

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
COLÉGIO POLITÉCNICO DA UFSM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO**

ALEXANDRE SCHAFER

**AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DE CORRETIVOS A LANÇO AUXILIADO POR
COMUNICAÇÃO VIA RÁDIO ENTRE MÁQUINAS - UM ESTUDO DE CASO**

**Santa Maria, RS
2022**

Alexandre Schafer

**AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DE CORRETIVOS A LANÇO AUXILIADO POR
COMUNICAÇÃO VIA RÁDIO ENTRE MÁQUINAS - UM ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Agricultura de Precisão, Área de Concentração em Tecnologia em Agricultura de Precisão, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Russini

Santa Maria, RS

2022

Alexandre Schafer

**AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DE CORRETIVOS A LANÇO AUXILIADO POR
COMUNICAÇÃO VIA RÁDIO ENTRE MÁQUINAS - UM ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Agricultura de Precisão, Área de Concentração em Tecnologia em Agricultura de Precisão, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Aprovada em 30 de julho de 2022.

Prof. Dr. Alexandre Russini (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Prof. Dr. Lucio de Paula Amaral (UFSM)

Prof. Dr. Rogério Rodrigues de Vargas (UNIPAMPA)

Santa Maria, RS

2022

Schafer, Alexandre
AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DE CORRETIVOS A LANÇO
AUXILIADO POR COMUNICAÇÃO VIA RÁDIO ENTRE MÁQUINAS - UM
ESTUDO DE CASO / Alexandre Schafer.- 2022.
48 p.; 30 cm

Orientador: Alexandre Russini
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em
Agricultura de Precisão, RS, 2022

1. Comunicação entre Máquinas 2. Agricultura de
Precisão 3. Agricultura 4.0 4. Distribuição Centrífuga I.
Russini, Alexandre II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, ALEXANDRE SCHAFFER, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

AGRADECIMENTO

A Deus por me proporcionar perseverança durante toda a minha vida.

Aos meus pais Roberto e Beatriz pelo apoio e incentivo que serviram de alicerce para as minhas realizações.

Aos meus irmãos pela amizade e atenção dedicadas quando sempre precisei.

À minha querida esposa Lucimara pelo seu amor incondicional, motivação e apoio nos meus projetos de vida e por compreender minha dedicação ao projeto de pesquisa.

A meu amado filho Cristhian, por entender os momentos que faltei como pai, para poder fornecê-lo uma vida melhor.

Ao meu professor orientador Alexandre Russini pelas valiosas contribuições dadas durante todo o processo de pesquisa e dissertação.

A todos os meus amigos e colegas de trabalho e curso que acreditaram e me motivaram, em especial Leonardo Seibel Sander por sua ajuda incondicional ao realizar essa dissertação.

As empresas Stara S/A e Cotrijal por me ajudarem com todo material e tempo que necessitei para desenvolver o projeto, em especial a Stara S/A através de seus gestores, pelo incentivo a se aperfeiçoar e buscar novas fronteiras e se tornar um profissional melhor.

A Universidade Federal de Santa Maria, através do Colégio Politécnico da UFSM, ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão e ao seu corpo docente, que demonstraram estar comprometidos com a qualidade e excelência que foi o curso.

RESUMO

AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DE CORRETIVOS A LANÇO AUXILIADO POR COMUNICAÇÃO VIA RÁDIO ENTRE MÁQUINAS - UM ESTUDO DE CASO

AUTOR: Alexandre Schafer
ORIENTADOR: Alexandre Russini

Na área de mecanização agrícola a comunicação entre máquinas tem se popularizado visando aumentar a eficiência das operações agrícolas. Neste sentido, o presente estudo tem por objetivo avaliar a partir de um estudo de caso a sobreposição na aplicação a lanço de corretivos de solo utilizando a comunicação via rádio entre máquinas, buscando determinar a diferença de áreas aplicadas e o retorno do investimento desta tecnologia. Foram elaborados no estudo três formatos de aplicação contemplando a operação de campo e simulações em bancada controlada. As aplicações consistem em: Aplicação A considerando a aplicação real de campo utilizando o sistema de comunicação entre máquinas; Aplicação B sendo realizada por meio de simulação sem o sistema, e Aplicação C com simulação utilizando o sistema de comunicação entre máquinas. Os resultados demonstram que houve uma sobreposição média de 4,72 %, 4,17% e 4,73% para as aplicações A, B e C, respectivamente. Desta forma, a redução na transposição de áreas aplicadas foi de 13,4%, em relação a sobreposição total considerando as condições de simulação, a redução na quantidade de produto foi de 0,56% gerando uma economia de produto na ordem de R\$ 18.995,2 por equipamento, tendo o retorno do investimento a partir de 10 meses, ou de 71 toneladas aplicadas por máquina considerando as condições em que o estudo foi realizado.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão. Taxa Variável. M2M.

ABSTRACT

EVALUATION OF THE APPLICATION OF CORRECTIVES ASSISTED BY RADIO COMMUNICATION BETWEEN MACHINES - A CASE STUDY

AUTHOR: Alexandre Schafer

ADVISOR: Alexandre Russini

In the agricultural mechanization field, communication between machines has gained popularity, improving agricultural operations. Using a case study, this paper aims to evaluate, the overlap in soil amendments application using radio communication between machines. It also seeks to determine the difference in applied areas and the return on investment for such technology. Three application formats were the focus of the study, including field activities, and controlled bench simulations. The applications consist of: Application A, which accomplishes the real-field application using the machine-to-machine communication system; Application B, performed through simulation without the system; and Application C, which simulates using the inter-machine communication system. The finding shows that operations A, B, and C had average overlaps of 4.72%, 4.17%, and 4.73%, respectively. Therefore, the overlap decreasing in applied areas was 13.4%. The reduction in the amount of product for the total overlap considering the simulation conditions was 0.56%, saving about R\$ 18.995,2 per equipment. The results indicate that after applying 71 tons of product per machine or after 10 months, the return on investments is given.

Keywords: Precision agriculture. Variable Rate. M2M

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Representação da área com destaque ao seu perímetro.....	22
FIGURA 2 - Detalhamento da área, com suas respectivas linhas de guia para máquinas e ponto de abastecimento do produto.....	23
FIGURA 3 - Hércules 24.000 C em aplicação a campo	24
FIGURA 4 - Conjunto de montagem Syncro	25
FIGURA 5 - Topper 5500 VT em operação com máquinas sincronizadas.....	27
FIGURA 6 - Mapa de aplicação a taxa variável de calcário	28
FIGURA 7 – Mapa de rastreabilidade da Aplicação A.....	29
FIGURA 8 – Mapa de altitude (a) e mapa de velocidade (b) obtidos na Aplicação A	30
FIGURA 9 - Bancada de simulação das aplicações com e sem o sistema M2M	31
FIGURA 10 – Mapa de rastreabilidade do trabalho realizado, áreas de transpasse entre máquinas (1) e individuais (2)	33
FIGURA 11 – Mapa de rastreabilidade do trabalho realizado pelas máquinas 1 e 2 na Aplicação C	37
FIGURA 12 - Interseções encontradas para cada situação, Aplicação A – Aplicação real com o sistema M2M (a); Aplicação B – Simulação sem o sistema M2M (b) e Aplicação C – Simulação com o sistema M2M (c)	38

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Formas de aplicação utilizadas para as avaliações experimentais. .	31
TABELA 2 - Valores de sobreposição total de áreas considerando diferentes máquinas e formas de aplicação.....	36
TABELA 3 - Valores de sobreposição considerando diferentes máquinas e formas de aplicação	39
TABELA 4 - Quantidade de produto utilizado nas simulações considerando a área total	39
TABELA 5 - Análise econômica da redução de produto considerando as diferentes formas de aplicação	41

LISTA DE ABREVIATURAS

Ca	Cálcio
GHz	Giga Hertz
GPS	Global Position System
GNSS	Global Navigation Satellite System
Ha	Hectares
IoT	Internet of things
Kbps	Kilobytes
M	metros
MATOPIBA	Abreviatura dos estados de Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia
Mg	Magnésio
M2M	Machine to machine
pH	Potencial hidrogeniônico
PWM	Pulse Width Modulation
t	Tonelada
VRT	Variable rate technology

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVO	14
2.1. OBJETIVO GERAL	14
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3. REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 AGRICULTURA E TECNOLOGIAS	14
3.2 COLETA E TRANSFERÊNCIA DE DADOS.....	17
3.3 TERMINAL VIRTUAL E APLICAÇÃO À TAXA VARIÁVEL	18
3.4 GERENCIAMENTO DE OPERAÇÕES	20
3.5 APLICAÇÃO DE CORRETIVOS DE SOLO	20
4. MATERIAIS E MÉTODOS	22
4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA	22
4.2 EQUIPAMENTOS E SOFTWARES UTILIZADOS	23
4.2.1 Hércules 24000 C	23
4.2.2 Sistema Machine to Machine (M2M)	24
4.2.3 QGIS	26
4.2.4 Topper 5500	26
4.3 COLETA DOS DADOS.....	27
4.3.1 Coleta de dados a campo	28
4.3.2 Simulação do planejamento em plataforma digital	30
4.4 ANÁLISE ECONÔMICA CONSIDERANDO DIFERENTES FORMA DE APLICAÇÃO.....	34
4.5 ANÁLISE DE DADOS.....	34
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5.1. DETERMINAÇÃO DA ÁREA DE SOBREPOSIÇÃO, CONSIDERANDO A OPERAÇÃO REAL E SIMULADA	36

5.2. ANÁLISE ECONÔMICA DA APLICAÇÃO UTILIZANDO DIFERENTES FORMAS DE APLICAÇÃO	39
6. CONCLUSÕES	43
7. RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS	44
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1. INTRODUÇÃO

Devido ao avanço da agricultura brasileira, a mecanização agrícola foi é um fator fundamental para o seu desenvolvimento. Sua introdução além de incrementar valores em produtividade, passou a ser substitutiva a mão de obra braçal tornando-a mais eficiente (VIAN et al., 2013).

Neste sentido, a mecanização no Brasil, permitiu a exploração de novas áreas produtivas em larga escala, avançando do Sul em direção às regiões do centro-oeste até recentemente a nova fronteira agrícola brasileira, denominada Matopiba (nome agregado devido às iniciais dos estados Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia). Esse avanço permitiu ao Brasil chegar ao topo da produção e exportação das principais *commodities* mundiais.

Diante deste cenário, as empresas fabricantes de máquinas agrícolas foram evoluindo em paralelo à agricultura, atendendo as necessidades locais, disponibilizando aos produtores máquinas e implementos adaptados às suas realidades. O desenvolvimento do setor não se baseou apenas na ampliação do tamanho das máquinas, mas também propôs ferramentas de auxílio ao manejo dos cultivos, tendo como objetivo principal o aumento da eficiência das operações mecanizadas. Ademais, a eletrônica embarcada ganhou espaço no mercado, permitindo que as máquinas e implementos pudessem ser orientados por Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), possibilitando o manejo das lavouras por meio de sítios específicos.

Com a abertura do Sistema de Posicionamento Global (GPS) para o mercado civil, surgiu a oportunidade para a agricultura de geoposicionar as máquinas agrícolas dentro dos talhões, tornando-as rastreáveis, além de possibilitar a utilização de variados tipos de sensores com diferentes funcionalidades. Cabe ressaltar, que os primeiros sensores foram desenvolvidos para as colhedoras autopropelidas, visando o monitoramento da produção e sua variabilidade espacial. Neste cenário, entra a agricultura de precisão, que busca investigar as diferenças espaciais e temporais dentro de uma determinada área, tornando mais racional a utilização de insumos (MOLIN, 2009).

Esse tipo de aplicação requer um equipamento preparado, no qual contempla um terminal virtual para interpretação de mapas com a prescrição das doses, um atuador com sensores de controle cortes de seções automáticas guiadas por sinal GNSS, sendo necessário uma programação pré-operação, com intuito de não ocorrer sobreposição das aplicações (MANTOVANI et al., 2013).

Cabe destacar, que a justificativa pela adoção de novas tecnologias e práticas agrônômicas recai sobre racionalização da utilização de corretivos e fertilizantes devido ao alto preço destes insumos. Corroborando, Oliveira et al., (2019) descrevem que mesmo o Brasil ocupando o espaço dentre os maiores produtores de alimentos do mundo, ainda se faz necessário a importação de grande parte dos insumos, fazendo com que o preço seja altamente influenciado pelas taxas cambiais, demandas globais e capacidade de produção externa.

No caso da aplicação de corretivos, Molin (2009) descreve que a aplicação de calcário pode ser feita com diferentes tipos de atuadores, sendo por distribuição centrífuga ou pendular, por queda livre ou aplicadoras pneumáticas. O autor ainda menciona que pelo baixo número de ajustes o distribuidor centrífugo (discos), acaba sendo o mais usual, pois garante uma boa faixa de trabalho aliado a qualidade de aplicação, quando bem regulado. No entanto, cuidados operacionais influenciam diretamente nos custos finais de produção, sendo que para mensurar a qualidade da aplicação com equipamentos de discos rotativos, pode-se medir sua distribuição transversal, e pela quantidade de sobreposição, que impacta na quantidade de produto aplicada a mais que o necessário (SAGRILO et al., 2019).

Quando os equipamentos utilizados na aplicação não são contemplados com pilotos automático e, trabalhando em conjunto com outros equipamentos na mesma área, obriga os operadores a realizarem a orientação das faixas de aplicação de forma visual, considerando quando possível colorações diferenciadas deixados pelo produto, ou marcas dos rastros deixados pelos rodados da passagem anterior. Desta forma, ocorrem falhas ou sobreposição de produtos na aplicação.

Portanto, a aplicação de corretivos e fertilizantes à lanço apresenta problemas, dentre estes a sobreposição, sendo necessário o desenvolvimento e avaliação de novas tecnologias que visam melhorar a qualidade da aplicação, otimizando desta forma o uso destes insumos.

2. OBJETIVO

2.1. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem por objetivo avaliar a partir de um estudo de caso a sobreposição na aplicação à lanço de corretivos de solo utilizando a comunicação via rádio entre máquinas.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a área de sobreposição, considerando a execução de uma operação real e simulada;
- Mensurar a economia de produto considerando diferentes formas de aplicação utilizando a comunicação via rádio entre máquinas;
- Realizar a análise econômica em diferentes formas de aplicação a partir da redução da quantidade de corretivo aplicado.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 AGRICULTURA E TECNOLOGIAS

Segundo Silveira (2005), o sistema mecanizado agrícola é o conjunto de equipamentos, máquinas e implementos que realizam os processos de implantação, condução e retirada das culturas comerciais, podendo ser considerado ponto estratégico para atuar na redução de custos, pois pode representar de 20 a 40% dos custos de produção.

Historicamente, a mecanização agrícola teve seu início no século XIX, onde a atividade agregou em ganhos de produtividade, promovendo o avanço da agricultura, e alterando toda a forma de realização das práticas agrícolas (VIAN et al., 2013). De

acordo com Perin (2008) o Brasil passa a ter avanços significativos na agricultura quando troca a tração animal pela tratorizada. Essa conversão ganhou força com o governo do presidente Getúlio Vargas, que passou a implementar programas de incentivo, que impulsionou a importação de tratores oriundos do mercado externo. Corroborando, Dallmeyer (2002) descreve que grande salto no uso de tratores ocorreu nas décadas de 30 e 40, com a mecanização da cafeicultura paulista e, mais tarde, com a abertura de áreas no Paraná. Neste sentido, é interessante notar que essa revolução tecnológica possibilitou avanços não somente voltados às indústrias, mas também em setores, como a agricultura.

Diversas tecnologias têm apoiado, no sentido de aprimorar a capacidade de monitoramento e tomada de decisão, como se guiar por satélite, sensoriamento remoto, computação em rede, computação onipresente e computação sensível ao contexto, estão apoiando o dito domínio para melhorar a capacidade de monitoramento e tomada de decisões no campo (AQEEL-UR-REHMAN, 2017). Segundo Cema (2017), a Agricultura de Precisão, uma das principais ferramentas da agricultura 4.0, começou quando os sinais de GNSS foram disponibilizados para o público em geral. Ela possibilita a orientação de veículos e o monitoramento e controle específico até o local de deslocamento. Isso permite uma melhora na precisão das operações e também o gerenciamento de variações de deslocamento em campo (ou em rebanho). O objetivo é dar a cada planta (ou animal) exatamente o que ele precisa para crescer otimamente, com o objetivo de melhorar a produção agrônômica, enquanto reduz a entrada, produzindo mais com menos.

Com esse fomento tecnológico, aplicado em todas as áreas a agricultura não ficariam de fora, várias empresas, governos e *startups* que vem falando sobre a Agricultura Digital, Agricultura 4.0, sendo esta terminologia derivada da Indústria 4.0, aplicada a agricultura, referindo-se à utilização de tecnologia de ponta na produção de alimentos (RIBEIRO et al., 2017).

O Brasil, como um dos maiores produtores agrícolas mundiais, exerce importante papel no sentido de aderir à agricultura 4.0, investindo em modernização e tecnologia e, dessa forma, inserindo cada vez mais práticas sustentáveis ao setor. Ainda, existe uma grande possibilidade do Brasil ampliar sua produção de alimentos com as novas tecnologias, dada sua extensão territorial e clima favorável (RIBEIRO, et al., 2017).(RIBEIRO; MARINHO; ESPINOSA, 2017)

Mostrando-se algo futurístico e de difícil acesso, por outro lado isso já é uma realidade, sendo as principais características dessa nova onda chamada Agricultura 4.0, o digital e a conexão, ou seja, uma forma além da utilização de sensores, ferramentas, tratores autônomos, *drones*, *gadgets*, *hardwares*, *software*, é uma nova forma de pensar o espaço agrícola, uma nova fórmula de produção de alimentos e interação com o espaço de produção que estamos enfrentando. Além disso, essa transformação digital em que as empresas e governos já estão conectados de forma digital é inevitável que ocorra também na agricultura, não se baseando apenas em moda, mas sim em mudança de cultura, onde que difíceis tecnologias passadas são hoje simplificadas e acessíveis, seu grande potencial reside na sua transversalidade podendo agregar valor e benefício para as diversas áreas de negócios, mercado, agricultura e meio ambiente (MASSRUHÁ et al., 2014).

Especificamente no caso da Agricultura 4.0, Clercq et al. (2018) descrevem que esta visa contribuir, aliando o emprego da tecnologia a uma utilização mais racional de insumos, visando sua máxima eficiência, assim como, a inovação que parece caminhar cada vez mais rápido nessa área como a impressão 3D de alimentos e modificação genética. Isso viabiliza o cultivo em novas áreas em que hoje ficam inviabilizadas devido a questões climáticas (CLERCQ et al. 2018).

Desta forma, essa nova fase passa pela era dos dados, pois o sensoriamento de vários atributos permite a criação de modelos matemáticos preditivos capazes de aumentar a precisão das decisões tomadas. Os modelos medem aspectos qualitativos do solo, plantas e máquinas, podendo estes estarem embarcados em máquinas, atrelados a satélites ou drones, e até mesmo no solo, o chamado sensoriamento proximal (BONNEAU, et al. 2017).

Segundo a EMBRAPA (2012), essa nova fase da agricultura que está se desenvolvendo também deve acompanhar outros pontos, além daquelas que ela já desempenha como principais funções de produzir massa de grãos, fibra e energia. Englobando também a partir de agora fatores da eficiência de produção por área, aliado a fatores ambientais como sequestro de carbono e redução na utilização de insumos.

3.2 COLETA E TRANSFERÊNCIA DE DADOS

A coleta de dados baseia-se em armazenar todas as informações obtidas pelo equipamento. Esses dados basicamente são gerados por sensores instalados nos equipamentos, tendo-se sinais analógicos que são oriundos de pulsos elétricos, sendo interpretados por microcontroladores transformando-os em sinais digitais, que são alocados em uma repartição de memória externa (CASTRO et al. 2017).

Além das informações registradas pelos sensores, pode-se obter a geolocalização de cada dado, já que é possível a integração das informações, adicionando a localização obtida por receptores GNSS, comumente instalados em máquinas com pacote tecnológico compatível com agricultura de precisão (ROSA, 2019).

A descrição do termo comunicação é definida pelo conceito de uma informação passando de um lugar a outro, passando por qualquer tipo de mídia. Ainda, esse tipo de rede passa por três elementos principais: o transmissor, o canal da comunicação e o receptor, ou seja, cada dado gerado passa por uma conversão para sinais elétricos e codificados, enviados por um tipo de rede, variando de acordo com a que melhor se adapta a situação, e recebidos por um receptor que decodifica e repassa a informação (SOUZA, 2019).

A comunicação entre máquinas está passando pelo período de desenvolvimento para níveis de mercado, já que esse ponto passa por uma série de desafios técnicos, sendo o principal o tipo de comunicação adotada. Essa integração passa a ser viabilizada com a chegada de conceitos como a “*Internet of Things*” (Internet das Coisas), onde temos uma conexão via internet, tudo isso impulsionado pela rede 5G que permite uma rápida distribuição de informações, com baixa banda e consumo de energia reduzido (ANDRES-MALDONADO et al., 2017).

Uma alternativa para diminuir a lacuna de tempo, seria o uso de uma rede local, com conexões via rádio, do ponto de vista técnico, o tipo de rede “*ZigBee*”, que tem baixo custo de investimento, capaz de operar em uma frequência de transmissão igual à 2.4 GHz para alcances próximos. No entanto, possui características para trabalhar faixas entre 868 e 915 MHz implicando no alcance para áreas maiores, tendo uma

taxa de dados próximo à 250 kbps. Seu funcionamento depende de um *gateway* entre os dispositivos, para estabelecer os seus protocolos (SOUZA, 2017).

De acordo GSMA INTELLIGENCE (2015) as aplicações Máquina a Máquina (M2M) são particularmente adequadas ao setor agrícola, permitindo que agricultores e empresas agrícolas, entre outras atividades, monitorem equipamentos, gerenciem com precisão as suas safras, avaliem o impacto ambiental da produção e acompanhem tratores, colheitadeiras e outros veículos. Além disso, dada a pressão sobre os recursos agrícolas, o sistema M2M pode servir como uma forma de ajuda aos agricultores na tomada de decisões informadas e melhorar a produtividade, bem como aumentar a transparência e a eficiência em cadeias de valor agrícolas mais amplas.

De acordo com Cobbos (2018), com a integração das tecnologias de dados entre equipamentos cibernéticos e tecnologia da informação, as empresas tendem a investir em nuvem de dados. Ainda, esses dados ficam disponíveis em nuvem e são compartilhados, sendo que a partir de uma conexão com a internet pode acessar os dados da empresa, consultar arquivos, executar tarefas e tomar decisões usando os dados armazenados na nuvem.

3.3 TERMINAL VIRTUAL E APLICAÇÃO À TAXA VARIÁVEL

Os terminais virtuais dentro do ramo agrícola possuem grande importância, por realizarem todo o controle da máquina, sendo que esse controle passa por calibrações dos equipamentos, gerando fatores de aplicação, possuindo a capacidade de interligar com informações de geoposicionamento, permitindo que o atuador possa controlar sua taxa de aplicação de acordo com o seu posicionamento global, ou seja, trabalhando em um tipo de aplicação denominada “*Variable Rate Technology*” (VRT) ou “Taxa Variável de Aplicação” (RAMOS, 2021).

O controle de seções dentro da agricultura, foi implantado com intuito principal de poder seccionar os módulos de aplicação, ao mesmo tempo é possível reduzir as áreas de transpasse. Esse aparato foi embarcado em paralelo a eletrônica nas máquinas, pois permitiu o fácil acionamento via botoeiras de comando (VIEIRA, 2013).

Com a integração entre as tecnologias, os controladores passaram a obter o posicionamento global da máquina, através do sinal GNSS, e assim calcular as áreas de aplicação, já que ele possui as informações de medida de máquina e a faixa longitudinal de trabalho, dessa forma o próprio terminal realiza automaticamente o desligamento das seções (VIEIRA, 2013).

Essa modalidade não é muito antiga no meio agrícola, sendo implantada no Brasil no início dos anos 2000 e, sendo usada amplamente em escalas maiores a partir do ano de 2010, devido aos preços de importação de produtos eletrônicos para o mercado brasileiro. A aplicação em taxa variável é um manejo disruptivo a aquele aplicado na agricultura por muitos anos determinado como “Taxa Fixa”, sendo que este manejo trouxe a possibilidade de realizar aplicações de insumos, ou seja, sementes, fertilizantes e produtos químicos de acordo com a variação espacial dentro do talhão (RAMOS, 2021).

Uma das virtudes da aplicação à taxa variável, é considerar a diferença espacial de cada talhão, ou seja, é necessária à coleta de dados referente aos atributos em que serão aplicados manejos espacializados (Molin et al., 2015). Dessa forma, é realizada a investigação das variáveis, seja ela por amostragem de solo, a onde se realiza sondagens a uma determinada densidade por área, e os resultados interpolados e interpretados por um corpo técnico. Existe também a possibilidade do sensoriamento, podendo este ser de solo ou da planta, onde se obtêm uma maior malha de amostras, e possibilidade do uso embarcado em máquinas, como por exemplo o N-Sensor, que mede a reflectância da biomassa das culturas implantadas para a aplicação de nitrogênio (MOLIN et al., 2015).

3.4 GERENCIAMENTO DE OPERAÇÕES

Segundo estudos de Banchi et al. (2012), os custos operacionais finais com a mecanização de grandes grupos podem chegar até 65%, tornando fundamental a gestão da frota. Os autores destacam que o investimento na gestão de toda frota, permite um melhor acompanhamento, com objetivo de reduzir esses custos que atravessam pela manutenção das máquinas, consumo de combustível e ajuste de tráfego.

Além do acompanhamento do desenvolvimento das grandes culturas agrícolas, o atual cenário exige também um gerenciamento sobre a operação desenvolvida pelas máquinas, com um objetivo claro de chegar a uma eficiência máxima dos equipamentos, com isso é possível a redução dos custos operacionais dentro do planejamento. Dessa forma o investimento de tempo em uma gestão da frota torna-se viável, quando ela traz retornos, e aumenta a rentabilidade (REGATTIERI, 2018).

Segundo Guimarães (2004) a geometria dos talhões pode afetar diretamente no rendimento operacional, de modo em que o planejamento do trajeto pode influenciar nesta eficiência, ou seja, quanto maior o tamanho da pista de deslocamento, menor será o número de manobras. O tamanho das máquinas também afeta, em função da capacidade de esterçamento do equipamento e suas dimensões, demandando maior tempo para realização da ação de manobra, acarretando tempo perdido, já que não é feita a aplicação neste período.

Estudos desenvolvidos na cultura do café por Cunha et al. (2015), apontam que a geometria, declividade, padrão de operação e tamanho dos talhões avaliados precisam ser considerados, tanto no momento do planejamento dos trabalhos e no momento da escolha do equipamento.

3.5 APLICAÇÃO DE CORRETIVOS DE SOLO

Visando a adequação dos níveis da acidez do solo, a prática utilizada para isso é denominada calagem, que implica a aplicação de calcário no solo (carbonatos de cálcio), sua reação no solo é convertida em aumento do pH, segundo Wiethölter

(2000), isso acontece com a solubilização do CaCO_3 em água liberando OH^- (oxidrilas), que por sua vez irão reagir com os cátions de hidrogênio (H^+), formando CO_2 (gás carbônico) e H_2O (água). Para a agricultura a neutralidade do processo anteriormente descrito se encontra em torno de 6,0 à 6,5 unidades de pH, redução da presença do Alumínio trocável, que pode ser prejudicial ao desenvolvimento das plantas e aumento da concentração de Cálcio na solução do solo (CAIRES et al., 2000).

A operação da calagem tem uma grande importância no meio de produção agrícola, pois através dela, podemos ajustar os níveis de acidez do solo, isso está diretamente ligado aos níveis potenciais de absorção dos nutrientes por parte das raízes, dentro deste processo além da liberação de carbonatos, se tem também a adição de *Ca* e *Mg*, dois macronutrientes (Freiria et al. 2008).

Por se tratar de um produto na forma de pó, o modo de aplicação deve ser levado em conta, segundo Molin (2009) para isso existem diferentes métodos, sendo aplicadores por gravidade, aonde o produto é despejado pela abertura de uma comporta ou dosado por uma esteira que aplica direto no solo, por barras longitudinais com roscas que carregam o produto e por máquinas com discos rotativos, que realizam o lançamento das partículas por uma faixa determinada pela posição das palhetas do equipamento.

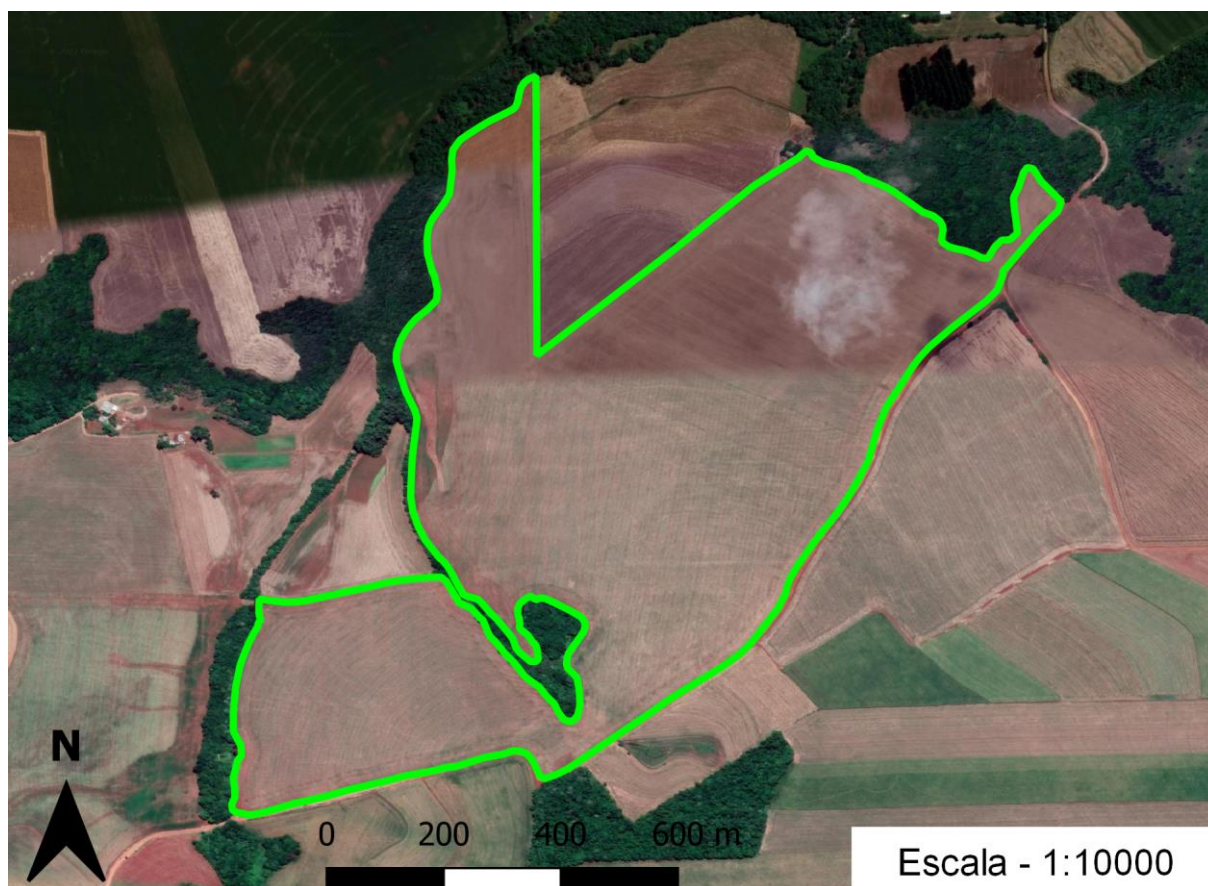
4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA

O experimento foi realizado em uma área agrícola de 91 hectares localizada no município de Não-Me-Toque, situada no Planalto Médio do estado do Rio Grande do Sul, com altitude média de 500m. O clima da região é o Cfa, definido conforme a classificação Köppen, sendo o solo da área classificado como um Latossolo Vermelho Distrófico Típico (EMBRAPA, 2006).

A execução do trabalho ocorreu em conjunto com a Cotrijal Cooperativa Agropecuária e Industrial, tendo a área escolhida as seguintes coordenadas geográficas, $28^{\circ}31'42.8''S$ e $52^{\circ}47'57.1''W$, para latitude e longitude, respectivamente. A Figura 1 apresenta o perímetro externo da área onde o experimento foi realizado.

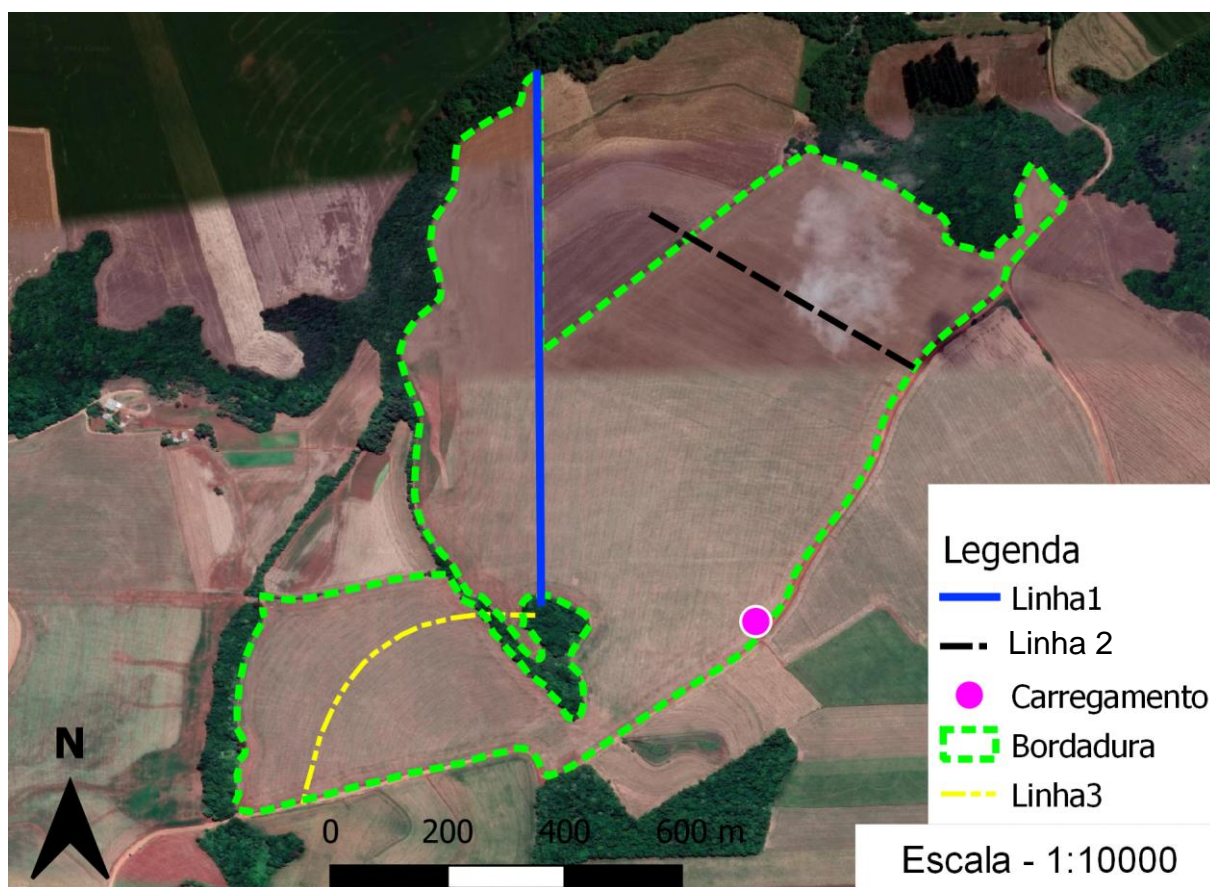
Figura 1 – Representação da área com destaque ao seu perímetro.



Fonte: Autor, 2022.

A escolha da área se deu por motivos técnicos, devido ao seu histórico ser voltado ao uso de tecnologias de agricultura de precisão. Destaca-se o tráfego controlado de máquinas, o qual permitiu utilizar as linhas de tráfego anteriormente planejadas, totalizando três, sendo o ponto de abastecimento de produto próximo a estrada vicinal facilitando desta forma o acesso (Figura 2).

Figura 2 – Detalhamento da área, com suas respectivas linhas de guia para máquinas e ponto de abastecimento do produto.



Fonte: Autor, 2022.

4.2 EQUIPAMENTOS E SOFTWARES UTILIZADOS

4.2.1 Hércules 24000 C

Para o trabalho foram utilizados 2 distribuidores centrífugos da marca Stara, especificadamente o modelo Hércules 24000 C, montados em caminhões (Figura 3). Ambos os distribuidores possuem capacidade de carga com 24.000 kg de produto, sendo a distribuição dos produtos realizada através de dois discos rotativos,

contemplando uma faixa de aplicação. Este equipamento possui um sistema de dupla comporta para controle das seções, permitindo desta forma o fechamento individual de determinada comporta a fim de evitar sobreposições na aplicação. O mecanismo de controle para aplicações a taxa variável é realizado por meio da variação na rotação da esteira, proporcionada por um motor hidráulico que realiza essa variação, por uma válvula PWM (Pulse Width Modulation) (STARA, 2022).

Figura 3 – Hércules 24.000 C em aplicação a campo.



Fonte: Autor, 2020.

Esses equipamentos normalmente não são contemplados com pilotos automáticos, forçando uma aplicação manual do operador, através de antigos rastros ou por barra de luzes, que indicam por onde o equipamento deve passar para realizar a aplicação, podendo assim gerar falhas ou sobreposições de taxas aplicadas.

4.2.2 Sistema Machine to Machine (M2M)

O sistema M2M basicamente realiza uma conexão entre as máquinas, estabelecida por uma comunicação do tipo rádio, onde é compartilhado informações de trabalho, essa é interpretada pelo controlador individual de cada máquina. Neste sentido, o Syncro é uma tecnologia desenvolvida pela empresa Stara, que utiliza este princípio, permitindo que até quatro máquinas ou implementos de mesma função possam trabalhar sincronizados compartilhando informações.

O sistema proporciona o melhor planejamento das operações, possibilitando manejos padronizados para cada talhão de lavoura, evitando transpasse, consequentemente gerando economia de insumos, bem como melhora o rendimento operacional. O sistema permite compartilhar dentro de uma rede em tempo real dados referentes a execução da operação de cada uma das máquinas dentro do talhão, como: dados de taxa aplicada, velocidade e relatórios de área aplicada. Ademais, possibilita importar talhões, linhas guias e mapas de aplicação a taxa variável de todos os controladores no qual o sistema está pareado. O grande diferencial no sistema é a conexão via rádio, criando uma rede local com alto alcance e baixa perda de comunicação.

Esse sistema é integrado à máquina através de um Hub rádio comunicador, que emite a frequência configurada em fábrica de 900 MHz, e sua transmissão se dá através de uma antena (Figura 4), sendo sua integração realizada por meio de um chicote elétrico, utilizando a rede de *Controller Area Network* (CAN), identificado pelo terminal virtual Topper 5500.

Figura 4 – Conjunto de montagem Syncro.



Fonte: Autor, 2022.

O CAN é um protocolo de comunicação serial síncrono. O sincronismo entre os módulos conectados à rede é feito em relação ao início de cada mensagem lançada

ao barramento (evento que ocorre em intervalos de tempo conhecidos e regulares). A rede CAN operante nas máquinas Stara, trabalha em uma resistividade de 60 Ohms, em uma frequência de 20 Hz para transmissão de dados.

4.2.3 QGIS

O QGIS é um software computacional OpenSource, ou seja, com código aberto e colaborativo, utilizado para trabalhos em ambientes com Sistema de Informação Geográfica (GIS) e de licença livre. Neste sentido, o software QGIS é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) licenciado segundo a Licença Pública Geral. É um projeto oficial da Open Source Geospatial Foundation (OSGeo), compatível com os sistemas operacionais Linux, Unix, Mac OSX, Windows e Android e suporta inúmeros formatos de vetores, rasters e bases de dados e funcionalidades (QGIS OpenSource, 2022).

A versão utilizada para o presente trabalho foi do QGIS 3.10, a fim de determinar as intersecções formadas entre as máquinas, para tal objetivo foi utilizada a ferramenta “Intersecções”. Dessa forma se criou três camadas contendo todas as áreas de sobreposição de aplicação, como o software não distingue os objetos formados, teve-se que excluir manualmente as regiões, para considerar apenas os transpasses formados entre as máquinas.

4.2.4 Topper 5500

Terminal Virtual Topper 5500 (Figura 5) é um equipamento produzido pela empresa Stara, que apresenta como funcionalidades um controlador e coletor de informações da máquina. Possui sistema GNSS, conexão com internet, comunicação CAN, realizando todos os controles da máquina, integrando desta forma todos os sistemas.

Figura 5 – Topper 5500 VT em operação com máquinas sincronizadas.



Fonte: Autor, 2022.

4.3 COLETA DOS DADOS

Para a coleta dos dados foi realizado o acompanhamento a campo da aplicação real, para elencar as possíveis variáveis que poderiam interferir no desempenho das máquinas a campo. Dessa forma optou-se por realizar duas situações simuladas, como o controlador possui a função “simulador”, sendo possível realizar todas as funções da máquina em ambiente virtual, tendo-se um ambiente experimental com maior controle sobre as variáveis.

Inicialmente foi desenvolvido em conjunto com a área de Engenharia de Produto e Experimental da empresa Stara, um novo software para o equipamento Topper 5500 visando à adaptação e instalação de um sistema de compartilhamento de dados entre máquinas. Desta forma, o software permitiu realizar a coleta de dados durante a realização das operações, em função do sistema anterior não possuir esta funcionalidade, mostrando mais uma vez a importância entre a parceria empresa e instituição de ensino, pois com esse trabalho foi possível agilizar o lançamento do produto ao mercado, trazendo benefícios para toda a esfera produtiva da agricultura.

Após a conclusão e disponibilização do software para uso de forma experimental, procedeu-se a compilação no equipamento (hardware) e instalação nos caminhões equipados com os distribuidores centrífugos.

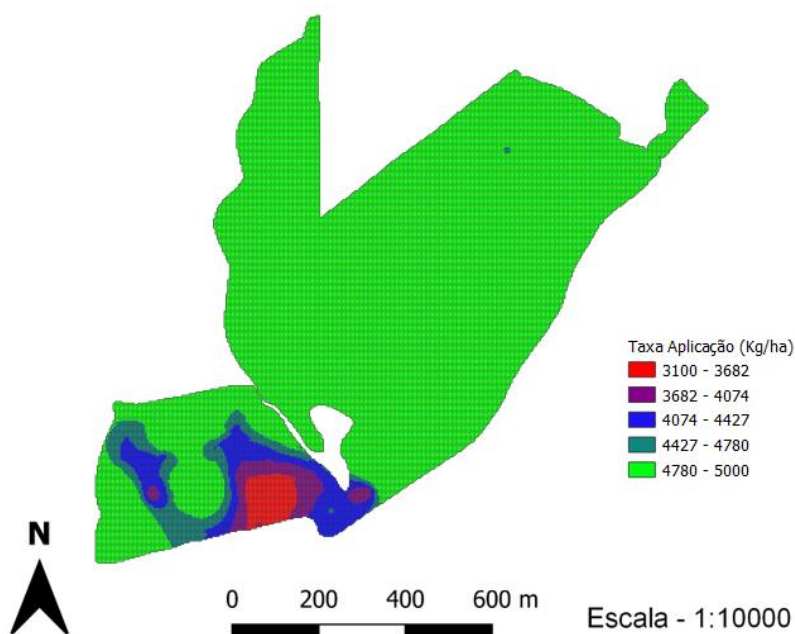
Para determinação dos parâmetros operacionais e da sobreposição durante a operação de aplicação de corretivos a lanço o trabalho foi dividido em duas etapas, sendo a primeira realizada a campo e a segunda em bancada, por meio da simulação computacional.

4.3.1 Coleta de dados a campo

A coleta de dados a campo definida como aplicação A ocorreu nos dias 06 e 07 de novembro de 2020, por meio do acompanhamento em tempo integral dos operadores, buscando identificar padrões de execução da aplicação, concomitantemente com a coleta de dados pelo controlador instalado nos caminhões.

Para a Aplicação A, realizada na forma de taxa variável, a recomendação de calagem foi realizada pela Cooperativa Cotrijal bem como a elaboração do mapa de aplicação. O mapa de aplicação (Figura 6) possui taxas que variaram de 3.836 kg ha⁻¹ à 5.000 kg ha⁻¹.

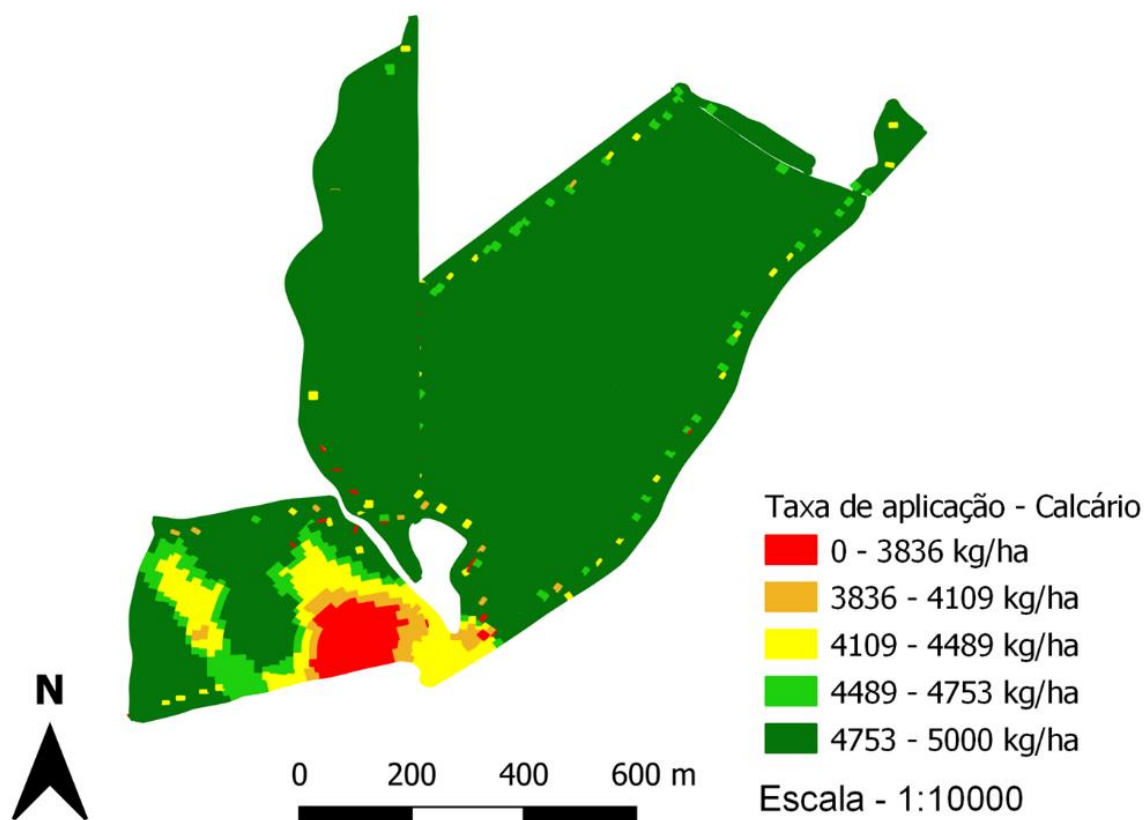
Figura 6 - Mapa de aplicação da taxa variável de calcário.



Fonte: Autor, 2022.

O mapa de rastreabilidade da Aplicação A (Figura 7), diferentemente do mapa de aplicação (Figura 6), apresenta uma resolução maior, sendo que para o mapa de recomendação o *grid* adotado foi de 4 metros, tendo-se uma largura da faixa de aplicação real de 14 metros.

Figura 7 - Mapa de rastreabilidade da Aplicação A.



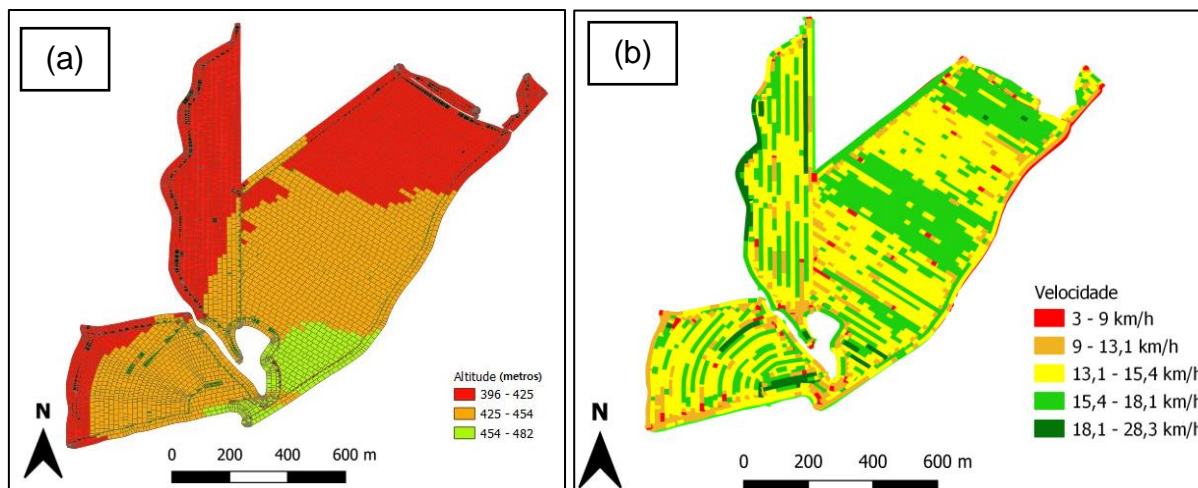
Fonte: Autor, 2022.

Durante a operação de aplicação do corretivo, foi possível observar a dificuldade dos operadores para visualizar as passadas anteriores onde ocorreu a aplicação. A área possuía resteva da cultura do trigo, sendo praticamente impossível identificar os rastros deixados pela passagem do outro caminhão. Desta forma, com a aquisição dos dados de operação utilizando o sistema desenvolvido, permitiu o compartilhamento destes dados em tempo real, sabendo-se onde realmente a segunda máquina passou.

Como parâmetros de operação, foram levantados os tempos médios de deslocamento até ao ponto de abastecimento, bem como o tempo de carregamento

do produto nos caminhões, velocidade de deslocamento e geolocalização. Os mapas de altitude e velocidade na Aplicação A podem ser visualizados na Figura 8.

Figura 8 - Mapa de altitude (a) e mapa de velocidade (b) obtidos na Aplicação A.



Fonte: Autor, 2022.

4.3.2 Simulação do planejamento em plataforma digital

Para realização da simulação da aplicação em condições controladas, foi utilizado o modo simulador, função disponível no controlador Topper 5500. Este sistema permite simular a posição geográfica, velocidade de deslocamento e leitura do sensor da esteira dosadora em ambiente virtual. A opção por realizar a aplicação via simulação se deve ao controle rigoroso e com o intuito de evitar uma possível compactação do solo na área disponibilizada, além dos custos adicionais.

Considerando a primeira aplicação realizada a campo (Aplicação A) a segunda aplicação (Aplicação B) foi conduzida em ambiente virtual com apenas os equipamentos comuns, ou seja, sem a utilização do sistema M2M. Já a terceira aplicação denominada como Aplicação C, foi desenvolvida com a comunicação entre máquinas por meio do sistema M2M (Tabela 1)

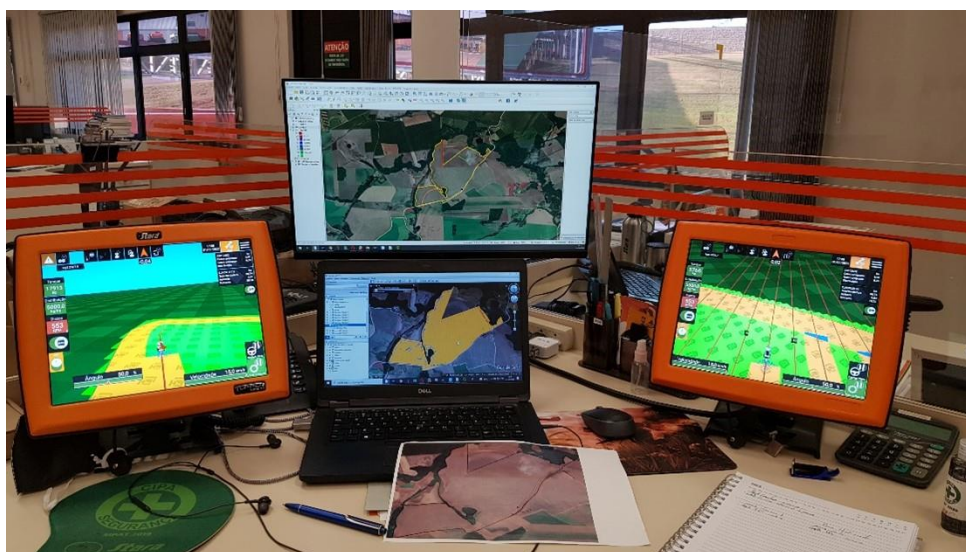
Tabela 1 – Formas de aplicação utilizadas para as avaliações experimentais.

Aplicações	Descrição
Aplicação A	Aplicação real utilizando o sistema M2M
Aplicação B	Simulação sem utilizar o sistema M2M
Aplicação C	Simulação com a utilização do sistema M2M

Após coletados os dados a campo, o sistema e conhecimento foram transferidos e instalados em uma bancada de testes, podendo-se desta forma repetir o experimento de campo, com e sem a tecnologia do sistema M2M a fim de identificar potenciais diferenças para as variáveis analisadas.

A coleta de dados em bancada (Figura 9), por meio de simulador teve a duração de 3 dias, sendo um para preparação do experimento e os outros dias destinados para a coleta por meio de simulação

Figura 9 - Bancada de simulação das aplicações com e sem o sistema M2M.



Fonte: Autor, 2022.

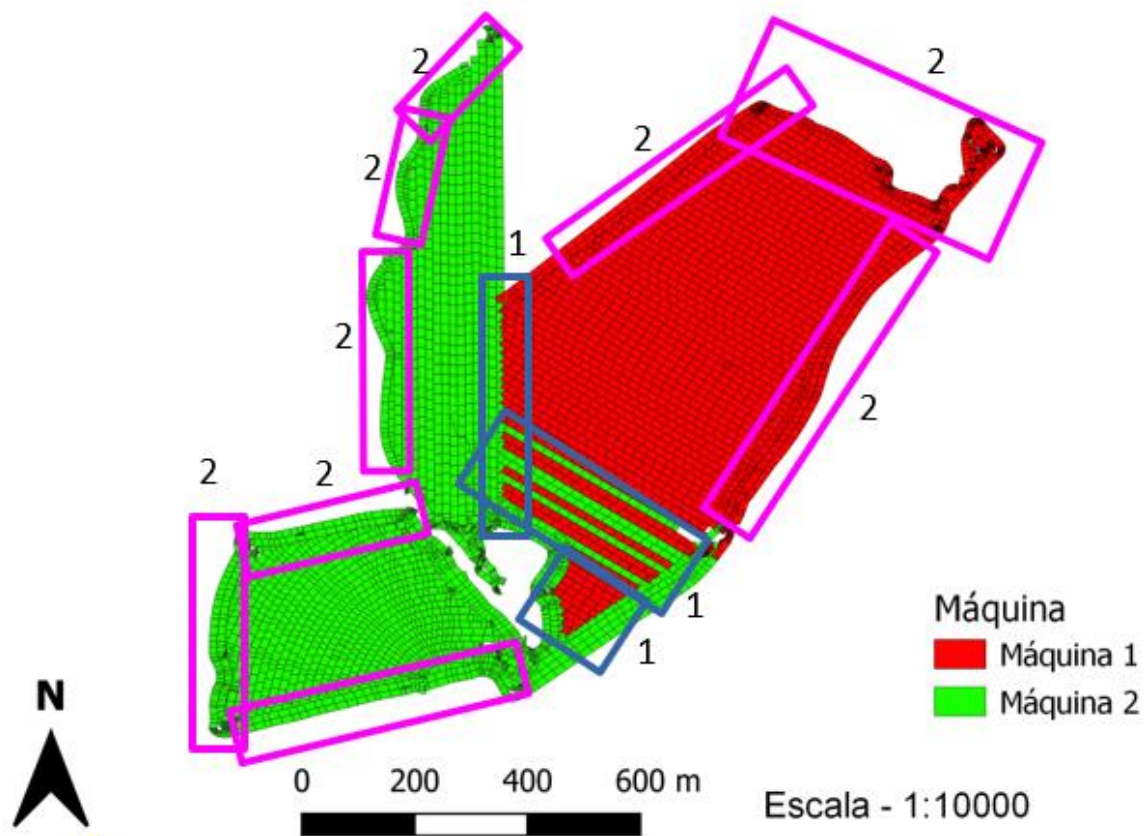
Durante a realização do experimento em bancada foram utilizadas as mesmas configurações e condições encontradas na área experimental (campo), considerando as calibrações dos simuladores (máquinas), set de velocidades, gerações de linhas guias e bordaduras, local de abastecimento do produto. Todas as variáveis relacionadas à aplicação simulada, foram registradas no próprio controlador Topper 5500, para posterior análise.

Devido ao equipamento utilizado no experimento, possuir apenas uma seção, obrigatoriamente a máquina deve passar pela faixa contemplando a largura total de trabalho para ocorrer uma aplicação completa. Neste caso, para obter uma informação mais fidedigna, se considerou apenas a sobreposição de produto, entre máquinas e não individualmente.

O mapa de rastreabilidade da Aplicação A (Figura 10) destaca as áreas de aplicação separada por máquinas, sendo denominadas como Máquina 1 e Máquina 2. Desta forma tornou-se possível realizar uma representação e mensuração das áreas que ocorreram sobreposição entre as aplicações realizadas, bem como os transpasses gerados individualmente pelas máquinas, posteriormente descartados.

Neste sentido, as sobreposições totais foram ignoradas sendo utilizada apenas a sobreposição onde as duas máquinas se encontram. Com auxílio do *Software* QGIS utilizando a função de intersecção de vetores, selecionando o vetor de aplicação da Máquina 1 e Máquina 2, gerou-se um novo vetor demonstrando onde ocorreu a intersecção.

Figura 10 – Mapa de rastreabilidade do trabalho realizado, áreas de transpasse entre máquinas (nº1, cor ciano) e individuais (nº2, cor lilás).



Fonte: Autor, 2022.

A partir dos dados foi possível determinar a área de sobreposição de aplicação, por meio da Equação 1:

$$T = \frac{(As \times 100)}{At} \quad (1)$$

Onde:

T: percentual de transpasse (%);

As: área de sobreposição (ha);

At: área total (ha).

4.4 ANÁLISE ECONÔMICA CONSIDERANDO DIFERENTES FORMA DE APLICAÇÃO

Devido ao modelo comercial da prestadora de serviço, os cálculos foram realizados com base na quantidade total de produto aplicado (Aplicação A), comparando as demais situações B e C, considerando-se os índices de transpasse.

A partir disso, calculou-se a economia de produto gerada a partir da comparação entre métodos de aplicação, e aplicada sobre a média anual que cada caminhão aplica, pelo produto do valor para realização do serviço.

Para determinação da economia total de produto anual de cada tratamento, foi utilizado a Equação 2:

$$Et = TAa \times Vp \times ((TSs - TCs)/100) \quad (2)$$

Onde:

Et: Economia total (R\$ ano⁻¹);

TAa: Total aplicado anualmente por máquina (t⁻¹)

Vp: valor do produto (R\$ t⁻¹)

TSs: transpasse sem o sistema (%)

TCs: transpasse com o sistema (%)

Para determinar o valor monetário da economia em área total, foi utilizado a Equação 3.

$$Ea = (ASs - ACs) \times Vp \quad (3)$$

Onde:

Ea = Economia na área (R\$);

ASs: área aplicada sem o sistema (ha⁻¹);

ACs: área aplicada com o sistema (ha⁻¹);

Vp: valor do produto (R\$ t⁻¹)

4.5 ANÁLISE DE DADOS

Os dados referentes às variáveis relacionadas aos parâmetros operacionais de aplicação nas condições de aplicação A, B e C, foram tabuladas e analisados com

suporte de planilhas eletrônicas em percentagem de retorno, procedendo-se à análise por meio da estatística descritiva dos resultados obtidos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. DETERMINAÇÃO DA ÁREA DE SOBREPOSIÇÃO, CONSIDERANDO A OPERAÇÃO REAL E SIMULADA

A partir dos dados brutos de transpasse coletados a campo, considerando a área total de aplicação, e as máquinas aplicando individualmente (Tabela 2), pode-se inferir que o tratamento sem a comunicação estaria economizando aproximadamente 0,55% sobre as demais situações, ou seja, englobando os pontos gerados pela própria máquina.

Tabela 2 - Valores de sobreposição total de áreas considerando diferentes máquinas e formas de aplicação.

Aplicações	Sobreposição Maq.1 (%)	Sobreposição Maq.2 (%)	Sobreposição Média (%)
Aplicação A (real com M2M)	2,50	6,94	4,72
Aplicação B (Simulado sem M2M)	3,14	5,20	4,17
Aplicação C (Simulado com M2M)	3,31	6,15	4,73

Aplicação A – Aplicação real com o sistema M2M; Aplicação B – Simulação sem o sistema M2M e Aplicação C – Simulação com o sistema M2M.

Fonte: Autor, 2022.

De forma geral, ao se considerar a Aplicação A, realizada no campo utilizando o sistema de comunicação entre máquinas a sobreposição média obtida foi de 4,72%, apresentando uma diferença percentual de 0,21% e 11,65% para a Aplicação B e C, respectivamente. Quando analisadas individualmente as máquinas, nota-se que na Aplicação A a máquina 1 apresentou uma sobreposição de 277% superior, o que corresponde a uma diferença percentual de 177%. No entanto, cabe destacar que o comportamento foi semelhante nas demais aplicações simuladas, porém com diferenças menores, sendo tal fato explicado pela orientação dos trajetos adotados pelas máquinas (Figura 11), onde a última faixa de aplicação da Máquina 2 coincide transversalmente sobre a extremidade da área de manobra da Máquina 1.

Figura 11 – Mapa de rastreabilidade do trabalho realizado pelas máquinas 1 e 2 na Aplicação C.



Fonte: Autor, 2022.

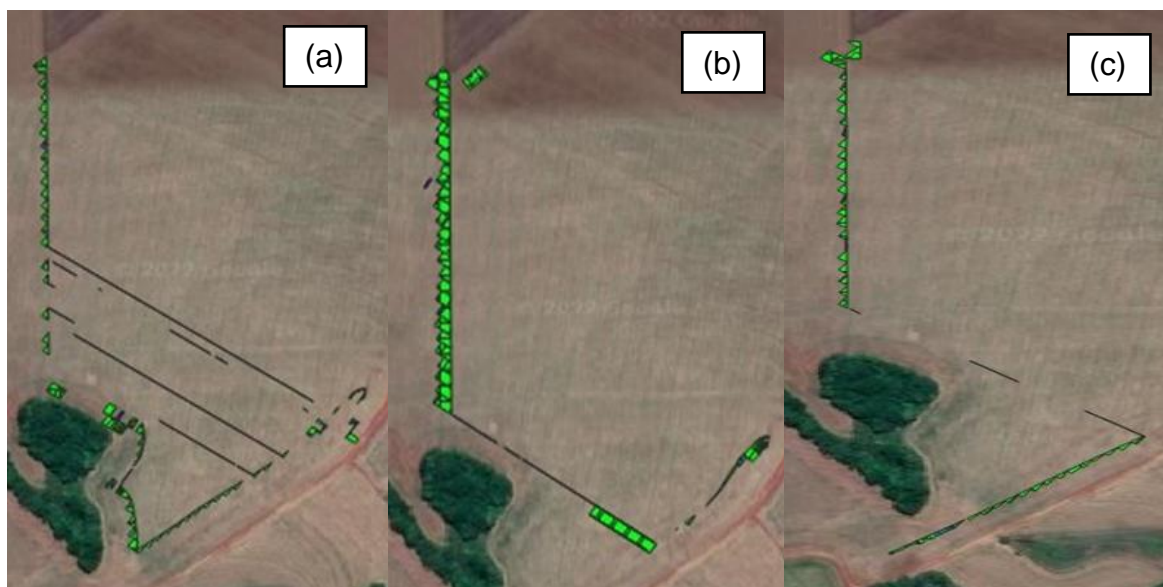
Cabe destacar, que em qualquer situação de aplicação, seja ela com ou sem da tecnologia de comunicação entre as máquinas, a sobreposição de produto estará presente. Corroborando com os resultados encontrados Márquez (2001) menciona que a uniformidade de distribuição de produtos sólidos é influenciada por diversos fatores, entre eles, a forma construtiva do espalhador e a sobreposição entre passadas. Ademais, Farret *et al.* (2008), destacam que a distância horizontal pela qual as partículas são lançadas é afetada pela densidade, forma, padronização e velocidade dos discos, bem como o vento também afeta a distância e, conseqüentemente, o padrão de distribuição. Conforme Molin *et al.* (2010), às condições climáticas, cobertura vegetal, declividade do terreno e principalmente as características do produto interferem na distribuição transversal. Reforça-se que o coeficiente de atrito e a forma de uma partícula interferem fortemente em sua influência particular no padrão de espalhamento (VAN LIEEDEKERV *et al.*, 2009).

Outro ponto a ser mencionado refere-se à necessidade de cobertura total da área, sendo que o perfil de distribuição do produto deve passar por completo pela

extremidade da faixa de aplicação em relação à passada anterior, sendo variável de acordo com a quantidade de seções que o equipamento possui. Dessa forma, observou-se diante dos resultados que o equipamento auxilia na redução do consumo de produto, pois com a informação de área aplicada por outro implemento sob um determinado ponto, permite que o próprio controlador realize o ajuste de forma automatizada e ágil.

No entanto, ao se considerar os pontos de intersecção entre as Máquinas 1 e 2 (Figura 12), pode-se inferir que houve uma redução na área de sobreposição no sistema de Aplicação C em relação à Aplicação B. Desta forma, pode-se observar que a resposta para o desligamento para a Aplicação C e A, proporciona as menores áreas de sobreposição, comparado à simulação sem o sistema de comunicação entre máquinas (B). No caso, onde a situação em que a tecnologia de sincronização não foi utilizada (Aplicação B), áreas de intersecção são maiores, comparado às demais.

Figura 12 – Interseções encontradas para cada situação: Aplicação A – Aplicação real com o sistema M2M (a); Aplicação B – Simulação sem o sistema M2M (b) e Aplicação C – Simulação com o sistema M2M (c).



Fonte: Autor, 2022.

Ao considerar os pontos de intersecção das máquinas 1 e 2, entre as diferentes formas de aplicação (Tabela 3), pode-se inferir que área de sobreposição foi reduzida em 52,23% e 54,44% em relação à simulação não utilizando o sistema M2M, para as aplicações A e C, respectivamente.

Tabela 3 - Valores de sobreposição considerando diferentes máquinas e formas de aplicação.

Sobreposição	Aplicação A	Aplicação B	Aplicação C
Área de sobreposição (ha⁻¹)	0,43	0,9	0,41
Sobreposição (%)	0,49	1,03	0,47

Outra inferência admitida está relacionada com redução dos valores de sobreposição entre a aplicação real realizada a campo (Aplicação A) e simulada (Aplicação C). A diferença percentual entre ambas corresponde a uma redução de - 4,65%, na simulação correspondente à Aplicação C.

Um ponto a ser considerado no caso da Aplicação B, refere-se ao controle da operação, no qual recai totalmente sobre o operador, sendo que o tempo de reação difere entre operadores, refletindo diretamente na qualidade de aplicação. Szczepaniak et al (2014) descrevem que a eficiência do operador depende da situação do trajeto, das características da máquina bem como das condições físicas e psíquicas. Os autores ainda reforçam que a interface operador-veículo-ambiente é uma parte insegura sendo necessário adaptar uma construção do conjunto agrícola às características psicofísicas do operador.

5.2. ANÁLISE ECONÔMICA DA APLICAÇÃO UTILIZANDO DIFERENTES FORMAS DE APLICAÇÃO

A Tabela 4, apresenta a quantidade total de corretivo utilizado em área total de 86,74 hectares, bem como suas respectivas sobreposições (%) em simulação realizada em bancada.

Tabela 4 – Quantidade de produto utilizado nas simulações considerando a área total.

Simulações*	Produto (t⁻¹)	Sobreposição (%)
Aplicação B	445,07	1,03
Aplicação C	442,19	0,47

Aplicação B -sem sistema M2M, Aplicação C - com sistema M2M.

* Simulação realizada na área experimental de 86,74 hectares.

Considerando a simulação realizada em bancada pode-se inferir que houve uma redução de 2,88 toneladas de calcário na área, ou seja, uma redução de 0,64% quando utilizando o sistema de comunicação entre máquinas.

No entanto, cabe destacar que não se pode considerar simplesmente o valor da sobreposição total de uma determinada área, pois sempre haverá algum transpasse, principalmente nas bordaduras, quando geralmente se utiliza apenas uma máquina de aplicação. Neste caso, as áreas de bordadura foram desconsideradas, pois não ocorre atuação do sistema de comunicação entre máquinas. Corroborando com os resultados obtidos, Cunha e Filho (2016) descrevem que é necessário realizar um ajuste correto e uma verificação constante, principalmente acompanhando as mudanças nas condições de operação. Os autores ainda destacam que o fato de a máquina possuir alto nível tecnológico, tornando-a capaz de alterar a dose sobre a área aplicada, não dispensa a avaliação da distribuição. Além disso, a adaptação de sistemas para aplicação de taxa variável em distribuidores centrífugos deve ser precedida de uma análise detalhada para verificar se o equipamento permite uma aplicação uniforme. Sempre que possível, deve ser verificada a viabilidade de utilização de máquinas com outros princípios de distribuição, o que pode permitir uma distribuição mais uniforme (CUNHA & FILHO, 2016).

No que se refere aos custos de aplicação, o prestador de serviços disponibilizou a tabela de preços que chegam ao cliente final, onde o modelo comercial determina o valor pela quantidade de produto aplicada e não por área, sendo um total de R\$ 45,90 ton⁻¹. Conforme informação do prestador de serviço a média aplicada por caminhão em um ano é de 16.000 toneladas. Ademais, por se tratar de um produto no qual é utilizado grandes quantidades, o preço é dado por tonelada, sendo adotado o valor de R\$ 212,00. A análise econômica decorrente da redução na quantidade de produto utilizado a partir das diferentes formas de aplicação é apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 – Análise econômica da redução de produto considerando as diferentes formas de aplicação.

Aplicações	Área sobreposição (ha ⁻¹)	Quantidade produto (t ⁻¹)	Redução de produto (t ⁻¹)	Valor (R\$)
Aplicação A	0,43	440	4	848,00
Aplicação B	0,9	445	0,0	-
Aplicação C	0,41	442	2	424,00

Aplicação A – Aplicação real com o sistema M2M; Aplicação B – Simulação sem o sistema M2M e Aplicação C – Simulação com o sistema M2M.

Considerando a diferença entre os valores de transpasse entre a Aplicações simuladas B e C, sendo eles 1,03% e 0,47%, respectivamente, que resulta em 0,56% e aplicada sobre sobreposição inicial da Aplicação B, igual 4,17%, se obtém uma economia final de 13,4%, alcançados com o uso da tecnologia de sincronização entre as máquinas.

Segundo o trabalho desenvolvido por Carvalho e Souza (2019), a utilização de sistemas automáticos para direcionadores de máquina, podem garantir uma economia do produto aplicado de 7% e 15%, e melhorar a performance do equipamento, reduzindo os tempos médios por área aplicada, dessa forma a tecnologia embarcada se torna rentável com pouco tempo de uso.

O conjunto sincronizador comercializado é um acessório comercializado separadamente, que pode ser instalado nos principais atuadores desenvolvidos para estes equipamentos de aplicação, inclusive com retro compatibilidade, sendo que o valor de mercado para o cliente final é igual a R\$ 15.000,00 por kit, ou seja, para uma sincronização entre duas máquinas o valor passa para R\$ 30.000,00.

De acordo com a Equação 2, em que se utiliza a quantidade anual aplicada por máquina, se obtém uma economia dentro de um ano com a utilização do sincronizador igual a R\$ 18.995,20 por máquina, dentro das condições que o estudo foi realizado, trabalhando com duas máquinas, o valor monetário final em redução de produto é de R\$ 37.990,40.

Considerando a situação do experimento, para a aquisição de dois conjuntos sincronizadores para um par de máquinas, o retorno do investimento é obtido após 10 meses. Como o modelo comercial da cooperativa, se baseia na quantidade produto aplicado por área, o custo do kit por máquina se aproxima de 71 t⁻¹, e baseado no

resultado de economia determinada, representa um total de 89,6 t⁻¹ aplicadas. Cabe destacar, que nas condições em que o estudo foi realizado o usuário obtém o retorno do investimento no primeiro ano de uso, restando 18 t⁻¹, que em valores monetários representam R\$ 3.816,00, considerando o preço do produto na data de realização da análise.

Sendo assim, reforça-se que o custo de investimento desta tecnologia teria rápido retorno, ainda no primeiro ano de utilização, sendo que no restante da sua vida útil, geraria economia de produto e conseqüentemente redução dos custos de produção, além de não necessitar licença ou qualquer outro custo adicional ao produtor.

6. CONCLUSÕES

A partir dos resultados apresentados conclui-se que a utilização do sistema de comunicação entre máquinas, consegue reduzir as sobreposições em aplicações de corretivos a lanço, evitando gastos desnecessários por meio da otimização de recursos.

A utilização do sistema de comunicação entre as máquinas, permitiu reduzir a transposição na área aplicada em 13,4%, relativo à sobreposição total, possibilitando o retorno do investimento já no primeiro ano de trabalho considerando as condições e os parâmetros em que o estudo foi realizado.

7. RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Realizar o trabalho de análise de retorno operacional do sistema M2M no contexto utilizado neste trabalho, podendo ser ampliado para outros tipos de aplicações, como plantio e pulverização, evidenciando assim outros tipos de ganhos que não tem a ver com economia de produto e sim de efetividade de operação em si.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRES-MALDONADO, P.; AMEIGEIRAS, P.; PRADOS-GARZON, J; NAVARRO-ORTIZ, J.; LOPEZ-SOLER, M. Narrowband IoT data transmission procedures for massive machine-type communications. **IEEE Network**, v.31, n.6, 2017.
- AQEEL-UR-REHMAN.; SHAIKH, Z. A. Smart agriculture, Application of Modern High Performance Networks. **Bentham Science Publishers Ltd**, p. 120–129, 2009.
- BANCHI, Â. D.; LOPES, J. R.; ALBUQUERQUE, R. L. F.; COLI, R. A. Gestão de mecanização – Frota e operações agrícolas. **Revista Agrimotor**, 2012.
- BERAS, Guilherme Jost. Análise da viabilidade econômica da semeadura da cultura de soja utilizando taxa variável de fertilizante na linha. Dissertação (**Mestrado**) – Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, RS, 2014.
- BONNEAU, V.; COPIGNEAUX, B.; PROBST, L.; PEDERSEN, B. Industry 4.0 in agriculture: Focus on IoT aspects. **European Commission**, 2017.
- CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, pg. 161 – 169, 2000.
- CARVALHO, V. F.; SOUZA, L. C. D. Retorno de investimento na agricultura de precisão com o uso de direcionadores automáticos. 2019. Trabalho de conclusão de curso (**Graduação**) – Agronomia, faculdade de Ciências Sociais de Guarantã do Norte – MT, Guarantã do Norte, 2019.
- CASTRO, A.; MARTÍNEZ-OSUNA, J. F.; MICHEL, R.; ESCOTO-RODRÍGUEZ, M.; BULLOCK, S. H.; CUEVA, A.; LÓPEZ-REYES, E.; REIMER, J; SALAZAR, M.; VILLAREAL, S.; VARGAS, S. A low-cost modular data-acquisition system for monitoring biometeorological variables. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.141, 2017, pg. 357-371.
- CELLA, D.; ROSSI, M. C. de L. ANÁLISE DO MERCADO DE FERTILIZANTES NO BRASIL. **Revista Interface Tecnológica**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 41–50, 2010. Disponível em: <<https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/43>>. Acesso em: 6 jun. 2022.
- CLERCQ, M.; VATS, A.; BIEL, A. Agriculture 4.0: the future of farming technology, 2018.
- COBBOS, M. O que é computação em nuvem e como ela está inserida na indústria, 2018. Disponível em: Acesso em: 20 Mai 2019.
- CUNHA, J. P.; SOARES FILHO, R. Broadcast distribution uniformity of fertilizer with centrifugal spreaders used in variable rate application. **Engenharia Agrícola**, v. 36, p. 928-937, 2016.

CUNHA, J. P. B.; DA SILVA, F. M.; DIAS, R. E. B. A. Eficiência de Campo em Diferentes Operações Mecanizadas na Cafeicultura. **Coffee Science**, Lavras, v.11, n.1, p. 76 – 86, 2016.

DE CLERCQ, M.; VATS, A.; BIEL, A. **Agriculture 4.0: The future of farming technology**. World Government Summit, 2018.

EMBRAPA. Agricultura, Sustentabilidade e Tecnologia. Brasília, DF, 2012. 34p. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1028545/1/AgriculturaSustentabilidadeeTecnologia.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2019.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306 p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. Visão 2014-2034: o futuro do desenvolvimento tecnológico da agricultura brasileira. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 194 p.

FARRET, I. S.; SCHLOSSER, J. F.; DURIGON, R.; WERNER, V; KNOB, M. Variação da regulagem de perfil transversal de aplicação com distribuidores centrífugos. **Ciência Rural**, v.38, n.7, p. 1886-1892, 2008.

FREIRIA, A. C.; MANTOVANI, J. R.; FERREIRA, M. E.; DA CRUZ, C. P.; YAGI, R. Alterações em atributos químicos do solo pela aplicação de calcário na superfície ou incorporado na superfície ou incorporado. **Maringá**, v. 30, n. 2, p. 285 – 291, 2008.

GSMA INTELLIGENCE. Agricultural machine-to-machine (Agri M2M): a platform for expansion. n. March, p. 34, 2015.

GUIMARÃES, Rodrigo Vellardo. Aplicação de geoprocessamento para o aumento da eficiência de percurso em operações na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). Dissertação (**Mestrado**) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

GSMA INTELLIGENCE. Agricultural machine-to-machine (Agri M2M): a platform for expansion. n. March, p. 34, 2015.

IBGE. 1990. **Geografia do Brasil**; Região Sul. Rio de Janeiro, v. 2, 155p.

MANTOVANI, E. C.; QUEIROZ, D. M.; DIAS, G. P. Máquinas e Operações Utilizadas na Agricultura de Precisão. *In*: DA SILVA, F. M. **Mecanização e Agricultura de Precisão**. Lavras: Editora UFLA, 2013.

MÁRQUEZ, L. **Maquinaria para la preparación del suelo, la implantación de los cultivos y la fertilización**. Madrid: Blake y Helsey, 2001, 496 p.

MASSRUHÁ, S. M. F. S; LEITE, M. A. A.; MOURA, M F. Os novos desafios e oportunidades das tecnologias da informação e da comunicação na agricultura (AgroTIC). *In*: MASSRUHÁ, S. M. F. S; LEITE, M. A. A.; LUCHIARI JUNIOR, A.;

MOLIN, J. P. Agricultura de Precisão. In: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretária de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. Agricultura de Precisão – Boletim Técnico. Brasília: Mapa/ACS, 2009.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R; COLAÇO A. F. **Agricultura de Precisão**. 1.ed. São Paulo: Oficina dos Textos, 2015.

MOLIN, J. P. et al. Procedimento de teste para fertilizante de taxa variável em café. **Acto Scientiarum**: Maringá, v.32, n. 4, pg. 569-575, 2010.

NASSIF, Lilian Noronha. Internet via Satélite: as expectativas da comunicação em banda larga e as implicações tecnológicas. **Revista IP**, 2001.

OLIVEIRA, M. P.; MALAGOLLI, G. A.; CELLA, D. MERCADO DE FERTILIZANTES: dependência de importações do Brasil. **Revista Interface Tecnológica**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 489–498, 2019. Disponível em: <<https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/606>>. Acesso em: 6 jun. 2022.

PERIN, Gismael Francisco. Determinação da Capacidade e Eficiência Operacional Utilizando Técnicas de Agricultura de Precisão. Dissertação (**Mestrado**) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. Comece a usar o QGIS. Disponível em: https://www.qgis.org/pt_BR/site/forusers/index.html. Acesso em: 03 jan. 2022.

RAMOS, João António Avença. Tecnologia ISOBUS em tratores e máquinas agrícolas. Estágio Curricular (**Relatório**) – Instituto Politécnico de Portalegre, Elvas, 2021.

REGATTIERI, A. L.; REGATTIERI, C. R.; VIDAL, D. O. MONITORAMENTO DE FROTAS NO SETOR CITRÍCOLA: viabilidade, impacto e gestão de custos. **Revista Interface Tecnológica**, [S. l.], v. 15, n. 1, p. 349–359, 2018.

RIBEIRO, J. G.; MARINHO, D. Y.; ESPINOSA, J. W. M. AGRICULTURA 4.0: Desafios à produção de alimentos e inovações tecnológicas. In: Simpósio de Engenharia de Produção, 2., 2017, Catalão. **Anais** [...] Catalão: UFG, 2017.

RICHART, A.; TAVARES, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321 – 344, 2005.

ROMANI, L. A. S. (Ed.). **Tecnologias da informação e comunicação e suas relações com a agricultura**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. Cap. 1. o. 23-28.

ROSA, Lucas. Projeto e desenvolvimento de um sistema de aquisição e armazenamento de dados para avaliações de máquinas agrícolas. Dissertação (**Mestrado**) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2019.

SAGRILO, A. D.; RESENDE, J. D.; ROSA, H. A.; GURGACZ, F. Variação da Regulagem das Aletas na Aplicação de Calcário. **Revista Técnico-Científica CREA-PR**. Ed. Especial, 2019.

SILVA, S. R.; BARROS, N. F.; COSTA, L. M. Atributos físicos de dois Latossolos afetados pela compactação do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, n. 4, p. 842-847, 2006.

SILVEIRA, G. M. Mecanização: Custo horário das máquinas agrícolas. **DBO Agrotecnologia**, São Paulo, v. 4, p. 26 – 29. 2005.

SOUZA, Welerson santos. Estudo da comunicação entre máquinas em cenários de baixa latência e alta confiabilidade. Trabalho de conclusão de curso (**Graduação**) – Curso de Bacharel em Engenharia de Telecomunicações, Universidade Estadual Paulista, Júlio de Mesquita Filho, São João da Boa Vista, 2019.

STARA – Evolução Constante. **Hércules 24000 C**. Não-Me-Toque: Stara, 2022. 1 folder.

SZCZEPANIAK, J. et al. Modelling of agricultural combination driver behavior from the aspect of safety of movement. **Annals of agricultural and environmental medicine**, v. 21, n. 2, 2014.

VAN LIEDEKERKE, P.; TIJSKENS, E.; RAMON, H. Discrete element simulations of the influence of fertilizer physical properties on the spread pattern from spinning disc spreaders. **Biosystems Engineering**, v. 102, n. 4, p. 392-405, 2009.

VIAN, C. E. F.; ANDRADE, A. M. J.; BARICELO, L. G.; SILVA, R. P. Origens, evolução e tendências da indústria de máquinas agrícolas. **Revista Econ. Sociol. Rural**, v. 51, n. 4, 2013.

VIEIRA, Raniére Rodrigues. Tempo de resposta de um controlador eletrônico em sistemas de aplicação a taxas variáveis em pulverizações agrícolas. Dissertação (**Doutorado**) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2013.

WIETHÖLTER, S. **Calagem no Brasil**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000, 104 p.