12 / 11 / 2025 *\*ad referendum*



Prof. Dr. Luiz Fabiano Pallareti  
Chefe do Departamento

## DEDICATÓRIA

A Deus, por me permitir vencer mais uma batalha na vida. Aos meus pais e minha irmã, que sempre estiveram ao meu lado e acreditaram em minha capacidade, independentemente das adversidades. Aos familiares que fizeram parte da minha jornada. Ao meu Orientador e meu Coorientador, por toda ajuda e conhecimentos passados.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por me dar todas as ferramentas necessárias para ser a pessoa que sou hoje e por todas as oportunidades.

Meu pai Angelo, que durante minha vida foi meu exemplo em esforço, dedicação e honestidade, além de ser meu mentor e professor de vida.

Minha mãe Ana Paula, por ter me ensinado o que é amar o próximo, bem como ter cuidado e carinho por aqueles que você ama e é amado e por todas lições passadas.

Minha irmã Paolla, que mesmo mais nova, me ensinou muito mais do que ela possa imaginar.

A minha tia Andrea, por me ensinar que durante a vida, a fé e a paciência não devem ser perdidas jamais.

Agradeço a todos os meus amigos da minha graduação, em especial aqueles que moraram comigo, Alexandre Barros, Gustavo Carneiro, Hugo Toscano, Inácio Rogatto, Isaac Petersen, Mário Martins, Pablo Lima e Pedro Parreira. Por todas as risadas, aprendizados e felicidades que tivemos juntos.

A minha namorada Cléo, que durante minha jornada, acreditou em meu potencial e sempre esteve ao meu lado.

Aos meus amigos e colegas do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA) por toda ajuda, aprendizados e oportunidades que me foram apresentadas. Em especial ao Paulo Cardoso, Igor Cristian, Thiago Caio e ao Lucas Zonfrilli, que me ajudaram e me deram oportunidades para eu me desenvolver em minha vida acadêmica.

Ao Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva, que a todo momento me ajudou e me transmitiu seus conhecimentos em minha jornada durante a graduação. Seja durante as aulas, estágios ou durante a elaboração do meu trabalho de conclusão de curso.

Ao MSc. Breno dos Santos Silva, que foi meu braço direito durante a elaboração do meu trabalho de conclusão de curso, me auxiliando e orientando em tudo que foi pedido, com muita clareza e dedicação.

## Sumário

|                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>RESUMO.....</b>                                               | <b>v</b>  |
| <b>ABSTRACT.....</b>                                             | <b>vi</b> |
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                        | <b>1</b>  |
| <b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>                             | <b>2</b>  |
| <b>2.1 Aspectos da citricultura .....</b>                        | <b>2</b>  |
| <b>2.2 Pulverização.....</b>                                     | <b>3</b>  |
| <b>2.3 Consumo de combustível .....</b>                          | <b>5</b>  |
| <b>2.4 Desempenho operacional na pulverização de citros.....</b> | <b>7</b>  |
| <b>2.5 Controle Estatístico de Processo (CEP).....</b>           | <b>8</b>  |
| <b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>                                 | <b>9</b>  |
| <b>3.1 Caracterização do local de estudo.....</b>                | <b>9</b>  |
| <b>3.2 Delineamento experimental.....</b>                        | <b>11</b> |
| <b>3.3 Características trator e pulverizador .....</b>           | <b>11</b> |
| <b>3.4 Desempenho operacional .....</b>                          | <b>11</b> |
| <b>3.4.1 Consumo horário e operacional de combustível.....</b>   | <b>12</b> |
| <b>3.4.2 Rotação do motor .....</b>                              | <b>14</b> |
| <b>3.4.3 Avanço cinemático.....</b>                              | <b>14</b> |
| <b>3.4.4 Patinagem.....</b>                                      | <b>16</b> |
| <b>3.4.5 Raio e espaço de giro .....</b>                         | <b>17</b> |
| <b>3.5 Análise dos resultados.....</b>                           | <b>20</b> |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                            | <b>20</b> |
| <b>4.1 Consumo horário de combustível .....</b>                  | <b>20</b> |
| <b>4.2 Consumo operacional de combustível .....</b>              | <b>22</b> |
| <b>4.3 Rotação do motor .....</b>                                | <b>24</b> |
| <b>4.4 Avanço cinemático.....</b>                                | <b>25</b> |
| <b>4.5 Patinagem.....</b>                                        | <b>26</b> |
| <b>4.6 Raio e espaço de giro .....</b>                           | <b>28</b> |
| <b>4.7 Estabilidade e variabilidade .....</b>                    | <b>30</b> |
| <b>5 CONCLUSÃO .....</b>                                         | <b>31</b> |
| <b>6 REFERÊNCIAS .....</b>                                       | <b>32</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1</b> - Localização das áreas experimentais.....                              | 10 |
| <b>Figura 2</b> - Nível de declividade das áreas.....                                   | 10 |
| <b>Figura 3</b> – Esquema experimental da operação do trator para coleta de dados.....  | 11 |
| <b>Figura 4</b> - Avançômetro utilizado nas avaliações acoplado do trator avaliado..... | 16 |
| <b>Figura 5</b> - Determinação do ensaio de raio e espaço do diâmetro de giro.....      | 18 |
| <b>Figura 6</b> - Consumo horário de combustível.....                                   | 22 |
| <b>Figura 7</b> - Consumo operacional de combustível.....                               | 23 |
| <b>Figura 8</b> - Rotação do motor.....                                                 | 25 |
| <b>Figura 9</b> - Índice de patinagem.....                                              | 27 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1</b> – Divisão das atividades na pulverização mecanizada..... | 13 |
| <b>Tabela 2</b> – Classificação da faixa de avanço percentual.....       | 16 |
| <b>Tabela 3</b> - Classificação da faixa percentual de patinagem.....    | 17 |
| <b>Tabela 4</b> – Condições operacionais do raio e espaço de giro.....   | 17 |
| <b>Tabela 5</b> – Avaliação índice de raio espaço.....                   | 19 |
| <b>Tabela 6</b> – Avaliação índice de simetria de raio de giro.....      | 19 |
| <b>Tabela 7</b> – Características ponderais de adequação.....            | 26 |
| <b>Tabela 8</b> – Ensaio com trator sem pulverizador.....                | 28 |
| <b>Tabela 9</b> – Ensaio com trator com pulverizador.....                | 29 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|                                           |                                             |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------|
| ANP – Agência Nacional do Petróleo        | L – litro                                   |
| CEP – Controle Estatístico de Processo    | LIC – Limite Inferior de Controle           |
| °C – grau Celsius                         | LSC – Limite Superior de Controle           |
| cv – cavalo-vapor                         | m - metro                                   |
| h – horas                                 | mL - mililitro                              |
| ha – hectares                             | mm – milímetro                              |
| Hz – Hertz                                | rpm – rotação por minuto                    |
| IRE – Índice de raio e espaço             | S10 – diesel com teor de enxofre 10 mg/kg   |
| ISRg – Índice de simetria de raio de giro | S500 – diesel com teor de enxofre 500 mg/kg |
| kg- quilograma                            | TDA – Tração Dianteira Auxiliar             |
| km – quilômetro                           | TDP – Tomada de Potência                    |
| kW - quilowatt                            | V – volt                                    |
|                                           | $\bar{x}$ – média                           |

## DESEMPENHO OPERACIONAL DE UM TRATOR 4X2 TDA NA PULVERIZAÇÃO DE CITRUS

**RESUMO** – A pulverização é um ponto de controle crítico na citricultura, e seu resultado depende do desempenho operacional do trator 4×2 TDA. Ao otimizar parâmetros de operação, elevam-se a eficácia do consumo de combustível e outras variáveis atreladas ao desempenho operacional. Com o presente trabalho buscou-se avaliar o desempenho operacional e a qualidade do processo de pulverização em dois pomares comerciais de laranja. Foi utilizado um trator de 58,8 kW (80 cv), com tração dianteira auxiliar (TDA) e um atomizador agrícola bilateral de 4.000 L, tracionado pela barra de tração (BT) e acionado pela TDP, turbina com 1160 m<sup>3</sup> min<sup>-1</sup> e 170 km h<sup>-1</sup>, 80 bicos e hélice de 16 pás de nylon com ângulo variável. Foi comparado duas velocidades de deslocamento (5 e 7 km h<sup>-1</sup>) e dois modos de utilização da tomada de potência (TDP Normal e TDP Econômica) em dois talhões com características de declividade distintas. Todas variáveis de ensaios mecanizados foram obtidas na fazenda São Carlos propriedade da empresa Citrosuco, situada no município de Nova Europa, SP. Esse estudo, foi monitorado por meio de ferramentas do Controle Estatístico de Processo (CEP), utilizando cartas de controle para variáveis individuais, variáveis essas consideradas como indicadores de qualidade: consumo horário de combustível (L h<sup>-1</sup>), consumo operacional de combustível (L ha<sup>-1</sup>), rotação do motor (rpm), índice de patinagem (%). O avanço cinemático (%) e o raio e espaço de giro foram avaliados por meio dos valores médios obtidos antes dos ensaios de pulverização. As cartas de controle permitiram avaliar de forma contínua o comportamento do processo, identificando possíveis causas especiais e quantificando a variabilidade ao longo do tempo. Com isso, tornou-se possível identificar que para a maioria dos indicadores de qualidade utilizados, a velocidade de 5 km h<sup>-1</sup> com a TDP E se mostrou a mais adequada devido ao seu resultado geral de valores de média, estabilidade e variabilidade durante as operações.

**Palavras-chaves:** Cartas de controle, Citricultura, Causas especiais, Mecanização agrícola, Qualidade do processo.

## OPERATIONAL PERFORMANCE OF A 4X2 TDA TRACTOR IN CITRUS SPRAYING

**ABSTRACT** – Spraying is a critical control point in citrus production, and its outcome depends on the operational performance of the 4×2 front-wheel-assist (FWA) tractor. By optimizing operating parameters, the efficiency of fuel use and other variables linked to operational performance improves. This study aimed to evaluate the operational performance and the quality of the spraying process in two commercial orange orchards. We used an 58.8 kW (80 hp) tractor with front-wheel assist (FWA) coupled to a bi-lateral orchard airblast sprayer with a 4,000-L tank, drawbar-pulled and PTO driven; the sprayer featured a turbine delivering 1,160 m<sup>3</sup> min<sup>-1</sup> of air at 170 km h<sup>-1</sup>, 80 nozzles, and a 16-blade nylon impeller with variable pitch. Two travel speeds (5 and 7 km h<sup>-1</sup>) and two power-take-off (PTO) modes (Standard PTO and Economy PTO) were compared across two plots with distinct slope characteristics. All mechanized operation variables were collected at São Carlos Farm (Citrosuco), in Nova Europa, São Paulo, Brazil. The study was monitored using Statistical Process Control (SPC) tools individual control charts applied to quality indicators: hourly fuel consumption (L h<sup>-1</sup>), operational fuel consumption (L ha<sup>-1</sup>), engine speed (rpm), and wheel slip (%). Kinematic lead (%) and turning radius/headland space were assessed from mean values obtained prior to the spraying trials. The control charts enabled continuous assessment of process behavior, identification of potential special causes, and quantification of variability over time. Based on these analyses, we found that, for most quality indicators, 5 km h<sup>-1</sup> with Economy PTO was the most suitable operating condition, given its overall performance in terms of mean values, stability, and variability during operations.

**Keywords:** Control charts, Citrus farming, Special causes, Agricultural mechanization, Process quality.

## 1 INTRODUÇÃO

O desempenho operacional de tratores resulta do equilíbrio entre a capacidade de entrega de potência na barra de tração e as condições de operação impostas pelo implemento e pelo solo, refletindo-se em indicadores como consumo horário ( $L\ h^{-1}$ ), consumo operacional ( $L\ ha^{-1}$ ), capacidade de campo e custo por área. Além disso, a patinagem deve ser controlada dentro de uma faixa ótima, na qual a transferência de potência e a eficiência de tração são maximizadas, minimizando perdas por escorregamento e impactos negativos sobre a estrutura do solo (ZOZ; GRISSO, 2003).

Nesse sentido, no manejo da citricultura a mecanização é base fundamental para o sucesso da produção, pois a adoção de práticas mecanizadas permite maior precisão nas etapas de plantio, tratos culturais, colheitas e na utilização de defensivos químicos, resultando em melhor aproveitamento dos recursos, redução de desperdícios e aumento da eficiência operacional. Além disso, o uso de tecnologias integradas, como sensores, telemetria e análise de dados, favorece o monitoramento em tempo real das atividades agrícolas, possibilitando decisões mais assertivas e sustentáveis (ORTIZ et al., 2022).

Dentre as atividades mecanizadas na citricultura, a pulverização de defensivos químicos é uma operação que impõe alta exigência dos tratores agrícolas. A estabilidade operacional do trator depende fortemente do modo como sua massa está distribuída entre os eixos e conjunto mecanizado. Quando a distribuição de massa do trator está inadequada pode comprometer o desempenho em campo, reduzir a capacidade de tração, aumentar o consumo de combustível e elevar o risco de capotamento, especialmente em terrenos inclinados ou irregulares (LOMBARDI et al., 2025).

O desempenho do trator é fortemente condicionado por variáveis operacionais como tipo de pneu, lastragem, velocidade de trabalho, distribuição de massa entre eixos, patinagem, força/potência na barra e consumo de combustível (LOPES et al., 2005). O ajuste de massa entre os eixos modifica a patinagem, consumo específico e rendimento na barra com configurações que maximizam a tração ou a conversão de energia do combustível em trabalho útil, especialmente em solo firme (KMIECIK et al., 2022)

Ajustes simples como trabalhar com combinações adequadas de pressão dos pneus e manter a relação entre os eixos dentro de uma faixa recomendada ajudam a manter o conjunto estável durante a operação, evitando aumentos desnecessários de patinagem e preservando a eficiência do trator. No estudo, variações moderadas da relação cinemática não alteraram de forma significativa a eficiência de tração, e observou-se tendência de maior patinagem no eixo

dianteiro em diferentes condições de solo, o que reforça a importância prática de checar pneus, lastro e configuração antes das operações (FERREIRA et al., 2000).

Dessa maneira, observa-se que distintas variáveis apresentam alterações expressivas, pois cada condição operacional é caracterizada por atributos específicos, como o avanço cinemático, o nível de patinagem, a força de tração e o consumo de combustível. Diante de tais exemplos, essas interagem de forma complexa, influenciando diretamente o desempenho do conjunto e a eficiência energética das operações mecanizadas (ALEIXO, 2025). No entanto, ainda há escassez de estudos desenvolvidos em âmbito nacional voltados especificamente para essa linha de pesquisa, evidenciando a necessidade de maiores investigações. Presume-se que este estudo possa fornecer subsídios técnicos relevantes, contribuindo de forma expressiva para o aprimoramento do processo de tomada de decisão e para a execução mais eficiente das operações mecanizadas na citricultura.

Com isso, objetiva-se com esse estudo empregar Ferramentas do Controle Estatístico de Processo para analisar o desempenho operacional de um trator de 58,8kW (80 cv) na cultura da laranja, por meio da aplicação de cartas de controle a diferentes indicadores de qualidade. Esses indicadores contemplam variáveis relacionadas ao desempenho da máquina, sendo elas: consumo horário de combustível ( $L h^{-1}$ ), consumo operacional de combustível ( $L ha^{-1}$ ), rotação do motor (rpm), índice de patinagem (%). O avanço cinemático (%) e o raio e espaço de giro. Possibilitando uma avaliação detalhada da estabilidade e eficiência do processo, bem como a identificação dos fatores que exercem influência direta sobre a operação de pulverização.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Aspectos da citricultura

A laranja (*Citrus sinensis*) destaca-se como a principal fruta cultivada no Brasil, em função da sua liderança na produção nacional e da expressiva relevância econômica que o setor citrícola representa para o agronegócio do país. Até o mês de agosto de 2025 o Brasil exportou 1,35 milhões de toneladas de suco de laranja, sendo os principais destinos EUA 41%, Países Baixos 23% e Bélgica 13% (CONAB, 2025). Dentre os estados brasileiros, São Paulo predomina por representar estimativa de 78% da produção nacional (CONAB, 2025).

A cadeia citrícola brasileira desempenha um papel de extrema importância para a economia nacional, tanto no âmbito social quanto econômico. Tal setor é responsável por gerar em torno de 230 mil empregos diretos e indiretos, que são distribuídos por toda a cadeia, iniciando na produção no campo, setor industrial, logística de transporte e até a logística de exportação. Além do seu impacto social em todo território nacional, a citricultura movimenta

um valor próximo de US\$ 15 bilhões por ano, sendo uma das atividades do agronegócio de maior relevância nacional (NEVES et al., 2015).

O Brasil é o maior exportador mundial de suco de laranja, sendo o responsável por atender boa parte da demanda global, com o estado de São Paulo concentrando aproximadamente 98% das exportações nacionais do produto. Foi possível verificar que no estado de São Paulo, a cada 1 real investido na pesquisa citrícola e desenvolvimento, foi evidenciado que o retorno é de aproximadamente R\$ 13,67 no valor da produção da laranja no estado, comprovando que a inovação tecnológica é de grande valia para a competitividade na cadeia produtiva. (FIGUEIREDO et al., 2012).

A citricultura é caracterizada como atividade agrícola de longo prazo, tendo em vista que da formação do pomar até a primeira colheita é necessário anos de investimento. A primeira safra ocorre por volta do quarto ano após a implantação da lavoura, a implantação do projeto é momento crucial deste empreendimento. No período inicial, os sistemas tradicionais de controle de custos ainda não podem ser aplicados, pois os produtores priorizam a gestão para assegurar a continuidade das atividades (KASSAI, 1999). Dessa forma, a gestão financeira possui papel estratégico, pois permite acompanhar fluxos monetários, mesmo que os resultados produtivos ainda não estejam presentes. Na utilização da gestão possibilita ao produtor maior controle sobre os recursos que estão sendo aplicados ao longo do projeto, mantendo assim a sua viabilidade, fazendo com que seja um elemento essencial para a sustentabilidade do investimento (CASA NOVA et al., 1999).

Dentro desta perspectiva, a citricultura e seu sucesso estão fortemente ligados a adoção de ferramentas de planejamentos, gestão de custos e a utilização de modelos financeiros adaptados à realidade do setor agrícola favorece a eficiência e tomada de decisão dos empreendimentos rurais (MARION, 2000).

## **2.2 Pulverização**

Apesar da importância econômica, o setor citrícola enfrenta desafios no campo. As doenças *Gomose (Phytophthora)* e *Greening (Candidatus liberibacter)* que afetam a citricultura configuram um dos principais entraves à sustentabilidade da produção em escala mundial. Esses problemas fitossanitários comprometem diretamente a qualidade física e química dos frutos, refletindo em menor aceitabilidade nos mercados consumidores. Além disso, ocasionam perdas expressivas de produtividade e podem elevar significativamente os custos de produção, devido à necessidade de adoção de práticas de manejo mais rigorosas (TORSONI et al., 2025).

Uma pulverização eficiente começa pela calibração correta do equipamento, alinhando pressão, vazão e velocidade de deslocamento para entregar o volume previsto. Depois, a seleção dos bicos deve produzir um espectro de gotas compatível com a cultura: nem tão finas a ponto de aumentar a deriva, nem tão grossas a ponto de reduzir a cobertura. O objetivo é ajustar o espectro à arquitetura da copa, favorecendo a uniformidade de deposição nas faces das folhas. (ALBRIGO et al., 2006).

O controle químico pesa de forma relevante no orçamento, o que exige planejamento e aplicação precisos para evitar desperdícios e sustentar o resultado técnico-econômico. Sobre a mancha-preta, por exemplo, há registro de que a doença “sempre teve uma atenção especial dos produtores pelo seu peso no custo de produção e pela redução na produção dos frutos, quando não controlada adequadamente”, destacando a centralidade do manejo químico na viabilidade do pomar (CASTILHO., 2015).

Durante o ciclo da cultura da laranja é necessário o controle de doenças, dentre as doenças da citricultura a mais comum é o *Greening* (Huanglongbing), o agente causal é a bactéria do gênero *Candidatus Liberibacter spp*, que se aloja no floema da planta. A pulverização executada no período correto, com a calibração e cobertura adequada é uma peça central para que possa ser mantido a sanidade do pomar, muitos patógenos dos citros exigem proteções preventivas em janelas críticas. O momento oportuno de aplicação, precisão e exatidão são determinantes na cultura para evitar a queda de frutos, manchas de cascas e seu rendimento ao longo da safra (LANZA et al., 2018).

Além disso, a própria durabilidade econômica do pomar é afetada por doenças como a *Huanglongbing* (HLB) conhecida como *greening*, reduzem a produtividade e a vida útil das plantas. Sendo assim, é evidenciado a relação e severidade da perda de rendimento das plantas, reforçando que o calendário fitossanitário é de grande importância para o cultivo eficiente (BASSANEZI et al., 2011). O resultado econômico da citricultura depende de como o trator consegue entregar potência com eficiência às rodas e à barra de tração, mantendo seu deslocamento estável e regularidade operacional ao longo das linhas do pomar. Fatores como distribuição de massa entre eixos, faixa de patinagem, velocidade de trabalho, modo de TDP (Normal ou Econômica) e lastragem determinam a eficiência do conjunto, o consumo de combustível ( $L\ h^{-1}$  e  $L\ ha^{-1}$ ) e a capacidade de campo. Quando esses parâmetros estão bem ajustados, o trator sustenta o ritmo de trabalho com patinagem adequada, menor gasto energético por área, reduzindo custos diretos (combustível, desgaste, tempo ocioso) e indiretos (atrasos na janela agrônômica, retrabalho). Em síntese, otimizar o desempenho do trator é uma alavanca de produtividade e redução de custos para todas as operações no pomar.

Nesse contexto, a aplicação por pulverizadores é crucial para a citricultura, sendo o desempenho operacional dos conjuntos mecanizados um fator determinante para assegurar a viabilidade econômica da atividade. A eficiência na operação dos pulverizadores contribui diretamente para a qualidade do manejo fitossanitário e o controle de pragas, impactando positivamente na produtividade e na rentabilidade do cultivo.

### **2.3 Consumo de combustível**

Durante a avaliação do consumo de combustível em tratores agrícolas, torna-se necessário a repetição dos ensaios de mecanização, para que sejam realizadas as comparações entre as operações e as devidas regulagens. Para medir o consumo de combustível com precisão, instalam-se dispositivos específicos no sistema de alimentação do motor, diretamente na linha de combustível. Com esses aparelhos, a medição passa a ocorrer em tempo real durante as operações. Assim, é possível quantificar o consumo horário em  $L\ h^{-1}$  e por área  $L\ ha^{-1}$ , o consumo operacional, em  $L\ ha^{-1}$ . Ao analisar esses dados em diferentes condições de trabalho, o gestor consegue comparar cenários, identificar desperdícios e ajustar regulagens. O resultado é uma tomada de decisão mais assertiva no campo. (MAZIERO et al., 1992).

Em condições específicas, como velocidade de deslocamento e o tipo de trabalho realizado, alteram tanto o consumo horário do trator, quanto o consumo operacional. Estes fatores impactam no esforço de tração, patinagem e capacidade de campo do trator. Dessa maneira, os ajustes dessas regulagens em campo tendem a diminuir o consumo específico de combustível ( $L\ h^{-1}$ ). Em contrapartida, as atividades realizadas em velocidades reduzidas ampliam o tempo operacional, desse mesmo modelo velocidades maiores aumentam o esforço do maquinário. A recomendação prática é selecionar uma marcha e uma rotação ideal para a atividade a ser desenvolvida, pois isso gera no campo melhor estabilidade operacional e menor consumo de combustível por hora e por hectare (SOUZA et al., 2015).

Além disso, a pressão interna do ar dos pneus, se demonstra um fator determinante quanto ao consumo de combustível, pois a mesma impacta na patinagem e resistência ao rolamento, além de impactar diretamente no consumo horário. É indicado trabalhar com pressão de pneus adequado à atividade, pois favorecem positivamente a uniformidade do avanço e a estabilidade da barra de tração, melhorando assim a capacidade de campo e juntamente reduz o consumo operacional de combustível (MONTANHA et al., 2011).

De modo geral, a pressão interna dos pneus condiciona tanto o consumo de combustível quanto o desempenho operacional do trator. Em ensaio de campo, pressões mais baixas resultaram em menor consumo horário; além disso, a calibração adequada da pressão reduz a

patinagem e melhora o aproveitamento na barra de tração, o que, por conseguinte, se traduz em maior capacidade de campo. (MONTANHA et al., 2011; CORRÊA, 2000; LOPES et al., 2003). A construção do pneu influencia diretamente o desempenho do trator e o gasto energético do mesmo. Em comparação aos pneus diagonais, pneus radiais tendem a elevar a capacidade de tração e a potência na barra, além de reduzir o consumo específico de combustível, refletindo maior eficiência energética do conjunto trator-implemento. (BARBOSA 2005 et al., 2005).

No acionamento por tomada de potência, a adoção da TDP econômica (540E), sempre que a demanda do implemento permitir reduzir a rotação do motor mantendo 540 rpm na tomada, reduz o consumo específico de combustível, sobretudo em cenários de carga moderada, à medida que a carga aumenta, o ganho tende a diminuir (SÜMER et al., 2010). Ensaio controlados indicam que, frente ao modo TDP Normal proporciona maior eficiência energética do trator, traduzindo-se em menor consumo horário ( $L h^{-1}$ ) e operacional ( $L ha^{-1}$ ), desde que a potência requerida pela operação seja compatível com a 540 E. Essa vantagem decorre da rotação nominal reduzida do motor para atingir 540 rpm na TDP, o que diminui o consumo específico de combustível sem comprometer o desempenho (FRANTZ et al., 2014).

Em avaliações para avaliar a eficiência de pulverização, foi constatado que fatores como a inclinação e o nível do tanque, são fatores que exercem efeitos mensuráveis e de importância para o consumo e capacidade operacional de campo. Avaliações operacionais demonstraram um aumento do gasto de combustível em aclives em comparação com declives. Nota-se que o volume de líquido presente no tanque, também impacta no consumo de combustível, sendo que quanto mais cheio o mesmo estiver, maior será o consumo de combustível (BARBOSA et al., 2009). Concluindo assim, que pulverizações bem planejadas impactam positivamente nos custos de aplicações fitossanitárias (BEHLAU et al., 2024).

O tipo de óleo diesel utilizado demonstra como fator importante para avaliar o consumo de combustível e a potência desenvolvida pelo trator utilizado, testes de bancada utilizando misturas de biodiesel (B5-B100), onde nesses testes, à medida que a quantidade de biodiesel cresce no combustível, ocorreu a indicação de aumento de consumo de combustível (aumento máximo de 7,3 % no consumo), a redução de potência na TDP de no máximo 2,2%. Foi observado que a rotação do motor em virtude da presença do biocombustível não foi alterada de maneira significativa. As rotações específicas dos combustíveis B5 e B100 obtiveram potência superior ao diesel (CORRÊA et al., 2008).

De acordo com a Agência Nacional do Petróleo (ANP BRASIL, 2024), os óleos S 10 tem o teor máximo de 10 mg de enxofre por quilograma, enquanto, o diesel S 500 possui teor de 500 mg por quilograma. O biodiesel é um combustível obtido por meio da transesterificação

onde é misturado ao diesel fóssil para formular o diesel vendido, hoje o Brasil está utilizando o B15, que representa 15% de biodiesel na composição do diesel que chega as bombas de combustíveis (ANP, 2025).

## **2.4 Desempenho operacional na pulverização de citros**

Na pulverização de citros, o desempenho depende de fatores como pluviosidade, consumo de combustível e capacidade de campo, mas sobretudo do correto pareamento entre a demanda do pulverizador e a capacidade do trator. O jato de ar deve alcançar velocidade suficiente para penetrar o dossel, o que exige operar com TDP estabilizada e velocidade de avanço compatível. Assim, otimiza-se a cobertura e reduz-se o consumo específico de combustível (ALVARENGA et al., 2014).

Em citros, a velocidade de deslocamento interage com o tipo de pulverizador e o volume aplicado, condicionando a distribuição e a penetração da calda no dossel. Ajustes de velocidade alteram o fluxo de ar e gotas, portanto, a deposição nas diferentes zonas da copa, reflete diretamente no desempenho biológico. A velocidade é um parâmetro que faz parte do conjunto que condiciona a penetração e a cobertura conforme o equipamento e o volume adotado (CARVALHO et al., 2014). A velocidade de deslocamento do pulverizador se mostra um parâmetro operativo o qual altera a deposição ao longo do dossel da planta, ensaios utilizando diferentes velocidades e volumes, observou-se que quanto o volume de calda, bem como a velocidade é alterada, ocorre uma diferença na penetração e cobertura da planta, evidenciando-se assim que dosséis com arquiteturas distintas, a adequação da velocidade é um fator determinante para transportar gotas para o interior da copa (SCAPIN, 2014).

Os ajustes dos parâmetros operacionais são de extrema importância para obter melhor desempenho, capacidade operacional e economia de combustível, podendo ser eles parâmetros como pressão de aplicação e velocidade de deslocamento, variações de pressão e desníveis no terreno (aclives e declives) e nível do tanque impactam na capacidade operacional (BARBOSA et al., 2009). O volume de calda pulverizado se destaca como outro fator determinante para uma boa aplicação, sendo que o aumento do volume eleva a deposição e a cobertura, no entanto, até certo ponto, acima desse limite, os ganhos são mínimos em comparação ao volume gasto, devido a grande quantidade de perda de produto por escorrimento na planta (YANAI et al., 2007).

Em relação ao volume e a qualidade da calda aplicada, a janela meteorológica é um fator importante para definir o desempenho, algumas faixas específicas de pressão de vapor do ar favorecem uma boa deposição e uma melhor cobertura, enquanto por outro lado, condições de

alta evaporação (baixa umidade, alta temperatura e alta incidência solar) privilegiam a evaporação, o que reduz a eficiência de aplicação (ALVARENGA et al., 2013). Essas características promovem um maior número de aplicações, o que se traduz em um maior gasto com combustível, mão de obra, manutenções e peças de reposição por quebra ou desgaste.

Para operações com baixa demanda de potência na TDP, o uso da TDP econômica (540E) mantém 540 rpm na tomada com menor rotação do motor, resultando em redução mensurável do consumo de combustível e por consequência, menor custo operacional (FRANTZ et al., 2014). Além disso, fatores como o tipo de rodado influenciam no consumo de combustível e na capacidade de realização de atividades em hectares por hora, a pressão dos pneus, juntamente com o desgaste e o tipo de pneu influenciam diretamente nesses fatores. (SPAGNOLO et al., 2012).

A velocidade de pulverização, embora tenha efeito limitado sobre a deposição na zona média da copa, influencia a variabilidade dos depósitos e a profundidade de penetração no dossel. Na prática, isso compromete a uniformidade da aplicação e eleva o risco fitossanitário, podendo exigir reaplicações. A adoção de velocidades moderadas, ajustadas à capacidade do ventilador, tende a conciliar produtividade com maior qualidade de cobertura por passada (SALYANI et al., 1990).

Em síntese, a adequação operacional, como: ajustar velocidade de deslocamento ao desempenho do ventilador e ao volume/pressão adotados, operar em 540E quando a demanda na TDP permitir, e manter a pressão dos pneus apropriadas eleva a deposição, a penetração e a regularidade da aplicação no dossel, reduz a variabilidade de depósitos, evita perdas por escorrimento quando se respeitam os limites de volume. (CARVALHO et al., 2014; SCAPIN, 2014; SALYANI et al., 1990; YANAI et al., 2007).

## **2.5 Controle Estatístico de Processo (CEP)**

Com a utilização do Controle Estatístico de Qualidade (CEQ), é possível identificar a qualidade das operações agrícolas e o desempenho do processo produtivo. Nesse contexto, a aplicação do CEQ tem se apresentado como ferramenta eficaz para o aprimoramento das atividades mecanizadas. Pois torna possível detectar causas relacionadas a falhas operacionais ou inadequações ocorridas durante as etapas de mecanização, o que permite compreender a origem das variações indesejáveis no processo (ZERBATO et al., 2017).

Dentre as diversas ferramentas voltadas ao controle da qualidade, o Controle Estatístico de Processo (CEP) o uso das cartas de controle apresenta um papel de destaque. As cartas constituem instrumentos amplamente aplicados, pois permitem realizar o acompanhamento

sistemático e contínuo do processo produtivo, fornecendo uma visão clara sobre o comportamento das variáveis de interesse ao longo do tempo (SAMOHYL, 2009).

Elevar a qualidade de um processo tende, por consequência, a reduzir sua variabilidade, pois melhorias de qualidade reduzem as flutuações inerentes ao sistema (MONTGOMERY, 2009). Nesse cenário, o uso de ferramentas estatísticas de monitoramento permite distinguir processos sob controle estatístico daqueles fora de controle. Considera-se processo estável aquele em que apenas causas comuns atuam, mantendo a variabilidade dentro de uma faixa característica ao longo do tempo; já o processo instável apresenta causas especiais de variação, desviando o comportamento do padrão esperado, de modo que a prioridade é identificar e eliminar essas causas para restaurar a estabilidade (SOUZA, 2003; MONTGOMERY, 2000).

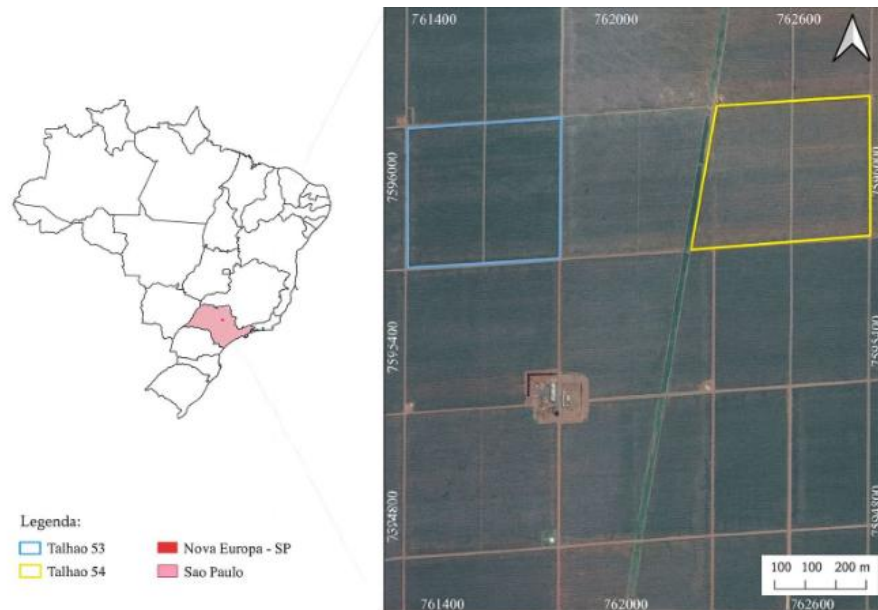
Quando a carta de controle não apresenta marcações fora dos limites estabelecidos, interpreta-se que o processo não sofreu variações anormais ou influências de causas especiais. Essa condição indica que as oscilações observadas são resultado apenas de fatores inerentes ao próprio sistema, caracterizando um processo estável e sob controle estatístico. Nessa situação, o desempenho pode ser considerado previsível, o que garante maior confiabilidade para o planejamento e execução das operações, além de reduzir riscos de falhas ou perdas decorrentes de instabilidades (FEREZIN, 2018).

Contudo, quando um ponto ultrapassa esses limites de controle, sinaliza a possível atuação de causas especiais de variação, que não fazem parte da rotina normal do processo. Essas causas podem estar relacionadas a falhas operacionais, ajustes inadequados de equipamentos, matérias-primas fora de padrão ou influências externas inesperadas. Nesses casos, é necessário investigar a origem da anomalia e adotar medidas corretivas, a fim de restabelecer a estabilidade e a confiabilidade do processo produtivo (MONTGOMERY, 2000).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

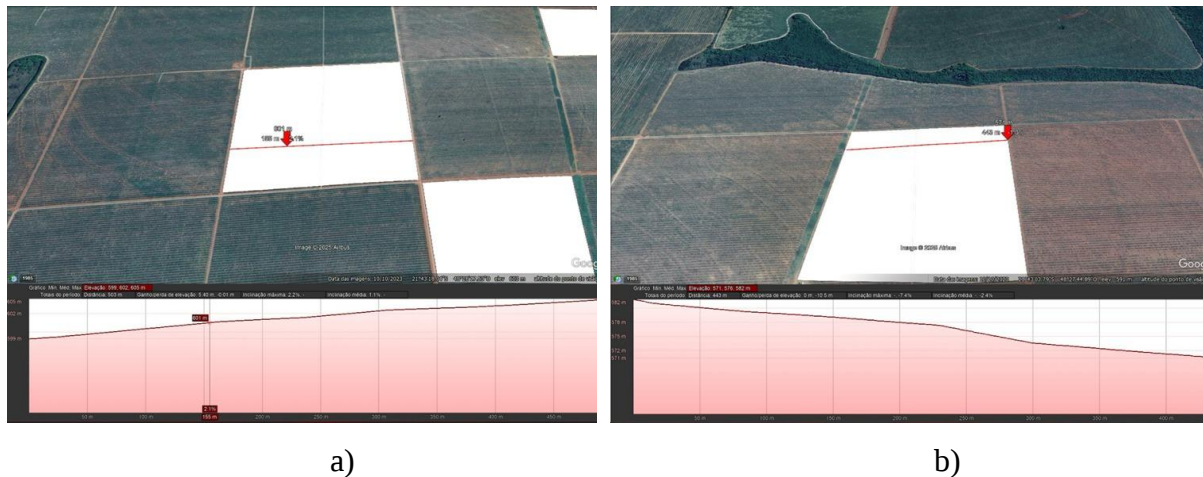
#### **3.1 Caracterização do local de estudo**

A área de estudo está localizada na fazenda São Carlos, propriedade da empresa Citrosuco, situada no município de Nova Europa – SP (Figura 1). As coordenadas geográficas da portaria da fazenda 21°44'25"S e 48°27'43"W e altitude de 575 metros em relação ao nível do mar.



**Figura 1** – Localização das áreas experimentais.

O experimento foi conduzido durante os meses de novembro de 2024 a abril 2025 em lavouras comerciais de laranja, às quais foram denominadas talhão 53 e 54, cujas características de declividade distintas foi o motivo para a escolha sendo o talhão 53 o com uma menor declividade de 1,1% e o talhão 54 com maior declividade de 2,4%. Os mesmos são apresentados na Figura 2.



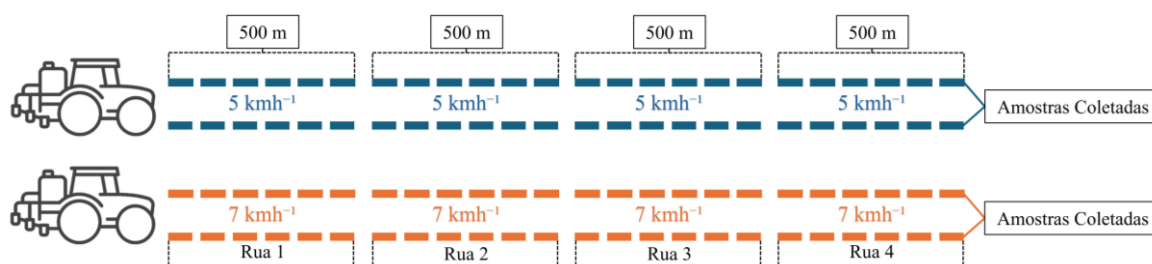
**Figura 2** - Nível de declividade das áreas: a) Talhão 53 - declividade 1,1%; b) Talhão 54 - declividade 2,4%.

De acordo com a classificação de Koppen, a fazenda possui clima Aw, com estação seca no inverno e estação chuvosa no verão (ALVARES et al., 2013). Em relação ao clima, os dados utilizados foram extraídos do projeto de dados climáticos Clima Tempo, onde foram identificados os meses de maior amplitude térmica sendo eles agosto (mínima média igual a 16

°C e máxima média igual a 28 °C) e setembro (mínima média igual a 18 °C e máxima média igual a 30 °C). Já falando sobre a precipitação, a máxima média ocorre no mês de janeiro com 263 mm e a mínima média no mês de julho, sendo igual a 25 mm (CLIMATEMPO, 2025).

### 3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental seguiu as premissas do Controle Estatístico de Processo (CEP), com as amostras coletadas ao longo do tempo, sendo coletadas as amostras em 4 ruas de 500 m em cada área. As velocidades médias de deslocamento do conjunto trator-pulverizador foram de 5 km h<sup>-1</sup> e 7 km h<sup>-1</sup> como demonstrados na Figura 3 e os pontos coletados foram registrados pela filmagem realizada com o uso de um aparelho celular posicionado sobre um *data logger* que registrava a variável do consumo de combustível. Os dados foram coletados em intervalos de tempo de 60s.



**Figura 3** - Esquema experimental da operação do trator para coleta de dados.

### 3.3 Características trator e pulverizador

O pulverizador utilizado durante as avaliações foi um atomizador agrícola com capacidade de 4000 litros, tracionado pela barra de tração (BT) e acionado pela tomada de potência (TDP). O equipamento é do tipo bi-lateral, possui turbina com volume de ar de 1160 m<sup>3</sup> min<sup>-1</sup> e velocidade de 170 km h<sup>-1</sup>, equipada com 80 bicos e hélice de 16 pás de nylon com ângulo variável. O trator utilizado possui potência de 58,8 kW (80 cv) no motor com tração dianteira auxiliar (TDA) operando com tomadas de potência (TDP) nas condições normal e econômica, e velocidades de deslocamento de 5 km h<sup>-1</sup> e 7 km h<sup>-1</sup> para ambas as áreas avaliadas.

### 3.4 Desempenho operacional

No que diz respeito ao desempenho da máquina agrícola na execução eficiente das operações, buscando alta produtividade e redução de custos operacionais, é importante avaliar tal desempenho em condições reais de campo. Para isso, vale organizar a análise em torno de variáveis específicas e mensuráveis, sendo elas: consumo horário de combustível (L h<sup>-1</sup>),

consumo operacional de combustível ( $L\ ha^{-1}$ ), rotação do motor (rpm), índice de patinação (%). O avanço cinemático (%) e o raio e espaço de giro. Observadas de forma contínua. Quando essas variáveis são consideradas de modo conjunto, a leitura do desempenho fica mais clara e fiel ao que ocorre na prática, permitindo um julgamento mais consistente dos resultados obtidos em campo.

### 3.4.1 Consumo horário e operacional de combustível

O consumo de combustível no trator foi aferido e monitorado por um medidor de vazão *Flowmate* LSF- 45 OVAL M-III, equipado com um sensor magnético e com saída de pulsos integrada. De acordo com o fabricante, o aparelho possui uma frequência de até 1000 Hz, e opera entre temperaturas de  $-20$  e  $80^{\circ}C$ , o mesmo aceita uma alimentação de 12–24 V com um consumo de 10 mL e sua transmissão é feita via cabos.

O consumo do combustível foi medido com tal aparelho, que registra a passagem do óleo diesel e envia pulsos elétricos, onde cada pulso, corresponde a um volume. Assim, ao longo do tempo, é possível saber qual foi o consumo durante o trabalho, sabendo por ponto durante o percurso do trabalho, o consumo foi medido com valores no intervalo de tempo de 60 segundos.

O aparelho medidor de combustível foi instalado em série na linha de alimentação de combustível do trator, imediatamente antes do medidor, para que dessa maneira, seja possível evitar danos e entupimentos por impurezas no tanque e na linha de combustível. Vale ressaltar, que todas as conexões foram devidamente vedadas para impedir a entrada de ar e vazamento de combustível. O equipamento foi devidamente fixado no trator para minimizar vibrações ao longo do processo.

O sinal de pulsos do medidor foi ligado a um sistema de aquisição que faz a contagem contínua e a conversão automática dos valores (equação 1).

$$Cc = \frac{N \cdot Fc}{1000} \quad (1)$$

Em que,

$Cc$ : Consumo horário de combustível ( $L\ h^{-1}$ );

$N$ : Número de pulsos;

$Fc$ : Fator de conversão ( $mL\ pulso^{-1}$ ).

1000: Fator de adequação de unidades.

Antes dos ensaios, os sistemas foram zerados para iniciar a contagem do consumo de combustível a partir do zero, onde ainda, era verificado a integridade das conexões para garantir a solides dos dados obtidos. Para realizar a determinação do consumo operacional de combustível procedeu-se à análise de tempos e movimentos, sendo registrado em vídeos todos movimentos e respectivos tempos do conjunto mecanizado como mostrado na Tabela 1.

**Tabela 1** - Divisão das atividades na pulverização mecanizada

| Atividade             | Descrição                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Tempo total        | Tempo o qual o conjunto trator-pulverizador iniciar o trabalho (pulverização) até o término da operação. Incluindo o tempo de pulverização, manobra e recarga.                                                                                                                                           |
| 2. Tempo pulverizando | Tempo demandado para a operação pulverização, compreendendo o tempo em que o pulverizador se mantém posicionado entre ruas pulverizando.                                                                                                                                                                 |
| 3. Tempo de manobras  | Tempo gasto para o transporte do pulverizador de uma rua para outra, iniciando no momento do desligamento do pulverizador até o reposicionamento do mesmo em outra rua.                                                                                                                                  |
| 4. Tempo de recarga   | Tempo necessário para reabastecer o pulverizador e voltar para a lavoura, sendo o tempo contado após o esgotamento do pulverizador, incluindo o tempo de deslocamento até a unidade de abastecimento (fonte de água) e o retorno a lavoura, quando o pulverizador é posicionado novamente entre as ruas. |

A capacidade de campo operacional foi adaptada de Mialhe et al. 1996, segundo a Equação 2. Vale ressaltar que a eficiência do pulverizador representa o percentual de tempo onde a mesma permanece em operação, descontando o tempo de manobras e recarga frente ao tempo total. (Equação 2).

$$CcO = \frac{VxLxEf}{10} \quad (2)$$

Em que:

CcO: Capacidade de Campo Operacional (ha h<sup>-1</sup>)

V: velocidade de deslocamento (km h<sup>-1</sup>)

L:espaçamento entrelinhas (m)

Ef: Eficiência do pulverizador;

10:fator de adequação das unidades

Com os dados da capacidade de campo operacional, calculou-se o consumo operacional, por meio da equação 3

$$CoP = \frac{Cc}{CcO} \quad (3)$$

Em que,

CoP: consumo operacional de combustível (L ha<sup>-1</sup>)

Cc: consumo horário de combustível (L h<sup>-1</sup>)

CcO: capacidade de campo operacional (ha h<sup>-1</sup>)

### 3.4.2 Rotação do motor

A rotação do motor é um parâmetro central para o desempenho energético e a durabilidade de tratores, inclusive nos modelos de potência nominal. Ela influencia diretamente a entrega de torque, a potência na TDP, o consumo específico de combustível e a capacidade de adaptação às operações, determinando a eficiência e a confiabilidade do sistema mecanizado.

No andamento desse experimento foi realizado o registro da rotação do motor, por meio da câmera de um aparelho celular para captura de imagens do painel do trator, antes do início da coleta dos dados, a câmera era devidamente ajustada para que alguns parâmetros importantes como brilho, foco e nitidez fossem os melhores possíveis para visualização dos números e do ponteiro do tacômetro.

Durante o início de cada operação foram identificados os talhões, a velocidade e a TDP de trabalho. Com uso do aparelho celular acoplado sobre o painel do trator na cabine do operador, foi possível registrar por meio da câmera RGB a variabilidade da operação de maneira contínua. Após o término da operação, os dados obtidos pela filmagem do aparelho celular foram identificados e tabulados em planilha do software Excel, posterior a isso transferidos para o software Minitab 17<sup>®</sup>, onde foram geradas as cartas de controle de valores individuais.

### 3.4.3 Avanço cinemático

Nessa etapa do experimento foi utilizado o aparelho avançômetro digital, que possui diversas funções para a determinação do desempenho operacional, dentre as suas funcionalidades incluem rotação por minuto do motor, velocidade de deslocamento do trator, índice de patinagem e avanço cinemático em porcentagem, onde é determinado por meio da Equação 4.

$$A = \left( \frac{NVTL - NVTD}{NVTD} \right) \times 100 \quad (4)$$

Em que:

A= Índice de avanço cinemático em porcentagem (%).

NVTL= Número de voltas da roda dianteira com a tração ligada somada a razão entre garras.

NVTD: número de voltas da roda dianteira com a tração desligada somada a razão entre garras.

Neste método é utilizado dois aparelhos conectados no eixo ao centro do rodado dianteiro e traseiro (Figura 4). Durante o deslocamento do trator é calculado o avanço cinemático, nesse processo é importante acompanhar o deslocamento do trator com o aparelho receptor de informação próximo para evitar a perda ou interferência de sinal.

Na avaliação da eficiência de tração do trator, adotou-se o avanço percentual como principal indicador. Esse índice é obtido por meio de ensaios com a tração dianteira auxiliar ligada e desligada, para que assim seja feita a determinação de que as rodas dianteiras estão puxando levemente (avanço positivo) ou travando o movimento (avanço negativo), esses valores podem indicar, caso estejam fora dos valores ideais um travamento ou esforço excessivo nos diferenciais.



**Figura 4** - Avançômetro utilizado nas avaliações acoplado ao trator avaliado.

Para a classificação dos valores percentuais foram interpretados com a seguinte lógica de avaliação de acordo com a Tabela 2.

**Tabela 2** – Classificação da faixa de avanço percentual.

| Avanço percentual (%)   | Classificação da tração |
|-------------------------|-------------------------|
| $\leq 2$                | Ótima                   |
| $> 2 \text{ e } \leq 5$ | Aceitável               |
| $> 5$                   | Excessiva               |

#### 3.4.4 Patinagem

No cálculo do índice de patinagem dos pneus do trator, também foi utilizado o avançômetro digital que permite identificar faixas percentuais específicas, as quais servem como referência para determinar o grau de eficiência na tração e o desempenho operacional do conjunto trator-implemento. Esse critério permite avaliar se a força gerada pelo motor está sendo convertida de forma adequada em tração útil, além de indicar possíveis necessidades de ajustes no sistema mecanizado. Dessa forma, torna-se viável assegurar o aproveitamento eficiente da energia fornecida pelo trator, ao mesmo tempo em que se promove a redução do desgaste dos pneus e a diminuição no consumo de combustível, resultando em maior eficiência operacional e economia no processo agrícola.

Para identificação do índice de patinagem dos pneus o trator, inicialmente percorre determinada distância  $x$ , com a velocidade teórica, com o trator sem carga e com o aparelho acoplado no eixo dos rodados, posteriormente percorre a mesma distância e velocidade, agora com carga no trator, de acordo com a Equação 5.

$$S(\%) = \frac{V_t - V_r}{V_t} * 100 \quad (5)$$

Em que:

$S$  = Patinagem (%);

$V_t$  = Velocidade teórica ( $\text{km h}^{-1}$ ) sem carga;

$V_r$  = Velocidade real ( $\text{km h}^{-1}$ ) com carga.

Na classificação das faixas percentuais de patinagem dos pneus podem ser refletidas na tração, de acordo com a Tabela 3.

**Tabela 3** – Classificação da faixa percentual de patinagem.

| <b>Patinagem percentual (%)</b> | <b>Classificação</b> |
|---------------------------------|----------------------|
| 0 a 4                           | Baixa                |
| 4 a 10                          | Ideal                |
| >10                             | Alta                 |

### 3.4.5 Raio e espaço de giro

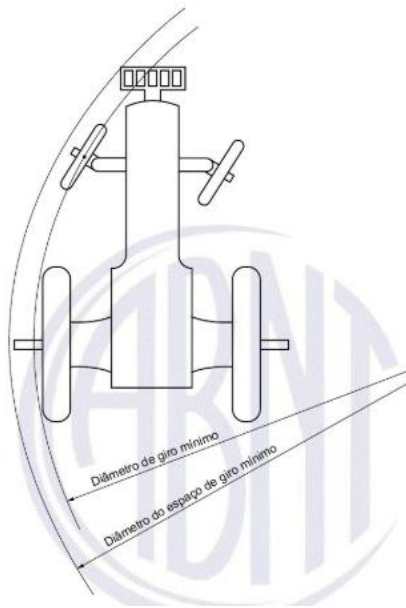
Na avaliação do raio e espaço de giro foi medido o círculo marcado pelo rastro do pneu com o solo na área de ensaio para avaliar a capacidade do trator de realizar manobras, que podem definir sua capacidade em trabalhar em espaços confinados. Esse círculo corresponde à medida da trajetória durante a execução da manobra de giro mais fechado do trator, considerando as condições específicas do teste raio e espaço de giro, foram analisados à direita e à esquerda, sem e com implemento acoplado, totalizando 16 condições operacionais, contemplando na Tabela 4.

**Tabela 4** – Condições operacionais do raio e espaço de giro.

| <b>Trator sem pulverizador</b> | <b>Trator com pulverizador</b> |
|--------------------------------|--------------------------------|
| <b>Direita</b>                 | Sem freio e sem TDA acionada   |
| <b>Esquerda</b>                | Sem freio e sem TDA acionada   |

|          |                              |
|----------|------------------------------|
| Direita  | Com freio e sem TDA acionada |
| Esquerda | Com freio e sem TDA acionada |
| Direita  | Sem freio e com TDA acionada |
| Esquerda | Sem freio e com TDA acionada |
| Direita  | Com freio e com TDA acionada |
| Esquerda | Com freio e com TDA acionada |

Para garantir maior eficiência operacional, recomenda-se que os tratores apresentem simetria no raio de giro, isto é, que as distâncias alcançadas nas manobras realizadas à esquerda e à direita sejam semelhantes como demonstrado na (Figura 5). Em função disso é utilizado a Equação 6.



(6)

$$D = \frac{2ABC}{\sqrt{2(A^2B^2 + A^2C^2 + B^2C^2) - (A^4 + B^4 + C^4)}}$$

**Figura 5.** Determinação do ensaio de raio e espaço do diâmetro de giro. Fonte: ABNT NBR ISO 789-3 (2016).

Para avaliar a qualidade das manobras de giro, foi calculado o índice de raio e espaço (IRE %) calculado pela Equação 7 e foi adicionado uma nota de qualidade de ótimo a deficiente seguindo a Tabela 5.

$$IRE(\%) = \left[ \frac{EG}{2 \cdot RG} - 1 \right] \times 100 \quad (7)$$

Onde:

EG = Espaço de giro (m).

RG= Raio de giro (m).

IRE (%) = Índice de raio e espaço (%).

**Tabela 5** – Avaliação Índice de Raio e Espaço.

| Qualidade  | IRE (%)   |
|------------|-----------|
| Ótimo      | < 3,0     |
| Bom        | 3,1 a 5,9 |
| Regular    | 6,0 a 9,0 |
| Deficiente | >9,0      |

Além disso, outro indicador para avaliar a qualidade das manobras foi o Índice de Simetria de Raio de Giro que é expresso pela Equação 8.

$$ISRg(\%) = \left( \frac{RGE - RGD}{RGE + RGD} \right) \times 100 \quad (8)$$

Onde:

ISRg(%) = Índice de simetria de raio de giro

RGE= Raio de giro esquerdo (m)

RGD=Raio de giro direito (m)

Para avaliação da qualidade à simetria das operações foi elaborado a Tabela 6.

**Tabela 6** – Avaliação Índice de Simetria de Raio de Giro.

| Qualidade | ISRg (%) |
|-----------|----------|
|-----------|----------|

|            |           |
|------------|-----------|
| Ótimo      | <0,5      |
| Bom        | 0,5 a 1,0 |
| Regular    | 1,1 a 2,0 |
| Deficiente | >2,0      |

### 3.5 Análise dos resultados

Todas as variáveis estudadas foram analisadas por meio do Controle Estatístico de Processo (CEP), aplicando cartas de controle para valores individuais como método principal, utilizando o software Minitab 17<sup>®</sup>. Dessa maneira, possibilitou acompanhar a estabilidade e o desempenho da operação de pulverização, apontando eventuais oscilações e indicando oportunidades de aperfeiçoamento. Cada variável foi tratada como um indicador qualitativo, sendo avaliadas quanto à sua variabilidade e estabilidade, com base nos limites superior e inferior de controle (Equações 9 e 10).

$$LSC = \bar{x} + 3.\sigma \quad (9)$$

$$LIC = \bar{x} - 3.\sigma \quad (10)$$

Em que:

LSC = limite superior de controle;

$\bar{x}$  = média dos valores observados;

$\sigma$  = desvio padrão

LIC = limite inferior de controle.

Quando os valores permanecem dentro dos limites superior e inferior de controle, o processo é classificado como estável, indicando que está sujeito apenas às variações naturais. Se um ou mais pontos excedem os limites de controle, o processo é caracterizado como instável ou fora de controle, indicando a influência de causas especiais, que podem ser classificadas por meio dos fatores 6 M's: Máquina, Mão de obra, Material, Método, Medição e Meio Ambiente, relatado por (Trindade et al., 2007).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Consumo horário de combustível

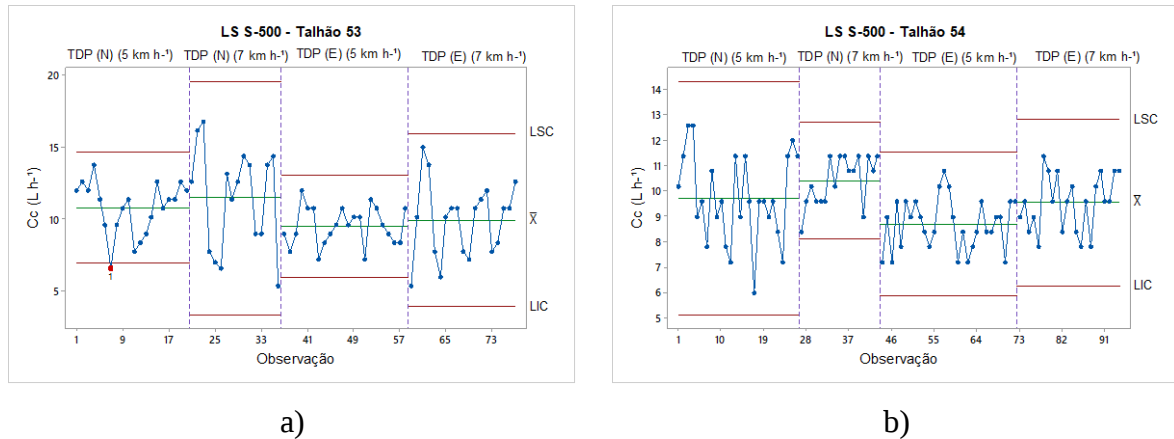
As variáveis estudadas permitem monitorar a estabilidade ou quaisquer desajustes que eventualmente possa acontecer durante o processo dos ensaios de pulverização na lavoura de citros. Dessa maneira, torna-se facilitador as tomadas de decisões na prevenção de instabilidades e melhorias na operação.

De acordo com a carta de controle na (Figura 6.a), na condição de TDP normal (N) e velocidade de deslocamento de  $5 \text{ km h}^{-1}$  no talhão 53, que o consumo médio horário foi de  $10,8 \text{ L h}^{-1}$ , nessa operação foi identificado um ponto de instabilidade abaixo do Limite Inferior de Controle - LIC, os valores entre mínimo e máximo nessa operação variaram de  $6,6 \text{ L h}^{-1}$  e  $13,8 \text{ L h}^{-1}$ , respectivamente, na qual esse menor valor refletiu na instabilidade do processo. Quando comparado os valores obtidos na condição de TDP (E) a  $5 \text{ km h}^{-1}$ , foram identificados melhores resultados, pois o processo avaliado demonstrou valores mais agrupados e próximos da média  $9,5 \text{ L h}^{-1}$ , e variação entre mínima e máxima de  $7,2 \text{ L h}^{-1}$  e  $12,0 \text{ L h}^{-1}$ , respectivamente. Assim, resultando em um processo estável.

Em relação a variabilidade, foi possível perceber que ainda na (Figura 6.a), com a velocidade de deslocamento de  $7 \text{ km h}^{-1}$  e TDP N foi o ensaio com maior variação de consumo de combustível nesta área, sendo o ponto mínimo  $5,4 \text{ L h}^{-1}$ , o máximo  $16,8 \text{ L h}^{-1}$  e o consumo médio horário de  $11,5 \text{ L h}^{-1}$ . Em comparação a este, o consumo horário com  $7 \text{ km h}^{-1}$  e TDP E apresenta menores oscilações nos valores, além de demonstrar menor média  $9,9 \text{ L h}^{-1}$ , economizando  $1,6 \text{ L h}^{-1}$  nas mesmas condições e apenas com ajustes na TDP.

No que diz respeito ao talhão 54 (Figura 6.b), área com declividade mais acentuada, é comparado a TDP E na velocidade de  $5 \text{ km h}^{-1}$ , com a TDP N nesta mesma velocidade. Nota-se que na TDP N a variação representada pelos limites de controles, ficaram com maior amplitude, sendo que os valores de consumo horário mínimo e máximo obtidos foram de  $12,6 \text{ L h}^{-1}$  e  $6,0 \text{ L h}^{-1}$ , respectivamente. Quando analisado essa mesma velocidade e TDP E, os valores foram mais próximos da linha central  $8,7 \text{ L h}^{-1}$ , sendo o mínimo  $7,2 \text{ L h}^{-1}$  e o máximo  $10,8 \text{ L h}^{-1}$ . Além do mais, para a velocidade de  $5 \text{ km h}^{-1}$  e para as duas regulagens de TDP normal e econômica, é possível observar que apresentaram estabilidade nos processos, em que todos os pontos analisados se comportaram dentro dos limites de controle.

Além disso, foi observado que a TDP N a  $7 \text{ km h}^{-1}$ , apresenta variações moderadas e valores próximos da média  $10,4 \text{ L h}^{-1}$  (Figura 6.b), a série apresenta estabilidade ao longo do processo entre os limites de controle. Para esta velocidade o ponto mínimo registrado possui valor de  $8,4 \text{ L h}^{-1}$  e o máximo  $11,4 \text{ L h}^{-1}$ . Quando comparado com a TDP E na mesma velocidade de  $7 \text{ km h}^{-1}$ , é notório maior variação entre os limites de controle, e menor consumo horário com média de  $9,5 \text{ L h}^{-1}$ , constando-se que quando acionado a TDP E o consumo horário de combustível foi menor em comparação a TDP N.



**Figura 6.** Consumo horário de combustível: a) Talhão 53, combustível S-500. b) Talhão 54, combustível S-500.

Em virtude disso, é possível discernir que nas situações de menor declividade (Talhão 53) os resultados que obtiveram uma menor média e uma menor variabilidade foram os resultados com a velocidade de  $5 \text{ km h}^{-1}$  onde ambos, em comparação com as velocidades de  $7 \text{ km h}^{-1}$  apresentaram resultados superiores evidenciando que em situações de baixa declividade, para o consumo horário de combustível ( $\text{L h}^{-1}$ ) seriam alternativas melhores. Entretanto, quando analisamos os dados do Talhão 54, foi observado que as situações com menor variabilidade são na velocidade de  $7 \text{ km h}^{-1}$  e TDP N, em velocidades menores as médias do consumo horário mantiveram-se inferiores podendo ser influenciadas pelo menor esforço de tração no motor. Com isso, é possível relacionar a pesquisa de Barbosa et al. (2005) que concluiu que a capacidade de tração e potência influencia no consumo específico de combustível.

#### 4.2 Consumo operacional de combustível

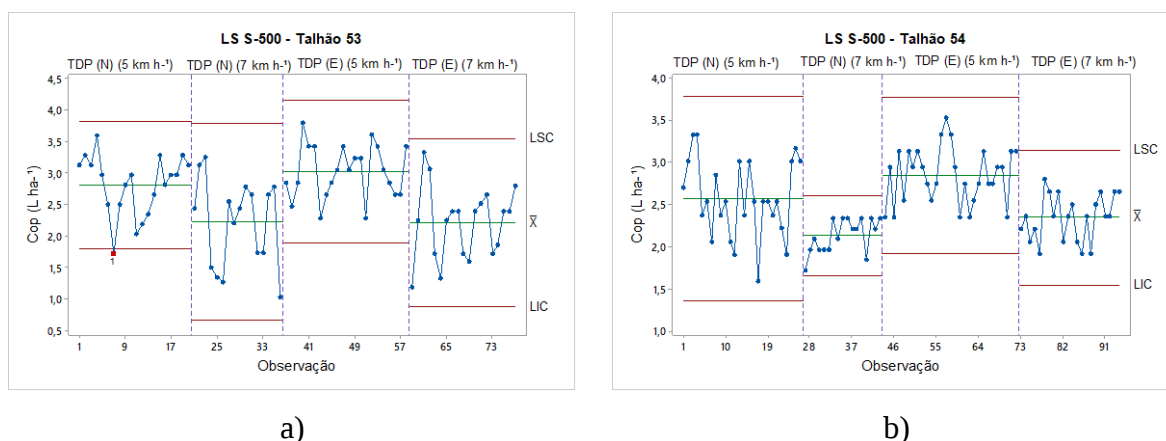
Como demonstrado na (Figura 7.a), consumo operacional de combustível com a velocidade de deslocamento de  $5 \text{ km h}^{-1}$  e TDP N no talhão 53, foi possível observar na carta de controle a média de  $2,8 \text{ L ha}^{-1}$  e variação de valores entre mínimo e máximo de  $1,7 \text{ L ha}^{-1}$  a  $3,6 \text{ L ha}^{-1}$ , respectivamente. Nesta operação ocorreu instabilidade no processo que foi representado com um ponto abaixo do LIC. Quanto a operação com TDP E que manteve estabilidade no processo, para a mesma velocidade de  $5 \text{ km h}^{-1}$ , o valor da média se concentrou próximo do valor na operação de TDP N, pois a média foi de  $3,0 \text{ L ha}^{-1}$ .

Ainda na avaliação da (Figura 7.a), foi possível perceber que durante a velocidade de  $7 \text{ km h}^{-1}$  e TDP N, a variabilidade desta operação obteve resultados onde o processo se manteve

estável com todos os pontos dentro dos limites de controle e a média do consumo de combustível operacional foi de  $2,2 \text{ L ha}^{-1}$ , este mesmo valor também foi obtido com TDP E na mesma velocidade de  $7 \text{ km h}^{-1}$  e que possui estabilidade durante a operação.

Durante a operação no talhão 54 (Figura 7.b), foi observado para o consumo operacional de combustível, que na operação com velocidade de  $5 \text{ km h}^{-1}$  e TDP N, que a maioria dos valores obtidos se encontram abaixo da média de  $2,5 \text{ L ha}^{-1}$ , além disso, esta operação apresentou maior variabilidade do processo em comparação as demais operações nesse talhão. Com a TDP E na mesma velocidade  $5 \text{ km h}^{-1}$ , a média de consumo operacional foi superior, obtendo  $2,8 \text{ L ha}^{-1}$ .

Quando alterado a velocidade de deslocamento para  $7 \text{ km h}^{-1}$  e TDP N, ocorreu redução na variabilidade e no consumo operacional, com valores variando entre o mínimo e máximo de  $1,7 \text{ L ha}^{-1}$  e  $2,3 \text{ L ha}^{-1}$ , respectivamente, e média de  $2,1 \text{ L ha}^{-1}$  demonstrando ser a condição mais econômica e estável. Esta mesma velocidade com a TDP E apresentou média de  $2,3 \text{ L ha}^{-1}$ , sendo também uma alternativa aceitável para operação de pulverização na citricultura.



**Figura 7.** Consumo operacional de combustível. a) Talhão de 53, combustível S-500. b) Talhão 54, combustível S-500.

Quanto ao consumo operacional de combustível ( $\text{L ha}^{-1}$ ), os valores nos dois talhões (plano e inclinado) as médias ficaram menores na velocidade de  $7 \text{ km h}^{-1}$ . Entretanto, é possível evidenciar que no terreno plano as velocidades de  $5 \text{ km h}^{-1}$  apresentaram menores variabilidade. Quando é analisado o terreno inclinado o fenômeno de inversão das variabilidades se inverteram, portanto, os valores nas velocidades de  $7 \text{ km h}^{-1}$  variaram menos, fato esse influenciado pela declividade do terreno e menor resistência ao rolamento (OHIO, 2018).

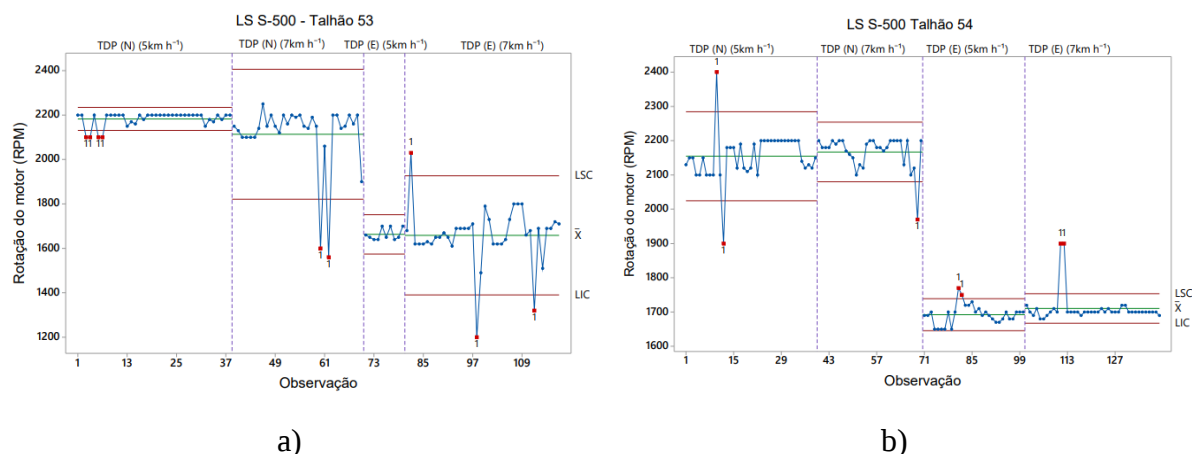
### 4.3 Rotação do motor

Como apresentado na (Figura 8.a) no talhão 53 com velocidade de deslocamento de 5 km h<sup>-1</sup> e com a TDP N, ocorreu pouca variabilidade nos valores observados, entretanto ocorreram quatro pontos de instabilidade que ultrapassaram a linha do LIC, nesta operação o trator manteve média de rotação por minuto no motor de 2180 rpm. Quando esta operação foi comparada com a TDP E na mesma velocidade, o valor médio da rotação do motor diminuiu para 1660 rpm e o processo se demonstrou estável com todos os pontos observados dentro dos limites de controle.

Ainda no talhão 53 (Figura 8.a), foi avaliado o desempenho da rotação do motor com a velocidade de 7 km h<sup>-1</sup> para as duas combinações de TDP, normal e econômica. Com a TDP N ocorreu instabilidade durante o processo avaliado, com dois pontos fora de controle e declínio de rotação para 1600 e 1560 rpm, valores estes registrando como menores rotação desta operação. Quando alterado a regulagem para TDP E, e a mesma velocidade de 7 km h<sup>-1</sup>, a rotação demonstrou instabilidade e maior variabilidade no processo com oscilações entre mínimo e máximo de 1200 rpm e 2030 rpm, respectivamente. Entretanto, a média da rotação do motor permaneceu a mesma de 1660 rpm nesta operação.

Essas mesmas operações foram realizadas no talhão 54 (Figura 8.b), que possui características diferentes, com maior declividade e exige maior esforço de potência do trator. Na operação com velocidade de 5 km h<sup>-1</sup> e TDP N a média de rotação do motor para esta operação foi de 2150 rpm, a rotação sofreu variabilidade e instabilidade com valores que ultrapassaram o LSC e LIC, 2400 e 1900 rpm, respectivamente. Com alteração da regulagem para TDP E e mesma velocidade, a média da rotação caiu para 1690 rpm e o comportamento dos pontos seguiram próximos da média indicando baixa variabilidade, entretanto, com pontos de instabilidade.

No que se refere a velocidade de 7 km h<sup>-1</sup> e TDP N ainda no talhão 54 (Figura 8.b), os valores obtidos seguiram próximos da média 2160 rpm e apenas um ponto com instabilidade abaixo da LIC com valor de 1970 rpm. Quando a operação foi realizada nessa mesma velocidade e alterada para TDP E, os valores permaneceram mais agrupados da linha da média de 1710 rpm e foi registrado dois pontos sobre a linha de LSC provocando instabilidade no processo.



**Figura 8.** Rotação do motor: a) Talhão 53; b) Talhão 54.

Sobre a rotação do motor, é possível notar que em todas as avaliações, foi notado pelo menos um ponto de instabilidade, exceto com a TDP E na velocidade de  $5 \text{ km h}^{-1}$  do talhão 53, tal fato se desenhou dessa maneira devido a quantidade de pontos coletados ter sido inferior que os demais tratamentos. Os motores agrícolas movidos à diesel tem a característica de disponibilizar a potência máxima em torno de 2400 rpm e o torque máximo em torno de 1500 rpm. No entanto, durante as operações os motores agrícolas devem trabalhar nas rotações de 1750 a 1900 rpm para obtenção do ponto de equilíbrio entre potência, torque e rotação para obtenção do intervalo ótimo de consumo (VENKATESAN et al., 2021). Devido as rotações observadas ter sido mantidas acima ou abaixo do intervalo ótimo pode ter influenciado na instabilidade de quase todos os tratamentos.

#### 4.4 Avanço cinemático

Na avaliação de trator que apresenta máxima eficiência operacional, é fundamental que seja empregado de forma adequada às exigências para cada atividade agrícola. Na formação do conjunto trator–implemento, a ênfase deve recair sobre o dimensionamento correto do trator, de modo que este opere em condições ideais de carga, garantindo melhor desempenho, menor desgaste dos componentes e maior aproveitamento energético (JANULEVIČIUS et al., 2013). Com isso, vale ressaltar que o uso inadequado de lastro em tratores pode ocasionar elevação no consumo de combustível, gerar maiores custos operacionais e intensificar a compactação e os danos ao solo, comprometendo tanto a eficiência das operações mecanizadas quanto a sustentabilidade do sistema produtivo. Quando é refletido nisso, surge a necessidade de aferir as características ponderais da máquina, como apresentado na Tabela 7.

**Tabela 7** – Características ponderais de adequação.

| <b>Características iniciais</b> | <b>Trator Sem Pulverizador</b> |
|---------------------------------|--------------------------------|
| Massa total                     | 4.074 kg                       |
| Relação massa/cv                | 51 kg cv <sup>-1</sup>         |
| Avanço dinâmico                 | 1,4%                           |
| <b>Após adequação</b>           |                                |
| Massa total                     | 3.786 kg                       |
| Relação massa/cv                | 47 kg cv <sup>-1</sup>         |
| Avanço dinâmico                 | 1,8%                           |

Após a apresentação dos resultados sobre o avanço cinemático, vale apontar a retirada de massa resultou em melhores condições para a relação massa/cv no trator. Quando analisa avanço cinemático vale levar em consideração as faixas aceitáveis que situam-se geralmente em torno de 1,5 a 5,0% quando o trator trabalha em solo desagregado (SHAF AEI et al., 2020). O avanço cinemático estacionou dentro da faixa adequada de operação, isso reflete no campo em operações com consumo de combustível menor, devido a sua relação de peso e potência, bem como menor manutenção por desgastes no trator, devido ao conjunto operar com menor quantidade de peso sobre os eixos, o que reflete em menor deterioração de conjunto como um todo, refletindo também em uma maior vida útil de componentes como motor, pneus e caixa de transmissão.

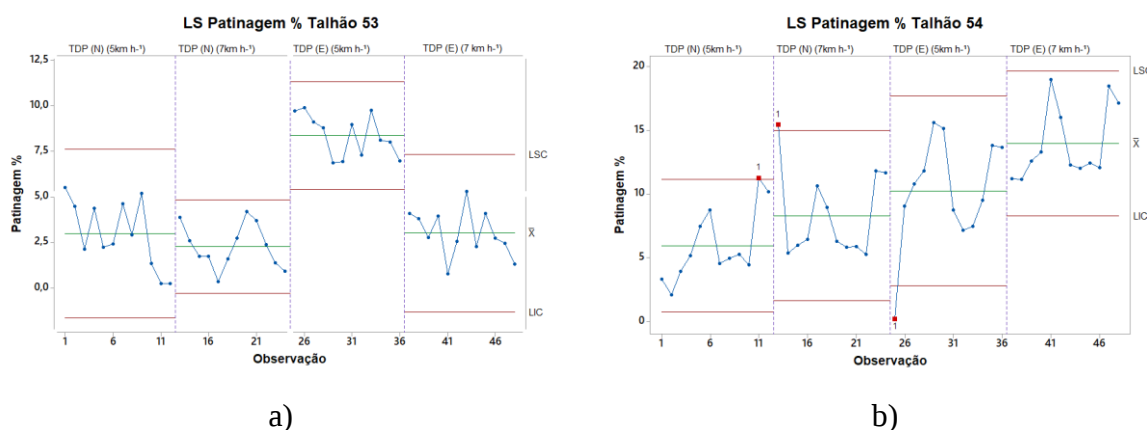
#### 4.5 Patinagem

Como especificado na (Figura 9.a) no talhão 53, os resultados de patinagem expressos em porcentagem (%), quando comparado a velocidade de 5 km h<sup>-1</sup>, a porcentagem da patinagem com a TDP N ficou com o valor médio abaixo do adequado, expressando 2,97%, o valor máximo de 5,52% e o valor mínimo igual a 0,22%. Com a TDP E no talhão 53, o valor médio foi adequado, com resultado em 8,37 e com valores máximos e mínimos, 9,89% e 6,86%, respectivamente.

Em sequência, ainda na (Figura 9.a), comparando os valores entre a TDP N e E, a 7 km h<sup>-1</sup> no talhão 53, ambos valores médios ficaram próximos, sendo o valor médio da TDP E igual a 3%, o valor máximo de 5,29% e valor mínimo de 0,77%. Os valores para a mesma velocidade de 7 km h<sup>-1</sup> com TDP N ficaram com média igual a 2,26%, máxima em 4,20% e mínimo com

0,33%. Todos os valores durante o processo não apresentaram instabilidade, pois os pontos comportaram dentro dos LSC e LIC.

A respeito da (Figura 9.b), os valores médios da TDP N tanto a 5 km h<sup>-1</sup> quanto a 7 km h<sup>-1</sup>, ficaram dentro da classificação ideal de patinagem, sendo que o valor médio à 5 km h<sup>-1</sup> foi 5,94%, com valor mínimo a 2,09% dentro dos limites, portanto o valor máximo 11,27% demonstraram instabilidade no processo, pois ultrapassou o LSC. O valor médio da TDP N a velocidade de 7 km h<sup>-1</sup> foi de 8,30%, sendo esse valor considerado ideal, o valor mínimo de 5,26% respeitando o LIC e o ponto com valor máximo 15,44% não comportou dentro do LSC. Para TDP E com velocidade de 5 km h<sup>-1</sup> e 7 km h<sup>-1</sup>, obtiveram valores médios de porcentagem superiores ao ideal, sendo de 10,24% e 13,92%, respectivamente.



**Figura 9** – Índice de patinagem: a) talhão 53; b) talhão 54.

O índice de patinagem ideal, corresponde a condição operacional em que o trator consegue converter de forma eficiente a potência gerada pelo motor em força de tração útil, garantindo o deslocamento adequado do conjunto mecanizado (ZOZ; GRISSO, 2003). Nessa condição, as perdas de energia por deslizamento dos rodados são minimizadas, permitindo maior aproveitamento da potência disponível, redução do consumo de combustível e aumento da eficiência do trabalho no campo. Valores de patinagem dentro da faixa recomendada indicam que há equilíbrio entre a aderência dos pneus ao solo e a força aplicada, assegurando desempenho adequado da operação agrícola sem comprometer a estrutura do solo nem a durabilidade dos componentes mecânicos (CUTINI et al., 2022).

Quanto ao índice de patinagem elevado, caracteriza-se por um deslizamento acentuado das rodas motrizes, condição geralmente observada em terrenos de baixa coesão, em máquinas com insuficiência de lastro ou ainda quando os pneus não estão calibrados adequadamente.

Nessas circunstâncias, ocorre perda de capacidade de tração, maior dissipação de energia e, como consequência, aumento do consumo de combustível, reduzindo a eficiência operacional. Em contrapartida, uma patinagem reduzida, pode elevar a resistência ao deslocamento, comprometer o aproveitamento energético e gerar desgaste prematuro dos pneus e dos componentes mecânicos, além de intensificar os custos de manutenção.

#### 4.6 Raio e espaço de giro

Durante a avaliação de raio e espaço de giro, recomenda-se que os tratores apresentem equilíbrio no raio de giro, de modo que as manobras realizadas à esquerda e à direita resultem em valores semelhantes, garantindo maior uniformidade e eficiência nas operações de campo. Como apresentado na Tabela 8 e 9, sem e com pulverizador acoplado ao trator com potência de 58,8 kW, para os ensaios realizados foi identificado deficiência na uniformidade das manobras quando acoplado, pois, indicou maior raio de giro para o lado esquerdo e causou desigualdade no índice de simetria.

**Tabela 8** - Ensaios com trator sem pulverizador.

| Condição do ensaio | Rotação  | Raio de Giro (m) | Espaço de Giro (m) | IRE (%) | ISrg (%) |
|--------------------|----------|------------------|--------------------|---------|----------|
| Sem freio          | Direita  | 4,25             | 8,51               | 0,06    | 0,75     |
| Sem TDA            | Esquerda | 4,19             | 8,38               |         |          |
| Classificação      |          |                  |                    | Ótimo   | Bom      |
| Condição do ensaio | Rotação  | Raio de Giro (m) | Espaço de Giro (m) | IRE (%) | ISrg (%) |
| Com freio          | Direita  | 3,52             | 7,04               | 0,00    | 1,76     |
| Sem TDA            | Esquerda | 3,65             | 7,29               |         |          |
| Classificação      |          |                  |                    | Ótimo   | Regular  |
| Condição do ensaio | Rotação  | Raio de Giro (m) | Espaço de Giro (m) | IRE (%) | ISrg (%) |
| Sem freio          | Direita  | 4,69             | 9,38               | 0,00    | 0,17     |
| Com TDA            | Esquerda | 4,68             | 9,35               |         |          |
| Classificação      |          |                  |                    | Ótimo   | Regular  |

| Condição do ensaio   | Rotação  | Raio de Giro (m) | Espaço de Giro (m) | IRE (%)      | ISrg (%)       |
|----------------------|----------|------------------|--------------------|--------------|----------------|
| Com freio            | Direita  | 3,60             | 7,20               | 0,00         | 0,36           |
| Com TDA              | Esquerda | 3,63             | 7,25               |              |                |
| <b>Classificação</b> |          |                  |                    | <b>Ótimo</b> | <b>Regular</b> |

**Tabela 9** – Ensaio com trator com pulverizador.

| Condição do ensaio   | Rotação  | Raio de Giro (m) | Espaço de Giro (m) | IRE (%)           | ISrg (%)          |
|----------------------|----------|------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| Sem freio            | Direita  | 2,54             | 9,63               | 78,29             | 8,27              |
| Sem TDA              | Esquerda | 3,00             | 10,14              |                   |                   |
| <b>Classificação</b> |          |                  |                    | <b>Deficiente</b> | <b>Deficiente</b> |
| Condição do ensaio   | Rotação  | Raio de Giro (m) | Espaço de Giro (m) | IRE (%)           | ISrg (%)          |
| Com freio            | Direita  | 2,39             | 9,82               | 82,47             | 13,61             |
| Sem TDA              | Esquerda | 3,15             | 10,40              |                   |                   |
| <b>Classificação</b> |          |                  |                    | <b>Deficiente</b> | <b>Deficiente</b> |
| Condição do ensaio   | Rotação  | Raio de Giro (m) | Espaço de Giro (m) | IRE (%)           | ISrg (%)          |
| Sem freio            | Direita  | 4,09             | 9,95               | 38,46             | 10,04             |
| Com TDA              | Esquerda | 3,34             | 10,63              |                   |                   |
| <b>Classificação</b> |          |                  |                    | <b>Deficiente</b> | <b>Deficiente</b> |
| Condição do ensaio   | Rotação  | Raio de Giro (m) | Espaço de Giro (m) | IRE (%)           | ISrg (%)          |
| Com freio            | Direita  | 2,61             | 9,26               | 89,67             | 2,46              |
| Com TDA              | Esquerda | 2,48             | 10,04              |                   |                   |
| <b>Classificação</b> |          |                  |                    | <b>Deficiente</b> | <b>Deficiente</b> |

Diante dos resultados apresentados, nota-se que a classificação dos resultados tanto de raio de giro quanto espaço de giro com o trator sem o pulverizador acoplado, a classificação

ficou entre regular à ótimo, o que evidenciou boa simetria quando o trator está sem carga. Com a utilização do pulverizador, para todos os ensaios e para ambos os lados, a classificação foi deficiente, o que indica um mal equilíbrio no raio e espaço de giro, que pode ocorrer.

#### 4.7 Estabilidade e variabilidade

No que se refere à estabilidade dos indicadores de qualidade relacionados ao consumo de combustível: consumo horário e consumo operacional. Constatamos que no consumo horário ocorreram estabilidade na maioria dos ensaios, exceto para o talhão 53 com TDP N na velocidade de  $5 \text{ km h}^{-1}$  ocorreu instabilidade no processo (Figura 6). Em razão disso, quando se trata da variabilidade, os ensaios de consumo horário nos talhões 53 e 54, apresentaram as maiores variabilidades com a TDP N e nas velocidades de  $7 \text{ km h}^{-1}$  no talhão 53 e  $5 \text{ km h}^{-1}$  no talhão 54 respectivamente. Quando avaliamos a variabilidade do consumo operacional (Figura 7), no talhão 53, obtivemos uma maior variabilidade a  $7 \text{ km h}^{-1}$  com a TDP N, com todos os processos estáveis, exceto com a TDP normal a  $5 \text{ km h}^{-1}$ . No talhão 54, todos os processos apresentaram estabilidade, sendo que a  $7 \text{ km h}^{-1}$  com a TDP normal foi o processo que ocorreu uma menor variabilidade.

Considerando os indicadores de qualidade relacionados à rotação por minuto do motor (Figura 8), observamos que o processo pôde ser considerado com comportamento instável em todas as combinações de velocidades e condições de TDP N e E, exceto para o talhão 53 com TDP E e velocidade de  $5 \text{ km h}^{-1}$ , situação em que se verificou estabilidade do processo, diferindo do padrão encontrado nos demais ensaios.

Em relação ao índice patinagem, foi identificado no talhão 53 (Figura 9.a), que todos os ensaios mantiveram estáveis com os pontos observados agrupados próximos da linha média, além disso o ensaio com velocidade de  $7 \text{ km h}^{-1}$  e TDP N, apresentou menor variabilidade, porém com pouca variabilidade e a média de patinagem obtida não alcançou o valor ideal de pelo menos 4%. Quando esses mesmos ensaios são transferidos para o talhão 54 de características de aclives e declives, todos os ensaios de índice de patinagem foram instáveis, exceto para velocidade de  $7 \text{ km h}^{-1}$  e regulagem de TDP E, nesse talhão acidentado a maior variabilidade foi com a regulagem de TDP E e velocidade de deslocamento  $5 \text{ km h}^{-1}$ .

Para concluir o resultado e discussão do tópico de estabilidade e variabilidade, podemos citar que nas avaliações feitas, a velocidade de  $5 \text{ km h}^{-1}$  apresentou uma menor variabilidade nas operações em menor declividade (talhão 53) em comparação com a velocidade de  $7 \text{ km h}^{-1}$  já no talhão com maior declividade (talhão 54) os processos com a velocidade de  $7 \text{ km h}^{-1}$  mantiveram uma menor variabilidade em relação a velocidade de  $5 \text{ km h}^{-1}$ .

## 5 CONCLUSÃO

Para o trator utilizado com potência igual a 58,8 kW (80cv) dentre as melhores médias obtidas nos tratamentos realizados destacou a velocidade de 7 km h<sup>-1</sup> com TDP Econômica.

Quanto a variabilidade dos processos, o tratamento com menor variabilidade foi de 5 km h<sup>-1</sup> com TDP Econômica.

Em relação a estabilidade o tratamento com a velocidade 5 km h<sup>-1</sup> com TDP Econômica se apresentou mais adequado. Conclui-se que essa configuração de velocidade e TDP, se mostrou eficiente para a maioria dos indicadores de qualidade avaliados.

## 6 REFERÊNCIAS

- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Especificação do biodiesel. 2025.
- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). 2014.
- ALBRIGO, L. Methods for evaluation of spray chemical phytotoxicity to citrus. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**. p. 52-57, 1996.
- ALEIXO, E. V. Desempenho operacional de tratores 4x2 TDA, classe II, equipados com pneus-esteiras e diagonais sob diferentes pressões de inflação. - 2025. 66 p. - Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2025.
- ALVARENGA, C. B.; TEIXEIRA, M. M.; ZOLNIER, S.; SASAKI, R. S.; RINALDI, P. C. N. Air and liquid volumetric distribution in vertical in a hydro-pneumatic sprayer. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 7, n. 1, p. 71-79, 2014.
- ALVARENGA, C. B. D.; TEIXEIRA, M. M.; ZOLNIER, S.; SASAKI, R. S.; RINALDI, P. C. N. Controle automático do espectro de gotas de pulverizador hidropneumático em função do déficit de pressão de vapor d'água no ar. Pesquisa **Agropecuária Tropical**, v. 43, p. 26-33, 2013.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- AZEVEDO, F. R.; FREIRE, C. O. **Tecnologia De Aplicação De Defensivos Agrícolas**. 2006.
- BARBOSA, A. L. P. B.; LOPES, A.; DA COSTA FERREIRA, M.; DA CAMARA, F. T.; & DA SILVA, R. P. Avaliação Operacional de Conjunto Trator-Pulverizador. **Revista Engenharia na Agricultura-REVENG**, v. 17, n. 1, 2009.
- BARBOSA, J. A.; VIEIRA, L. B.; DIAS, G. P.; DIAS JÚNIOR, M. D. S. Desempenho operacional de um trator agrícola equipado alternadamente com pneus radiais e diagonais. **Engenharia Agrícola**, v. 25, p. 474-480, 2005.
- BASSANEZI, R. B.; BASSANEZI, R. B.; MONTESINO, L. H.; GASPAROTO, M. C. G.; BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. Yield loss caused by huanglongbing in different sweet orange cultivars in São Paulo, Brazil. **European journal of plant pathology**, v. 130, n. 4, p. 577-586, 2011.
- BEHLAU, F.; SILVA-JUNIOR, G. J.; MOREIRA, R. R.; MONTEFERRANTE, E. C.; ADAMI, A. C. D. O.; MIRANDA, S. H. G. D. Economic benefit of an optimized copper spray program for citrus canker and black spot control in Brazil. **Scientia Agrícola**, v. 81, p. e20230194, 2024.
- Carvalho, G. F. G. D. Aplicação de produtos fitossanitários na cultura dos citros utilizando pulverizador envolvente. 2014.
- CASA NOVA; CASTRO. S. P.; KASSAI.; JOSÉ ROBERTO. Gestão da citricultura: uma experiência na implantação de projetos. [Em CD-ROM]. **Anais**, 1999.

CASTILHO, E. Medidas de campo e de pós-colheita para redução da incidência de frutos de laranja com sintomas de mancha-preta dos citros. Araraquara: **Fundecitrus**, 2015.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Boletins hortigranjeiros setembro/2025, v. 11, n 9, 2025.

CLIMATEMPO. Climatologia e histórico de previsão do tempo em Nova Europa, BR. [S. l.]: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/2416/novaeuropa-sp>. 2025.

CORRÊA, I. M.; MAZIERO, J. V. G.; ÚNGARO, M. R.; BERNARDI, J. A.; STORINO, M. Desempenho de motor diesel com misturas de biodiesel de óleo de girassol. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p. 923-928, 2008.

CORRÊA, Ila Maria. Desempenho operacional de pneus radiais e diagonais em função da pressão de inflação, da condição de superfície do solo e da condição de acionamento da tração dianteira. 2000. 121 f. Tese (doutorado) - **Universidade Estadual Paulista**, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2000.

Cutini, M.; Costa, C.; Brambilla, M.; Bisaglia, C. Relationship between the 3D footprint of an agricultural tire and drawbar pull using an artificial neural network. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 38, n. 2, p. 293-301, 2022.

EMBRAPA. **Citros na TV**: Embrapa mostra trabalho em rede nacional. 2019.

EMBRAPA. **Cultura dos citros** – Volume 1. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

FEREZIN, E.; SILVA, R. P.; SANTOS, A. F.; ZERBATO, C. Development of an electrohydraulic drive system for the vibrating conveyor belt of the peanut digger-inverter. **Plos one**, v. 13, n. 10, p. 20-33, 2018.

FERREIRA, M. F.; SCHLOSSER, J. F.; NEUJAHN, E. B.; SCHNEIDER, V. Relação cinemática em um trator 4x2 com tração dianteira auxiliar equipado com pneus radiais na eficiência de tração. **Ciência Rural**, v. 30, p. 983-986, 2000.

FIGUEIREDO, M. G.; BARROS, A. L. C.; CONCEIÇÃO, J. C. P. R. Retorno econômico dos investimentos em P&D na citricultura paulista. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 50, p. 493-502, 2012.

FRANTZ, U. G.; SCHLOSSER, J. F.; FARIAS, M. S. D.; FERIGOLO, L. F.; EBERT, L. C. Eficiência energética de um trator agrícola utilizando duas configurações de tomada de potência. **Ciência Rural**, v. 44, n. 7, p. 1219-1222, 2014.

IBGE. Produção Agrícola Municipal (PAM): Tabela 5457 — Área plantada/colhida, quantidade produzida, rendimento e valor da produção das lavouras temporárias e permanentes. Rio de Janeiro: (dados consultáveis por ano/UF/município). **IBGE**, 2019.

JANULEVIČIUS, A.; JUOSTAS, A.; PUPINIS, G. Tractor's engine performance and emission characteristics in the process of ploughing. **Energy Conversion and Management**, v. 75, p. 498-508, 2013.

KASSAI, J. R.; KASSAI, S. Gestão da citricultura: uma experiência na implantação de projetos. **Anais do Congresso Brasileiro de Custos – ABC**

MIECIK, L. L.; JASPER, S. P.; PASSOS, M. L.; STRAPASSON, L.; ZIMMERMANN, G. G.; SAVI, D.; PARIZE, G. L. Agricultural tractor with different mass distributions between axles. **Ciência Rural**, v. 53, n. 3, e20210604, 2022.

LANZA, F. E.; METZKER, T. G.; VINHAS, T. BEHLAU, F.; SILVA JÚNIOR, G. J. Critical fungicide spray period for citrus black spot control in São Paulo state, Brazil. **Plant Disease**, v. 102, n. 2, p. 334-340, 2018.

LOMBARDI, B. P.; PORTELINHA, A.; VIEIRA, I. C. O.; SANTOS-SILVA, B.; JASPER, S. P.; SILVA, R. P.; FRANCETTO, T. R. Mass Impact of a Mounted Sprayer on the Operational Balance of an Agricultural Tractor. **AgriEngineering**, v. 7, n. 9, p. 289, 2025.

LOPES, A.; LANÇAS, K. P.; SILVA, R. P. D.; FURLANI, C. E. A.; NAGAOKA, A. K.; REIS, G. N. D. Desempenho de um trator em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de trabalho. **Ciência Rural**, v. 35, p. 366–370, 2005.

LOPES, A.; LANÇAS, K. P.; FURLANI, C. E.; NAGAOKA, A. K.; CASTRO NETO, P.; GROTTA, D. C. C. Consumo de combustível de um trator em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de trabalho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, p. 382-386, 2003.

MARION, J. C. Contabilidade rural: contabilidade agrícola, contabilidade da pecuária, imposto de renda pessoa jurídica. São Paulo: Atlas, 2000.

MAZIERO, J. V. G.; CORRÊA, I. M.; YANAI, K.; MENEZES, J. F. D. Equipamento para medição do consumo de combustível em experimentos agrícolas. **Bragantia**, v. 51, p. 197-202, 1992.

MIALHE, L. G. Máquinas agrícolas: ensaios e certificação. Piracicaba: FEALQ, 1996.

MONTANHA, G. K.; GUERRA, S. P. S.; 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. **Energia na Agricultura**, v. 26, n. 1, p. 39-51, 2011.

MONTGOMERY, D. C. Introduction to statistical quality control. 4. ed. **New York: John Willey e Sons**, p. 677, 2000.

NEVES, M. F.; KALAKI, R. B. Perspectivas para a produção brasileira. **Agroanalysis**, v. 35, n. 6, p. 26-27, 2015.

Ohio State University. First tests of tractors and agricultural tires, p. 35-49, 2018.

ORTIZ, C.; TORREGROSA, A.; MARTÍNEZ, J. M. Evaluation of citriculture mechanisation level in valencia region (Spain): Poll results. **Agronomy**, v. 12, n. 6, p. 1366, 2022.

SALYANI, M.; WHITNEY, J. D. Ground speed effect on spray deposition inside citrus trees. **Transactions of the ASAE**, v. 33, n. 2, p. 361-0366, 1990.

SAMOHYL, R. W. Controle estatístico de qualidade. **Elsevier**, 2009.

SANTOS, R. M. D.; NÄÄS, I. D. A.; MOLLO NETO, M.; VENDRAMETTO, O. An overview on the Brazilian orange juice production chain. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, p. 218-225, 2013.

SHAFAEI, S. M.; LOGHAVI, M.; KAMGAR, S. Ascertainment of driving lead of tractor front wheels as loaded by draft force. **Measurement**, v. 165, p. 108134, 2020.

SOUZA, L. H.; RABELO, C. G.; CABACINHA, C. D.; PINTO, M. J. S.; MATOS, L. Consumo de combustível em trator agrícola em função da velocidade e profundidade de trabalho nas operações de aração e gradagem. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 23, n. 1, p. 65-70, 2015.

SOUZA, R. A. Análise da qualidade de processo de envase de azeitonas verdes através de algumas ferramentas do controle estatístico de processo. 2003. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – **Universidade Federal de Santa Catarina**, Florianópolis, 2003.

SPAGNOLO, R. T.; VOLPATO, C. E.; BARBOSA, J. A.; PALMA, M. A.; BARROS, M. M. D. Consumo de combustível de um trator em função do desgaste, da lastragem e pressão de inflação dos pneus. **Engenharia Agrícola**, v. 32, p. 131-139, 2012.

SÜMER, S. K.; KOCABIYIK, H.; SAY, S. M.; CICEK, G. Comparisons of 540 and 540E PTO operations in tractors through laboratory tests. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, v. 16, n. 4, p. 525–532, 2010.

TORSONI, G. B.; APARECIDO, L. E. D. O.; BARATTI, A. C. C.; ROSSI, M. F. D. M.; LORENÇONE, P. A.; LORENÇONE, J. A. Climatic zoning and future projections of citrus black spot in Brazil: adaptive strategies for sustainable citrus farming in the face of climate change. **Journal of Plant Pathology**, p. 1-14, 2025.

TRINDADE, C.; REZENDE, J.; JACOVINE, L.; SARTÓRIO, M. Ferramentas da qualidade: aplicação na atividade florestal. **Viçosa, MG: UFV**, 2007.

UNITED STATES. Foreign Agricultural Service. Citrus Annual — Brazil. São Paulo: USDA-FAS, 2018.

UNITED STATES. Foreign Agricultural Service. Citrus Annual — Brazil. São Paulo: USDA-FAS, 2021.

UNITED STATES. Foreign Agricultural Service. Citrus Annual — Brazil. Brasília: USDA-FAS, 2024.

VENKATESAN, V.; NALLUSAMY, N.; NAGAPANDISELVI, P. Performance and emission analysis on the effect of exhaust gas recirculation in a tractor diesel engine using pine oil and soapnut oil methyl ester. **Fuel**, v. 290, p. 120077, 2021.

WERNER, V.; SCHLOSSER, J. F.; ROZIN, D.; PINHEIRO, E. D.; DORNELLES, M. E. Aplicação de fertilizantes a taxa variável em agricultura de precisão variando a velocidade de deslocamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, p. 658-663, 2007.

YANAI, K.; CORRÊA, I. M.; BASSANEZI, R. B.; GARCIA, L. C. Características da pulverização em citros em função do volume de calda aplicado com turbo pulverizador. **Engenharia Agrícola**, v. 27, p. 56-65, 2007.

ZERBATO, C.; FURLANI, C. E.; SILVA, R. P. D.; VOLTARELLI, M. A.; SANTOS, A. F. D. Statistical control of processes applied for peanut mechanical digging in soil textural classes. **Engenharia Agrícola**, v. 37, p. 315-322, 2017.

ZOZ, F. M.; GRISSE, R. D. Traction and tractor performance. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers (ASAE), 2003.