



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS HUMANAS – CAMPUS IX**  
**GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRONÔMICA**

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE APLICAÇÃO DE HERBICIDA  
POR INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E MANEJO CONVENCIONAL NO  
ALGODOEIRO**

BARREIRAS - BA

2025

JACKSON DAMACENO SOARES – 121820595

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE APLICAÇÃO DE HERBICIDA  
POR INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E MANEJO CONVENCIONAL NO  
ALGODOEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo pela Universidade do Estado da Bahia – UNEB no Departamento de Ciências Humanas - *Campus IX*.

Orientador: Prof. Dr. Tadeu Cavalcante Reis.

BARREIRAS – BA

2025

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS HUMANAS - CAMPUS IX**  
**COLEGIADO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA**

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE APLICAÇÃO DE HERBICIDA**  
**POR INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E MANEJO CONVENCIONAL NO**  
**ALGODOEIRO**

**AUTOR: JACKSON DAMACENO SOARES**

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Tadeu Cavalcante Reis**

**Banca Examinadora:**

Documento assinado digitalmente



**TADEU CAVALCANTE REIS**

Data: 06/08/2025 23:31:39-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Orientador: Professor Dr. Tadeu Cavalcante Reis. (orientador)**

Documento assinado digitalmente



**DANIELA ROSSATO STEFANELO**

Data: 06/08/2025 21:23:38-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Professora Dra. Daniela Rossato Stefanelo**

Documento assinado digitalmente



**LEANDRA BRITO DE OLIVEIRA**

Data: 06/08/2025 21:08:10-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Professora Dra. Leandra Brito de Oliveira**

**Data de realização 04/08/2025**

SOARES, Jackson Damaceno; **Análise Comparativa Entre Aplicação De Herbicida Por Inteligência Artificial E Manejo Convencional No Algodoeiro**. 28 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) – Universidade do Estado da Bahia – UNEB, Barreiras, 2025.

## RESUMO

A agricultura brasileira representa cerca de 23% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional e emprega aproximadamente 15% da população ativa. Diante da crescente demanda por alimentos e dos desafios relacionados à sustentabilidade, a adoção de tecnologias emergentes, como a Inteligência Artificial (IA), tem se mostrado estratégica para aumentar a eficiência e reduzir os impactos ambientais no campo. Nesse cenário, o presente trabalho teve como objetivo comparar os efeitos econômicos e produtivos entre o manejo convencional de herbicidas e o manejo com uso de IA, por meio do robô SOLIX, na cultura do algodão, na fazenda Orquídeas do grupo Schmidt Agrícola. Foram analisados três aspectos principais: consumo de herbicidas e adjuvantes, custos operacionais e produtividade agrícola. No manejo convencional, houve consumo de 6 kg/ha de RIDOVER® (Glifosato) e 400 ml/ha de AUREO® (Óleo vegetal), totalizando R\$80,91/ha em produtos. Já com o SOLIX, que atua de forma localizada, o consumo médio foi de 0,257 kg/ha de RIDOVER® e 0,017 L/ha de AUREO®, com custo de R\$6,95/ha, representando economia de 91,43% em produtos químicos. Em relação aos custos operacionais, os pulverizadores convencionais apresentaram custo de R\$25,49/ha. Já o custo com o robô SOLIX foi de R\$250,16/ha na safra avaliada, operando em 35% de sua capacidade. Em cenário de eficiência plena (80%), esse valor cairia para R\$87,94/ha. Apesar do maior custo por hectare, o investimento no robô (R\$350.000,00) pode ser amortizado em cerca de 20 meses, considerando os ganhos totais obtidos. Na produtividade, a área tratada com IA obteve média de 84,3 estruturas reprodutivas/m, contra 79,2 estruturas/m do manejo convencional. O teste t de Welch indicou diferença estatisticamente significativa ( $p = 0,032$ ), com produtividade final de 369,73@/ha no tratamento com IA e 347,36@/ha no convencional. O ganho médio foi de 22,37@/ha, resultando em incremento financeiro relevante para a produção. Conclui-se que o uso de IA, representado pelo robô SOLIX, proporciona economia de insumos, ganhos produtivos e contribui para práticas mais sustentáveis, sendo uma alternativa viável e promissora para o futuro da agricultura de precisão.

**Palavras-chave:** Economia Agrícola, Plantas Daninhas, Tecnologia de Aplicação, Cognição Automática.

SOARES, Jackson Damaceno; **Comparative Analysis Between Herbicide Application Using Artificial Intelligence and Conventional Management in Cotton Cultivation**. 28 p. Undergraduate Thesis (Bachelor in Agronomic Engineering) – State University of Bahia – UNEB, Barreiras, 2025.

## ABSTRACT

Brazilian agriculture represents approximately 23% of the national Gross Domestic Product (GDP) and employs around 15% of the active workforce. In light of the growing demand for food and the challenges related to sustainability, the adoption of emerging technologies, such as Artificial Intelligence (AI), has proven to be a strategic approach to increasing efficiency and reducing environmental impacts in the field. In this context, the present study aimed to compare the economic and productive effects between conventional herbicide management and AI-based management using the SOLIX robot in cotton cultivation at Fazenda Orquídeas, part of the Schmidt Agrícola group. Three main aspects were analyzed: herbicide and adjuvant consumption, operational costs, and agricultural productivity. In the conventional approach, herbicide use amounted to 6 kg/ha of RIDOVER® (Glyphosate) and 400 ml/ha of AUREO® (vegetable oil), totaling R\$80.91/ha in products. With SOLIX, which performs targeted applications, the average consumption was 0.257 kg/ha of RIDOVER® and 0.017 L/ha of AUREO®, with a cost of R\$6.95/ha—representing a 91.43% savings in chemical inputs. Regarding operational costs, conventional sprayers presented a cost of R\$25.49/ha. In contrast, the SOLIX robot had a cost of R\$250.16/ha in the evaluated season, operating at 35% of its capacity. Under full efficiency (80%), this cost would drop to R\$87.94/ha. Despite the higher cost per hectare, the investment in the robot (R\$350,000.00) could be amortized in about 20 months, considering the total gains achieved. In terms of productivity, the AI-treated area recorded an average of 84.3 reproductive structures per meter, compared to 79.2 structures/meter with conventional management. The Welch's t-test indicated a statistically significant difference ( $p = 0.032$ ), with final productivity of 369.73 arrobas/ha in the AI treatment versus 347.36 arrobas/ha in the conventional treatment. The average gain was 22.37 arrobas/ha, resulting in a significant financial increase in production. In conclusion, the use of AI, represented by the SOLIX robot, leads to input savings, productivity gains, and contributes to more sustainable practices, making it a viable and promising alternative for the future of precision agriculture.

**Keywords:** Agricultural Economics, Weeds, Application Technology, Automatic Cognition.

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....  | 6  |
| <b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....   | 8  |
| <b>2.1 Manejo de ervas daninhas</b> .....  | 8  |
| <b>2.2 Impactos dos Herbicidas nos Custos de Produção Agrícola</b> .....                 | 9  |
| <b>2.3 Inteligência artificial</b> .....   | 10 |
| <b>2.4 O Solix</b> .....   | 11 |
| <b>3 METODOLOGIA</b> .....   | 12 |
| <b>3.1 Áreas de avaliação</b> .....  | 12 |
| <b>3.2 Produtos utilizados e repetições</b> .....  | 13 |
| <b>3.3 Metodologia para avaliação de quantidade de produtos químicos aplicados</b> ..... | 13 |
| <b>3.4 Avaliação dos gastos operacionais</b> .....                                       | 14 |
| <b>3.5 Avaliação de produtividade do algodão</b> .....                                   | 14 |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....  | 15 |
| <b>4.1 Comparação a quantidade de produtos químicos aplicados</b> .....                  | 15 |
| <b>4.2 Comparação em gastos operacionais</b> .....                                       | 17 |
| <b>4.3 Comparação em produtividade final do Algodão</b> .....                            | 19 |
| <b>5 CONCLUSÕES</b> .....  | 23 |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....  | 24 |
| <b>APÊNDICE</b> .....  | 26 |

## 1 INTRODUÇÃO

A agricultura no Brasil é fundamental para a economia, representando cerca de 23% do PIB e gerando empregos para 15% da população ativa. O país se destaca como um dos maiores exportadores de produtos agrícolas, como soja, milho, algodão, café, carne bovina e de frango. Além disso, o setor desempenha um papel chave na produção de bioenergia, especialmente com o etanol a partir da cana-de-açúcar, beneficiando tanto o mercado interno quanto a demanda internacional (IBGE, 2024). A mesma desempenha um papel crucial na economia global, sendo responsável pela produção de alimentos que abastecem uma população em constante crescimento.

Para atender à demanda crescente e, ao mesmo tempo, lidar com os desafios impostos pelas mudanças climáticas e a escassez de recursos, a inovação tecnológica tem se tornado essencial e, a Inteligência Artificial (IA) está transformando a agricultura ao otimizar o uso da terra, aumentar a produtividade e reduzir desperdícios. Com tecnologias como drones, sensores e máquinas autônomas, é possível monitorar de forma precisa o solo, as plantas e o clima, promovendo práticas mais sustentáveis. A IA também ajuda a prever colheitas, detectar doenças e aplicar recursos de maneira eficiente, tornando a agricultura mais inteligente e adaptada ao futuro. Prevê-se que a adoção generalizada desses sistemas inteligentes se torne mais difundida, eficaz e sustentável em comparação com os sistemas de gerenciamento de lavouras atualmente em uso (Ferreira, 2024).

Se tratando disso, atualmente nota-se o aumento da utilização de robôs para aplicações de herbicidas no Brasil, como exemplo, o SOLIX que é desenvolvido pela empresa Solinftec. É um robô autônomo projetado para operações agrícolas sustentáveis e de alta precisão sendo alimentado por energia solar. O dispositivo utiliza inteligência artificial para monitorar, identificar e intervir nas lavouras. A tecnologia permite a aplicação localizada de defensivos, como herbicidas, com precisão milimétrica, reduzindo o uso de produtos químicos e combustíveis fósseis, minimizando impactos ambientais. Equipado com sensores avançados, o SOLIX realiza o mapeamento de plantas daninhas e pragas, otimizando as práticas de manejo e aumentando a produtividade.

Portanto, avaliar a viabilidade e os ganhos econômicos com a tecnologia em relação ao manejo convencional é imprescindível para adoção nas propriedades. Para isso, este trabalho objetivou analisar variáveis como economia de herbicidas e outros produtos da calda, custos operacionais das aplicações e efeitos na produtividade na cultura do algodão, na fazenda

Orquídeas do grupo Schmidt Agrícola, comparando o uso de Inteligência Artificial (robô SOLIX) ao manejo convencional da cultura.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Manejo de ervas daninhas

No contexto agrícola, considera-se erva daninha todo vegetal indesejado na lavoura, capaz de causar perdas na produtividade e na qualidade da cultura cultivada. Essa interferência ocorre, principalmente, devido à competição por recursos essenciais, além de efeitos alelopáticos que prejudicam o desenvolvimento das plantas de interesse. Estudos indicam que as plantas daninhas podem absorver quantidades significativas de nutrientes do solo e, dependendo de sua densidade populacional, reduzir drasticamente a disponibilidade desses elementos para a cultura agrícola (Ronchi *et al.*, 2001). Diante disso, o manejo adequado dessas plantas é fundamental para garantir boas produtividades, independentemente da cultura cultivada.

O controle das plantas daninhas é frequentemente realizado por meio de técnicas mecânicas tradicionais, como capinas, aragem e gradagem. Além disso, o uso de plantas de cobertura como método de controle físico tem se mostrado eficaz, pois reduz a incidência de luz solar sobre o solo, limitando a capacidade das ervas daninhas de realizarem a fotossíntese. Em sistemas de produção em larga escala, o manejo torna-se mais tecnificado, com a utilização de defensivos agrícolas — produtos químicos reconhecidos pela alta eficácia no controle de plantas daninhas. Esses produtos destacam-se pelo bom desempenho aliado ao baixo custo operacional, o que os torna uma alternativa viável e eficiente para grandes propriedades (Fontes; Gonçalves *et al.*, 2009).

Os herbicidas atuam sobre diferentes processos fisiológicos das plantas, como a fotossíntese, divisão celular e síntese de aminoácidos, entre outros (Santos; Lima, 2021). A escolha do herbicida adequado depende de diversos fatores, como o tipo de planta daninha, seu estágio de desenvolvimento, a cultura cultivada e as condições ambientais (Oliveira *et al.*, 2020).

A aplicação desses produtos pode ser realizada em momentos distintos: na pré-emergência, quando o herbicida é aplicado antes da emergência das plantas daninhas; e na pós-emergência, aplicada após a germinação e crescimento inicial das plantas. Cada estratégia apresenta vantagens específicas e é adotada conforme as diretrizes do manejo integrado da cultura (Ferreira, 2018).

Apesar da eficácia comprovada, o uso indiscriminado de herbicidas tem gerado impactos ambientais e contribuído para o surgimento da resistência em plantas daninhas, fenômeno caracterizado pela seleção natural de biotipos que sobrevivem às aplicações químicas

(Nogueira *et al.*, 2022). Para mitigar esses efeitos, recomenda-se a adoção de estratégias integradas que combinam o uso racional de herbicidas com práticas culturais, rotatividade de culturas e controle mecânico (Silva; Pereira, 2020).

Adicionalmente, a dosagem correta, o momento preciso da aplicação, o uso de tecnologias de aplicação localizada e o cumprimento rigoroso das recomendações técnicas são essenciais para otimizar o controle das plantas daninhas e minimizar os impactos negativos ao meio ambiente (Martins *et al.*, 2019).

Nos últimos anos, os avanços tecnológicos propiciaram o desenvolvimento de cultivares geneticamente modificadas, com resistência a herbicidas mais abrangentes, o que elevou a eficiência no controle das plantas indesejadas. Essas tecnologias têm sido especialmente implementadas nas culturas de algodão e soja, motivadas pelo crescente desafio da resistência de plantas daninhas aos herbicidas, resultado do uso intensivo e repetitivo desses produtos nas propriedades agrícolas (Markus *et al.*, 2021).

## **2.2 Impactos dos Herbicidas nos Custos de Produção Agrícola**

O uso de herbicidas é uma prática amplamente consolidada no manejo agrícola moderno, especialmente em sistemas de produção de larga escala, como soja, milho e algodão. No entanto, os custos associados à aplicação desses insumos têm se elevado significativamente, impulsionados por fatores como o aumento da resistência de plantas daninhas, a elevação nos preços de insumos químicos e as exigências regulatórias.

Estudos da Embrapa (2017) apontam que a resistência de plantas daninhas ao herbicida glifosato tem gerado aumentos expressivos nos custos de controle químico. Em lavouras de soja, por exemplo, o custo médio por hectare pode passar de R\$ 120,00 (em áreas sem resistência) para valores entre R\$ 318,00 e R\$ 386,00 em áreas com infestações resistentes, representando acréscimos de até 222% nos gastos com defensivos (EMBRAPA, 2017; Canal Rural, 2017). Essa elevação tem impactos diretos na rentabilidade do produtor, especialmente quando somada às perdas de produtividade decorrentes do controle ineficiente.

A magnitude do problema também pode ser observada em outras culturas. Na cana-de-açúcar, os herbicidas representam, em média, 17,5% do custo total de produção, com valores que giram em torno de R\$ 660,00 por hectare na safra 2022/2023 (Santos, 2023). Além disso, análises do PECEGE (Grupo de Pesquisa e Extensão em Economia e Gestão) demonstram que a eventual retirada de moléculas fundamentais, como o herbicida 2,4-D, poderia elevar os custos com controle de plantas daninhas em até 623% em determinadas culturas (OSIPE, 2018), destacando a importância estratégica desses produtos para a viabilidade econômica do setor.

Além das pressões agronômicas, o mercado de herbicidas tem enfrentado oscilações significativas nos preços. Entre 2020 e 2021, o custo do glifosato dobrou, impulsionado pela escassez de matérias-primas, aumentos no custo logístico global e instabilidades comerciais (Global Crop Protection, 2021). Herbicidas alternativos, utilizados em casos de resistência, como graminicidas seletivos, podem ser até dez vezes mais caros do que os produtos tradicionais, gerando ainda mais pressão sobre os custos de produção (Revista Rural, 2011).

No plano macroeconômico, o custo nacional associado à resistência de plantas daninhas pode ultrapassar R\$ 9 bilhões por ano, somando os gastos extras com herbicidas e as perdas de produtividade estimadas em até 5% (Agro Insight, 2017). Tal cenário reforça a necessidade de adoção de estratégias sustentáveis, como o Manejo Integrado de Plantas Daninhas (MIPD), que combina métodos químicos, culturais, mecânicos e biológicos para reduzir a pressão de seleção e prolongar a vida útil dos herbicidas disponíveis (Adegas *et al.*, 2017).

Recentemente, tecnologias baseadas em pulverização localizada (*spot spraying*) vêm se destacando como alternativas promissoras. Pesquisas apontam que, com o uso de sistemas automatizados, é possível reduzir em até 65% o volume de herbicidas aplicados, mantendo uma eficácia de controle superior a 95%, o que contribui para o controle sustentável e para a redução dos custos por hectare (Rahimi Azghadi *et al.*, 2024).

### 2.3 Inteligência artificial

Conhecida com a sigla IA, a inteligência artificial não possui uma definição acadêmica, mas pode se afirmar que se trata de um ramo da ciência da computação. Normalmente se confunde seu início com a origem do computador que foi na década de 1950, entretanto, seu marco inicial foi precisamente em 1956, na Dartmouth College Conference, onde um pequeno grupo de cientistas reuniram-se para esse projeto, que foi organizada pelo professor de matemática John McCarthy, com a ideia de que máquinas seriam capazes de simular aspectos e características descritas da inteligência comum (Sichman, 2021).

O funcionamento desse sistema ocorre partindo de símbolos e comandos computacionais, analisando e aprendendo através de bancos de dados relacionados a área para qual foi desenvolvido e a atividade objeto. Para se entender ainda mais do comportamento da IA, existem dois termos: *Machine Learning*, “aprendizado da máquina”, ou seja, são máquinas capazes de aprenderem e tomarem decisões ativamente, ligando circunstâncias encontradas aos dados e padrões da mesma. E o, *Deep Learning*, “aprendizado profundo”, que diz respeito a uma maior capacidade do sistema aprender, pelo fato de utilizarem redes neurais complexas, sendo como exemplos as tecnologias de reconhecimento de voz e face (Barbosa; Portes, 2023).

Falando de Deep Learning, seu surgimento deu partida a uma nova área de pesquisa de aprendizagem de máquina, transformando o processamento e reconhecimento de padrões, contando então com altos investimentos na área privada em busca de ofertar soluções aos consumidores, utilizando IA. Essa categoria utiliza algoritmos de aprendizado em múltiplos níveis de abstração, onde conceitos simples servem de base para formar representações mais complexas, permitindo que essa estrutura hierárquica extraia sentido de dados como imagens, sons e textos (Hosaki; Ribeiro, 2021).

## 2.4 O Solix

A evolução das tecnologias digitais na agricultura tem possibilitado a transição de práticas convencionais para sistemas cada vez mais automatizados e sustentáveis. Nesse contexto, destaca-se o desenvolvimento do SOLIX Sprayer, um robô agrícola criado pela empresa brasileira Solinftec, que integra conceitos avançados de inteligência artificial, robótica autônoma, energia renovável e visão computacional.

O Solix Sprayer foi projetado para realizar aplicações seletivas e localizadas de herbicidas, utilizando visão computacional em tempo real para identificar as plantas daninhas presentes no campo e pulverizar somente nas áreas infestadas. Essa operação é realizada por meio da plataforma de inteligência artificial ALICE AI, que processa dados ambientais, imagens e parâmetros agronômicos com alta precisão (Solinftec, 2023).

O equipamento se destaca por ser leve, possuir tração elétrica e painéis solares, o que permite seu funcionamento contínuo por longos períodos sem a necessidade de combustíveis fósseis. O robô pode operar de forma autônoma 24 horas por dia, alcançando redução de até 95% no uso de herbicidas quando comparado à pulverização convencional de cobertura total (Solinftec, 2024).

Sob a perspectiva científica, o Solix representa a convergência entre a robótica aplicada à agricultura e técnicas de aprendizado profundo (deep learning). O sistema utiliza redes neurais convolucionais (CNNs) para a classificação em tempo real das espécies vegetais presentes, conforme demonstrado em estudos anteriores (Milioto *et al.*, 2017; Lameski *et al.*, 2018). Entretanto, a inovação do Solix reside na implementação comercial dessas tecnologias, com validação em lavouras de grande porte no Brasil, Estados Unidos e Canadá.

Os impactos do uso do Solix são significativos não apenas na redução de insumos químicos e dos impactos ambientais, mas também na eficiência operacional, possibilitando a realocação da mão de obra para atividades de maior valor agregado e garantindo o monitoramento contínuo e detalhado da lavoura. Resultados preliminares apontam para

incrementos de produtividade de até 10% em áreas manejadas com o uso do robô (Agropages, 2024).

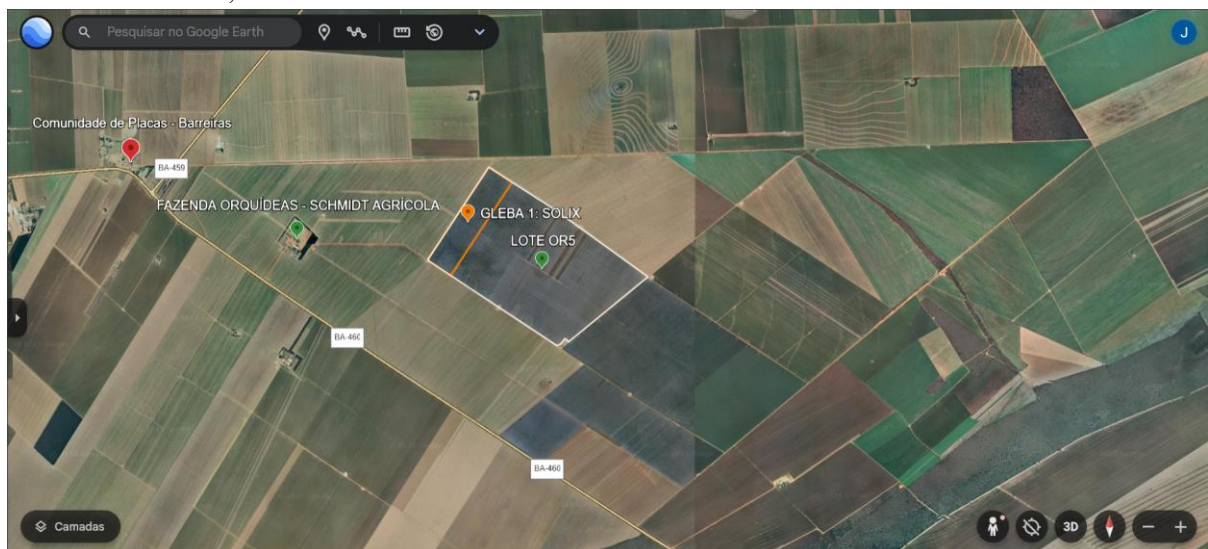
Apesar dos avanços, a adoção do Solix enfrenta desafios, como o custo inicial elevado e a necessidade de capacitação técnica para sua operação e manutenção. Além disso, há uma demanda crescente por estudos acadêmicos independentes que validem os dados de campo e investiguem os impactos de longo prazo sobre o solo, a biodiversidade e o manejo da resistência às plantas daninhas.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Áreas de avaliação

A área de estudo está localizada na Fazenda Orquídeas, pertencente ao grupo SCHMIDT, situada no município de Barreiras – BA, nas proximidades da comunidade de Placas, com coordenadas geográficas de latitude  $-11,8511464^{\circ}$  e longitude  $-46,1919180^{\circ}$ , na divisa com o estado do Tocantins. A propriedade conta com cinco lotes destinados ao cultivo de algodão, totalizando uma área de 3.000 hectares. As avaliações deste estudo foram realizadas no lote OR5, com área total de 638 hectares, dos quais 102,5 hectares foram destinados às aplicações localizadas com o uso do sistema SOLIX.

Figura 1: Localização das áreas de avaliação do projeto, na fazenda Orquídeas do grupo Schmidt Agrícola, lote OR5. Barreiras – BA, 2025.



Fonte: Google Earth, próprio autor.

O lote analisado foi dividido em duas glebas distintas com o objetivo de realizar uma comparação entre métodos de manejo. A primeira, denominada SOLIX, foi conduzida com o auxílio do robô da Solinftec, que utiliza tecnologia de inteligência artificial para a identificação

de daninhas e realização de aplicações localizadas de herbicidas, abrangendo uma área de 102,5 hectares. A segunda, OR5 representou o modelo convencional de controle de plantas daninhas adotado como padrão pelo grupo, abrangendo uma área de 535,5 hectares, correspondente ao restante do lote. As áreas foram testadas em diferentes tamanhos pela metodologia da empresa desenvolvedora, Solinftec, que adotou medidas próximas a 100 hectares em outros testes na fazenda.

Ambas as áreas foram avaliadas com base em três critérios principais: a quantidade de produtos químicos aplicados, os custos operacionais envolvidos no manejo e a produtividade final da cultura do algodão em cada uma das glebas.

### **3.2 Produtos utilizados e repetições**

Com intuito de realizar a avaliação comparativa nos gastos com herbicidas, foram feitas duas aplicações de pós emergente RIDOVER® (Glifosato) e AUREO® (adjuvante óleo vegetal) em ambas as áreas. Foi adotada pela fazenda a dose de 3 kg/ha de RIDOVER® para o lote devido à alta infestação no talhão, especialmente com *Commelina benghalensis* (Trapoeiraba), tanto para a área SOLIX, como na de manejos convencionais da propriedade, e 200 ml/ha de adjuvante AUREO®, sendo essas as doses utilizadas no estudo.

O custo de aquisição do RIDOVER® na data de aplicação foi de US\$4,77 por Kg do produto e US\$2,95 por litro de AUREO®.

A primeira aplicação de herbicida com o SOLIX foi realizada entre os dias 08 e 23 de janeiro de 2025, com o algodão apresentando 25 dias após a emergência (DAE) no início e 41 DAE ao final da operação. A segunda aplicação foi realizada em sequência, no período de 23 de janeiro (41 DAE) a 04 de fevereiro de 2025 (51 DAE).

Quanto às aplicações convencionais de taxa fixa, uma aplicação aconteceu no dia 08/01/2025 e a última no dia 02/02/2025.

### **3.3 Metodologia para avaliação de quantidade de produtos químicos aplicados**

No que se refere à quantidade de produtos químicos aplicados, a coleta e análise dos dados foram realizadas com base nos relatórios de aplicação gerados pelo sistema SOLIX. Essa abordagem foi possível porque todas as aplicações de defensivos ocorreram exclusivamente em plantas que foram previamente identificadas por meio da tecnologia de inteligência artificial do sistema. Ao identificar os alvos e realizar o controle, o implemento quantifica os jatos ocorridos na atividade, resultando relatórios de quantidade de plantas encontradas e área total de cobertura

real, uma vez que cada jato equivale em média 5cm<sup>2</sup>, obtendo então as quantidades reais de produtos utilizados na operação.

Nas aplicações convencionais, a quantidade de produtos utilizados correspondeu a 100% da dose recomendada por hectare, uma vez que esse tipo de manejo é realizado de forma uniforme em toda a área cultivada, abrangendo tanto as plantas daninhas quanto a cultura.

Dessa forma, foi possível fazer uma comparação direta e fundamentada entre esse método tecnológico e o processo convencional de aplicação utilizando uma unidade de hectare para compreensão dos resultados e diferenças no custo entre as áreas, devido aos tamanhos diferentes das glebas.

### **3.4 Avaliação dos gastos operacionais**

Para os gastos operacionais, foram avaliados os custos por hectare de depreciação dos pulverizadores e implementos envolvidos na atividade, consumo de combustível, custos com funcionários e terceiros e manutenção de máquinas, veículos e implementos envolvidos. Este dado foi fornecido pela fazenda somente em somatório, por considerarem restrito.

Como o SOLIX ainda se encontra em fase de testes finais, os custos operacionais ainda são incompletos, pois a empresa desenvolvedora ainda realiza as operações. Contudo, os custos operacionais por hectare do SOLIX foram calculados pela fazenda com a mesma metodologia dos pulverizadores automotores, o que possibilitou a comparação das duas amostras nesse nicho.

Todos os dados calculados foram informados pela equipe de produção da fazenda.

### **3.5 Avaliação de produtividade do algodão**

No quesito produtividade do algodão, adotou-se o método de estimativa de produtividade utilizado pela fazenda, que consiste na avaliação de dois pontos para cada 100 hectares cultivados. Foram feitas duas avaliações de produtividade nas áreas, sendo a primeira em 12 de abril de 2025 e a segunda no dia 09 de junho de 2025.

Tal atividade seguiu os seguintes critérios determinados pela fazenda:

- Cada ponto examinado foi composto por três linhas de algodão com 5 metros de comprimento, constituindo 15 metros lineares por ponto;
- Foi contabilizado as estruturas reprodutivas da planta de algodão (maçãs e capulhos);
- Atribuiu-se para cada estrutura o peso de 5 (cinco) gramas para a estimativa em @/ha de pluma, adotado em função da variedade IMA5801, plantada no lote, entregar essa média de peso; e,

- Para o cálculo, fez-se o uso da equação 1, expressa da seguinte forma:

$$@/HA = ((\text{Número de estruturas}/m * \text{Metros lineares}/ha * \text{Peso capulho em Kg}) / 15).$$

Todas as estimativas retornaram uma produção bruta das glebas, não considerando qualidade das fibras, danos por insetos ou perdas na colheita. Esse método foi adotado pelo motivo de que a data final do projeto antecedeu a janela de colheita da fazenda.

Para a análise estatística, foi utilizado o software JAMOV (versão 2.6), com base no ambiente estatístico R (versão 4.4), amplamente adotado em pesquisas científicas por sua reprodutibilidade e interface acessível (R Core Team, 2024). Inicialmente, foram verificados os pressupostos para aplicação do teste t: a normalidade das distribuições foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk, e a homogeneidade de variâncias pelo teste de Levene.

Atendidos os pressupostos, procedeu-se à aplicação do teste t para amostras independentes, utilizando tanto o modelo tradicional de Student quanto a versão de Welch, que é mais robusta em contextos com tamanhos amostrais desiguais. Adotou-se um nível de significância de 5% ( $\alpha = 0,05$ ) para todas as análises estatísticas, considerando-se diferenças estatisticamente significativas quando o valor de p foi inferior a esse limite.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Comparação a quantidade de produtos químicos aplicados

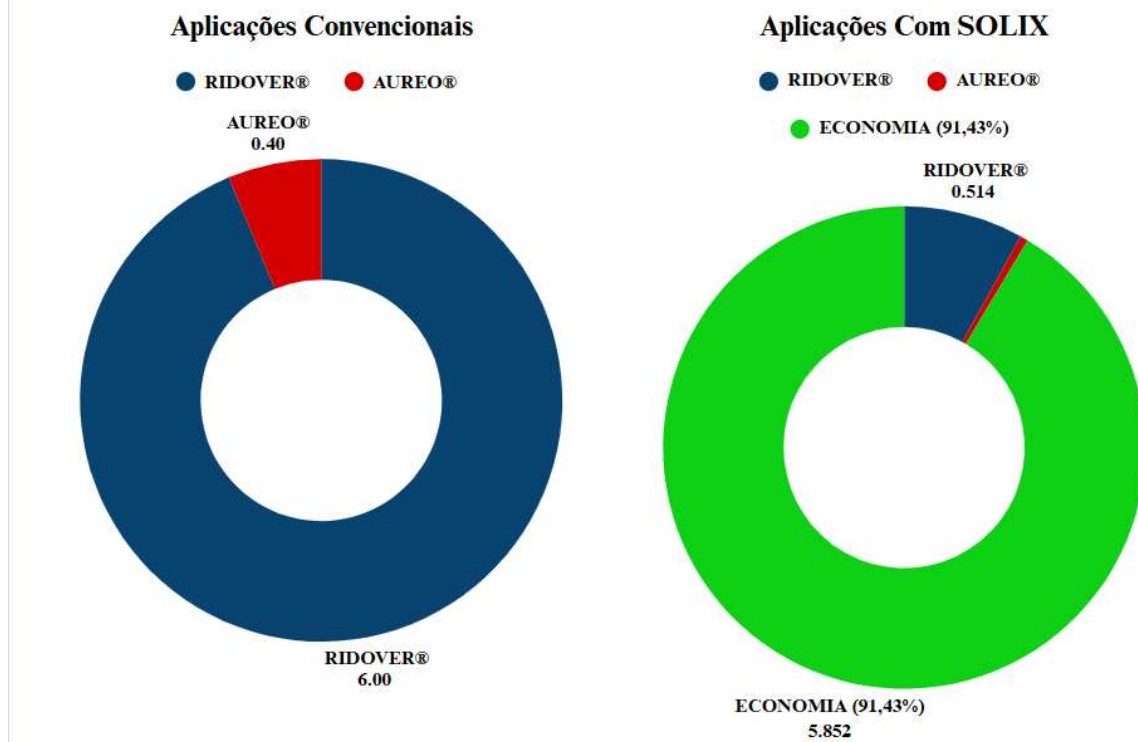
No manejo convencional, as duas aplicações consumiram 6 kg/ha de RIDOVER® e 400 ml/ha de AUREO, aplicando os produtos em 100% da área cultivada do OR5. Este consumo é o mesmo da dose aplicada do produto, sendo até mesmo utilizado para base de cálculo de gastos na fazenda. O custo financeiro de herbicidas e adjuvantes dessas aplicações somadas foram de US\$29,51 por hectare, sendo US\$14,76 por cada aplicação. Convertendo este valor em reais, na cotação da data de aplicação (R\$5,43), o custo médio de aplicações convencionais de herbicidas foi de R\$80,12 por hectare.

Durante o caminhamento das aplicações, o SOLIX registrou cerca de 3.5 milhões de pontos na gleba avaliada, podendo considerar isso a população de daninhas na área. Se tratando de volume de calda, foram utilizados 2724 litros, com média de 154,86 L/ha. E por fim, os relatórios do SOLIX mostraram uma área média efetiva aplicada com herbicidas foi de 8,795 hectares na gleba de 102,5 ha.

Portanto, a dose de produtos utilizados foram as mesmas do manejo convencional, contudo a Inteligência Artificial de aplicações localizadas do robô consumiu, no somatório da atividade, a quantidade de 0,514 Kg/ha de RIDOVER® e 0,034 L/ha de AUREO®.

Transformando esses dados para média de aplicação, obteve-se 0,257 Kg/ha de RIDOVER® e 0,017 L/ha de AUREO®. Financeiramente, o gasto de produtos por hectare foi de US\$2,53 fazendo média de US\$1,265 por aplicação com o SOLIX. Convertendo para a moeda brasileira, com a mesma cotação utilizada no manejo convencional, a aplicação com IA custou a fazenda R\$6,86/ha em produtos, expressados no gráfico a seguir.

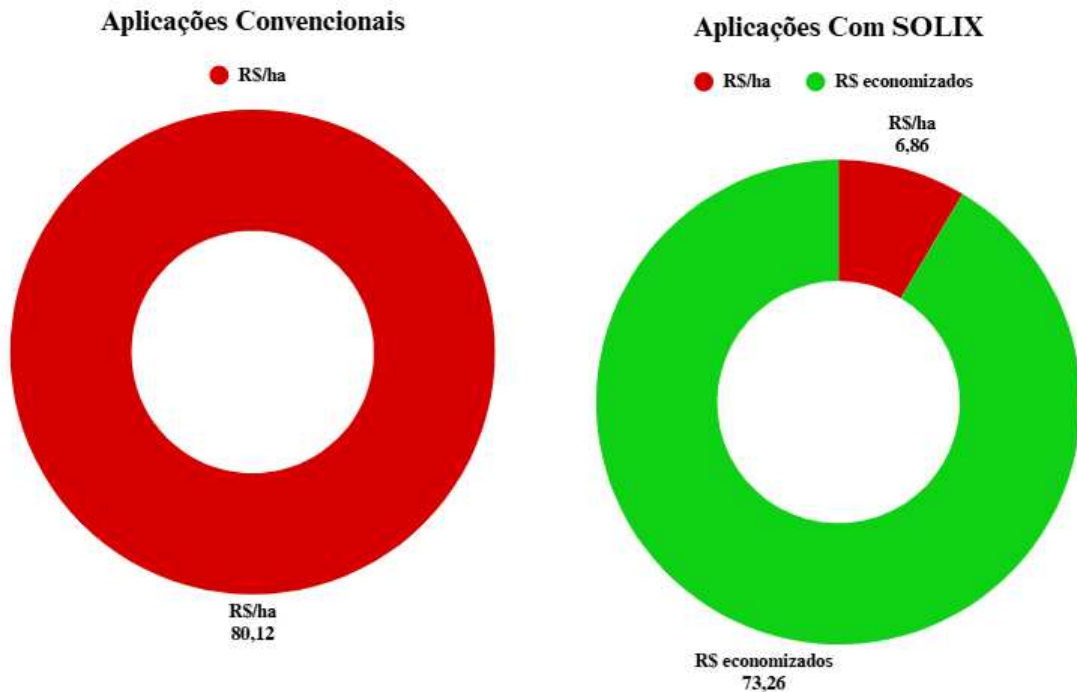
Gráfico 1: Quantidade de produtos aplicados nos manejos convencionais de aplicação comparados a utilização de IA (SOLIX) para aplicações localizadas de herbicidas.



Próprio autor.

Com isso, de acordo com os dados acima de gastos por aplicação nos dois manejos, o SOLIX apresentou uma grande economia de produtos, herbicidas e adjuvantes, em relação aos pulverizadores convencionais, representando 91,43% de redução, ou seja, R\$73,26 por hectare economizados na operação, visto no gráfico 2.

Gráfico 2: Custos por hectare de aplicações convencionais comparados ao uso de IA (SOLIX) para aplicação de herbicidas e sua economia.



Próprio autor.

Este resultado mostrou que o uso da inteligência artificial nos tratos culturais com herbicidas se torna relevante e promissor, gerando economia e redução química nas lavouras, o que promove a alocação desses gastos a outros investimentos mais diretos a produtividade e uma agricultura que causa menos impactos ambientais agregando valor ao produto final.

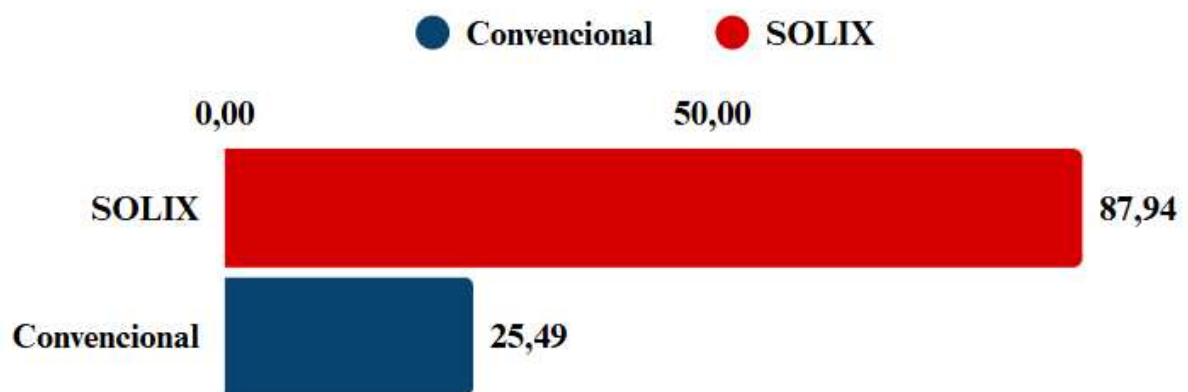
#### 4.2 Comparação em gastos operacionais

De acordo a administração da fazenda Orquídeas, os três pulverizadores da marca HORSCH, com capacidade de calda de 5000 litros, barra de aplicação de 36 metros, vazão fixa de aplicações de 68L/ha, gastou aos cofres da empresa na safra 24/25 o valor de US\$4,69 por hectare, que na cotação de junho de 2025 (R\$ 5,4350), equivaleu a R\$ 25,49/ha.

Já com 180 litros de capacidade de calda, barra de 12 metros, com 8 câmeras na barra e com vazão aproximada de 1,52L/ha, os gastos do SOLIX com IA, o consumo de combustível foi de R\$0,00, pois o robô utilizou energia solar para locomoção e bombeamento da calda. Para mão de obra, o gasto anual com funcionário que aplicou e dosou a calda, foi calculado em R\$87850,00. A depreciação do robô e de implementos envolvidos na atividade, seguiu a metodologia da fazenda, resultando em R\$33480,00 anuais. E se tratando de manutenções consumiram um gasto de R\$5000 reais na safra.

Com isso, as despesas totais com o uso da Inteligência Artificial na safra somaram R\$ 126.330,00, considerando a atuação em 505 hectares de soja e algodão. Isso representa uma eficiência operacional de apenas 35% em relação ao potencial da fazenda, resultando em um custo operacional de R\$ 250,16 por hectare. Esse valor poderia ser significativamente reduzido caso a área trabalhada pelo robô SOLIX estivesse alinhada ao seu potencial máximo de aplicação. Com base na média de eficiência da fazenda (80% em oito horas de operação), o robô seria capaz de manejar 1.436,5 hectares, o que reduziria o custo operacional para R\$ 87,94 por hectare.

Gráfico 3:Gasto operacional por hectare em R\$ com 80% de eficiência (padrão fazenda).



Próprio autor.

Portanto, o manejo convencional obteve menor custo operacional em relação ao SOLIX devido a grande diferença de áreas aplicadas anualmente dos pulverizadores em relação a IA da Solinftec, que mesmo com o robô trabalhando em eficiência plena, ainda assim custa mais operacionalmente. Além disso, pulverizadores aplicam herbicidas, fungicidas, inseticidas e reguladores vegetais, que aumentam ainda mais a diferença de área, uma vez que o SOLIX aplica somente herbicida, o que reduziu a utilização da tecnologia durante a safra, aumentando seu custo.

Atualmente, a aquisição do robô de aplicação de herbicidas com Inteligência Artificial custa R\$ 350.000,00, enquanto um pulverizador autopropelido da marca Horsch tem um valor de R\$ 2.500.000,00. Isso significa que o robô representa apenas 14% do custo do equipamento alemão. Como mencionado anteriormente, a economia com herbicidas e adjuvantes foi de R\$ 73,26 por hectare aplicado na cultura do algodão, representando uma redução de 91,43% nos custos com esses insumos. Além disso, considerando os resultados de produtividade apresentados adiante, o ganho com a pluma beneficiada atingiu R\$ 1.147,58 por hectare. Esse valor foi calculado com base na variedade IMA5801 (que possui 38% de pluma por capulho, conforme informado pela fazenda) e na cotação da pluma em junho, de R\$ 135,00 por arroba.

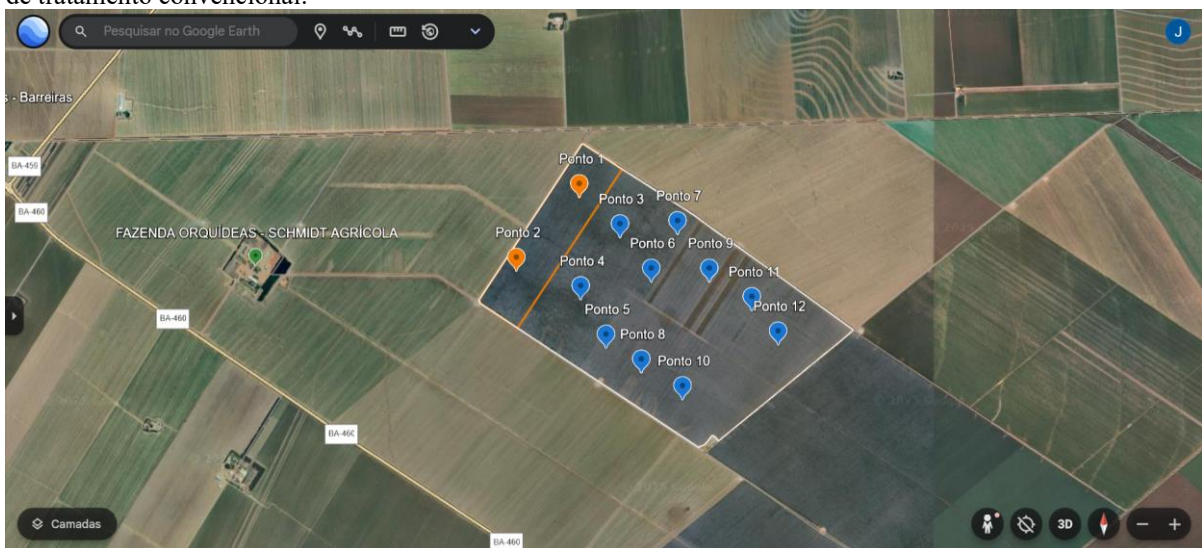
No resultado geral da área de aplicações no algodão manejadas pela IA, com a eficiência real da safra 24/25, os ganhos resultaram em R\$996,17 por hectare em relação ao manejo convencional. Baseado neste resultado na área de 102,5ha, o investimento de R\$350000,00 na tecnologia de IA para aplicações de herbicidas com o SOLIX, na eficiência operacional de 35% da safra de estudo, se pagaria em 4,04 anos, precisamente em 48 meses e 14 dias. Este valor de eficiência se deu por somente 505ha da fazenda serem cobertos durante a safra, porém na eficiência de 80%, seriam cobertos 1436,5 hectares, reduzindo o tempo de payback para 2,83 anos (34 meses).

### 4.3 Comparação em produtividade final do Algodão

A avaliação de produtividade se deu em dois momentos com estimativas desenvolvidas pela Schimdt Agrícola onde em cada ponto contou-se as estruturas reprodutivas das plantas (maçãs maiores que o polegar e capulhos) em três linhas com 5 metros cada, totalizando 15 metros lineares. Foram feitos dois pontos para cada 100 hectares realizando a tarefa descrita.

A observações ocorreram nos dias 12 de abril e 09 de junho de 2025, nas áreas de teste com o SOLIX e aplicações convencionais, com 2 pontos na primeira gleba e 10 pontos na segunda. Abaixo segue a figura mostrando a localização dos pontos e quantidades médias de estruturas encontradas nas estimativas.

Figura 2: Localização dos pontos totais da primeira estimativa de produtividade na área de teste SOLIX e na área de tratamento convencional.



Google Earth, autor próprio.

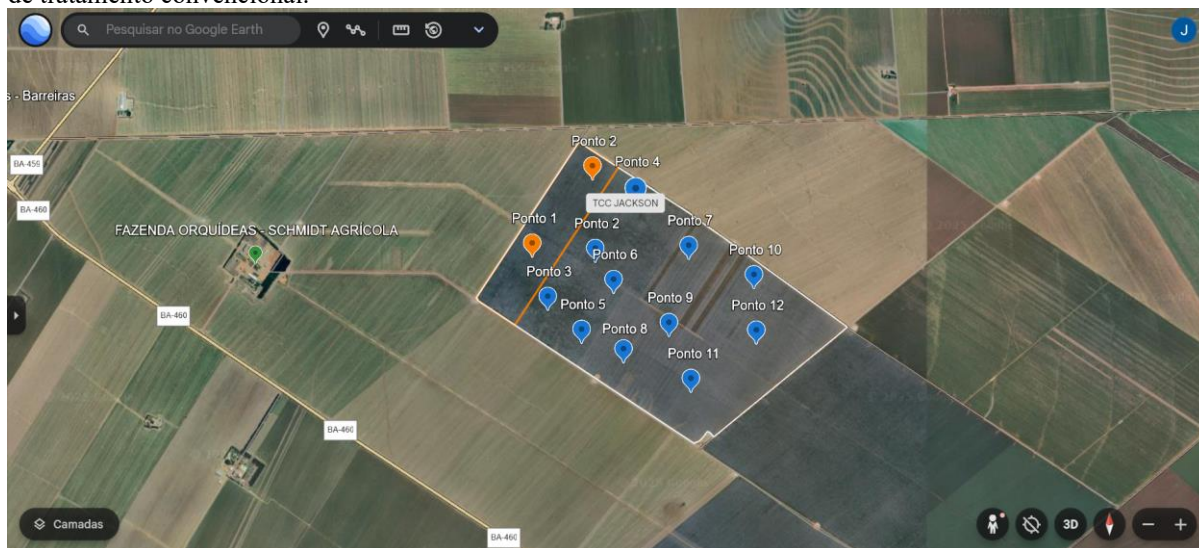
Na avaliação de abril, conforme a tabela abaixo, os pontos da área de teste com o SOLIX obtiveram média de 84,77 estruturas por metro linear. Já para a área convencional a média foi de 79,35 estruturas por metro linear.

Tabela 1: Resultados da primeira estimativa de produtividade do algodoeiro.

| AMOSTRAS DE PRODUTIVIDADE | PONTOS |       |    |      |      |    |      |       |      |      | MÉDIAS |              |                         |
|---------------------------|--------|-------|----|------|------|----|------|-------|------|------|--------|--------------|-------------------------|
|                           | 1      | 2     | 3  | 4    | 5    | 6  | 7    | 8     | 9    | 10   |        |              |                         |
| ÁREA SOLIX                | 87     | 82,53 |    |      |      |    |      |       |      |      |        | <b>84,77</b> | <b>maçãs e capulhos</b> |
| ÁREA CONVENCIONAL         | 75     | 75,6  | 65 | 75,6 | 86,6 | 87 | 87,2 | 78,67 | 87,2 | 75,6 |        | <b>79,35</b> | <b>maçãs e capulhos</b> |

Próprio autor.

Figura 3: Localização dos pontos totais da segunda estimativa de produtividade na área de teste SOLIX e na área de tratamento convencional.



Google Earth, autor próprio.

Em junho, a área convencional apresentou média de 78,95 estruturas/m e a gleba do SOLIX, a quantidade média de 83,9 estruturas/m.

Tabela 2: Resultados da segunda estimativa de produtividade do algodoeiro.

| AMOSTRAS DE PRODUTIVIDADE | PONTOS |       |       |       |       |       |      |       |      |       | MÉDIAS |              |                         |
|---------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|--------|--------------|-------------------------|
|                           | 1      | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7    | 8     | 9    | 10    |        |              |                         |
| ÁREA SOLIX                | 80,93  | 86,87 |       |       |       |       |      |       |      |       |        | <b>83,9</b>  | <b>maçãs e capulhos</b> |
| ÁREA CONVENCIONAL         | 80,33  | 78,93 | 75,93 | 74,53 | 82,47 | 73,33 | 84,2 | 79,74 | 77,4 | 82,67 |        | <b>78,95</b> | <b>maçãs e capulhos</b> |

Próprio autor.

Com isto, a média geral da área SOLIX foi de 84,3 estruturas reprodutivas por metro e na área de aplicações convencionais, 79,2 estruturas reprodutivas de média por metro.

Fazendo os cálculos com a equação 1 descrita na metodologia, chegou-se aos seguintes resultados para área convencional:

$$\text{Equação 1: } @/\text{HA} = ((79,2 * 13157,89 * 0,005) / 15) = \mathbf{347,36@/\text{ha}}.$$

Já para área de teste com o SOLIX, obteve-se os dados abaixo:

$$\text{Equação 1: } @/\text{HA} = ((84,3 * 13157,89 * 0,005) / 15) = \mathbf{369,73@/\text{ha}}.$$

Notou-se que a média de estruturas foi maior na área de teste com aplicações localizadas de herbicidas pela IA SOLIX da Solinftec. Contudo, como as quantidades de amostras foram diferentes, mas proporcionais, fez-se a avaliação estatística para considerar se houve realmente diferenças na produtividade das duas áreas, que geraram os seguintes resultados.

A coletas de dados em abril e junho somaram 24 pontos amostrais, sendo 20 associadas ao método convencional de aplicações e 4 ao método com inteligência artificial de aplicações localizadas.

Para verificar se há diferença significativa na quantidade de estruturas por metro linear entre os métodos de pulverização de herbicidas Convencional e com o SOLIX, foi realizado um teste t para amostras independentes. O teste de Shapiro-Wilk indicou que os dados seguem distribuição normal ( $p = 0,154$ ), e o teste de Levene apontou homogeneidade de variâncias entre os grupos ( $p = 0,280$ ). Dessa forma, os pressupostos foram considerados atendidos.

Tabela 3: Teste de Shapiro-Wilk nas amostras das áreas de teste de aplicações. Resultados pelo software JAMOVl.

| <b>TESTE À NORMALIDADE</b>      |       |       |
|---------------------------------|-------|-------|
|                                 | W     | p     |
| <b>Quantidade de estruturas</b> | 0.939 | 0.154 |

Próprio autor.

Tabela 4: Teste de Levene nas amostras das áreas de teste de aplicações. Resultados pelo software JAMOVl.

| <b>TESTE À HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS</b> |      |    |     |       |
|--|------|----|-----|-------|
|  | F    | gl | gl2 | p     |
| <b>Quantidade de estruturas</b>            | 1.23 | 1  | 22  | 0.280 |

Próprio autor.

As médias observadas para a variável quantidade de estruturas por metro linear, como abordado antes, foram de 79,2 para o grupo de aplicações Convencionais e 84,3 para o grupo de aplicações com IA. Embora o grupo SOLIX tenha apresentado uma amostra menor ( $n = 4$ ) em comparação ao grupo Convencional ( $n = 20$ ), aplicou-se o teste t de Student, visto que os pressupostos de normalidade e homogeneidade foram atendidos.

Tabela 5: Descritivas das amostras de estimativa de produtividade.

|                                 | <b>Grupo</b>        | <b>N</b> | <b>Média</b> | <b>Mediana</b> | <b>Desvio-padrão</b> | <b>Erro-padrão</b> |
|---------------------------------|---------------------|----------|--------------|----------------|----------------------|--------------------|
| <b>Quantidade de estruturas</b> | <b>Convencional</b> | 20       | 79.2         | 78.8           | 5.72                 | 1.28               |
|                                 | <b>Solix</b>        | 4        | 84.3         | 84.7           | 3.08                 | 1.54               |

Próprio autor.

O teste t de Student indicou diferença estatisticamente significativa entre os grupos ( $t = -1,74$ ,  $gl = 22$ ,  $p = 0,096$ ), rejeitando a hipótese nula de igualdade entre as médias ao nível de significância de 5%. Assim, os resultados sugerem que o método de aplicações de herbicidas utilizando o robô SOLIX, com Inteligência Artificial, apresentou, em média, uma maior quantidade de estruturas reprodutivas por metro linear no algodoeiro em comparação ao método convencional de aplicar herbicidas.

Figura 4: Resultado do teste t de Student para avaliação estatística das amostras nos lotes com aplicações convencionais e com a utilização de IA por meio do SOLIX.

| <b>TESTE T PARA AMOSTRAS INDEPENDENTES</b> |                     |                    |           |          |
|--|---------------------|--------------------|-----------|----------|
|  |                     | <b>Estatística</b> | <b>gl</b> | <b>p</b> |
| <b>Quantidade de estruturas</b>            | <b>t de Student</b> | -1,74              | 22        | 0,096    |

Próprio autor.

Nota: Convencional  $\neq$  Solix

Portanto, considerou-se que a utilização de Inteligência Artificial pode ter contribuído para uma melhor produtividade final do algodão. Fatores como altura da barra e aplicações que não cobriram 100% da área cultivada, certamente contribuiriam contra perda e ineficiência de aplicação por deriva ou inversão térmica e diminuiriam ocorrências de fitotoxicidade nas plantas de algodão ou até mesmo estresses causados por herbicidas, resultando em melhores médias de produção, havendo ganho médio de 22,37 @/ha. Calculando esse ganho em fibra, a variedade IMA5801 tem um aproveitamento de 38% do capulho, o que representa 8,50@/ha de fibra beneficiada, gerando um ganho de R\$1147,58 em 10.000m<sup>2</sup>.

## 5 CONCLUSÕES

O robô SOLIX, utilizando Inteligência Artificial para aplicação localizada de herbicidas, reduziu drasticamente o volume de insumos aplicados — mais de 90% a menos — trazendo uma economia notável e um impacto ambiental significativamente menor.

Apesar do potencial da tecnologia com Inteligência Artificial, o custo operacional do SOLIX ainda é elevado em comparação ao manejo convencional, principalmente devido à sua limitação de uso exclusivo para herbicidas e à menor área aplicada. Para que a IA fosse economicamente viável, seria necessário otimizar sua utilização e alinhar sua capacidade operacional com a demanda da fazenda.

Nas áreas tratadas com essa tecnologia, a produtividade do algodão mostrou-se superior, evidenciada por um maior número de estruturas reprodutivas por metro linear em comparação ao método convencional.

Contudo, a realização de mais estudos da tecnologia nos aspectos de viabilização, eficácia de aplicações e efeitos na produtividade, são necessários para efetivar a utilização do SOLIX - Inteligência Artificial – para aplicações nas fazendas e para entendimento dos produtores e profissionais quanto a eficiência, ganhos e gargalos ainda existentes que travam o avanço do implemento autônomo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEGAS, F. S. et al. Impacto econômico da resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil. Londrina: Embrapa Soja, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1074026>. Acesso em: 15 jun. 2025.

AGRO INSIGHT. O custo das plantas daninhas resistentes ao produtor. 2017. Disponível em: <https://agroinsight.com.br/o-custo-das-plantas-daninhas-resistentes-ao-produtor>. Acesso em: 10 jun. 2025.

AGROPAGES. Solinftec Solix Sprayer reports up to 98% herbicide savings in its first US commercial season. 2024. Disponível em: <https://news.agropages.com>. Acesso em: 20 jun. 2025.

BARBOSA, Lucia Martins; PORTES, Luiza Alves Ferreira. A inteligência artificial. **Revista Tecnologia Educacional [on line]**, Rio de Janeiro, n. 236, p. 16-27, 2023.

CANAL RURAL. Plantas daninhas resistentes aumentam custos em até 222%, diz Embrapa. 2017. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/agricultura/plantas-daninhas-resistentes-aumentam-custos-em-ate-222-diz-embrapa>. Acesso em: 05 jun. 2025.

EMBRAPA. Plantas daninhas resistentes aumentam custo de produção de soja. Embrapa Soja, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-noticias>. Acesso em: 05 jun. 2025.

FERREIRA, Autielis Aparecido Rodrigues et al. TRANSFORMANDO A AGRICULTURA: PRINCÍPIOS FUNDAMENTAIS E DESAFIOS DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL. 2024.

FONTES, José Roberto Antoniol; GONÇALVES, José Ricardo Pupo. MANEJO INTEGRADO DE PLANTAS DANINHAS. **Embrapa Amazônia Ocidental**, 2009.

GLOBAL CROP PROTECTION. Alta do preço do glifosato deve afetar o custo de produção dos agricultores brasileiros. 2021. Disponível em: <https://globalcropprotection.com>. Acesso em: 20 jun. 2025.

HOSAKI, Gabriel Yuri Gabriel Yuri; RIBEIRO, Douglas Francisco. Deep learning: ensinando a aprender. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Com alta recorde da agropecuária, PIB fecha 2023 em 2,9%. Rio de Janeiro: IBGE, 5 mar. 2024. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/39306-com-alta-recorde-da-agropecuaria-pib-fecha-2023-em-2-9> Acesso em: 5 jun. 2025.

LAMESKI, P. et al. Weed detection datasets for precision agriculture: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 151, p. 226–237, 2018.

MARKUS, Catarine et al. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas. **Matologia: Estudos sobre plantas daninhas**. Editora Fábrica da Palavra, Jaboticabal, p. 324-364, 2021.

MILIOTO, A. et al. Real-time semantic segmentation of crop and weed for precision agriculture robots leveraging background knowledge in CNNs. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2017.

OSIPE, R. et al. Economia necessária: impactos da retirada do 2,4-D nas lavouras brasileiras. *Revista Rural*, 2018. Disponível em: <https://www.revistarural.com.br/2018/09/17/economia-necessaria>. Acesso em: 16 jun. 2025.

PESQUISA FAPESP. Tecnologia de aplicação seletiva reduz em até 95% uso de defensivos. *Revista Pesquisa Fapesp*, ed. 323, 2023.

R Core Team (2024). R: A Language and environment for statistical computing. (Version 4.4) [Computer software]. Retrieved from <https://cran.r-project.org>. (R packages retrieved from CRAN snapshot 2024-08-07). RAHIMI AZGHADI, M. et al. Precise Robotic Weed Spot-Spraying. *arXiv preprint arXiv:2401.13931*, 2024. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2401.13931>. Acesso em: 09 jun. 2025.

REVISTA RURAL. Glifosato e alternativas de controle de daninhas resistentes. 2011. Disponível em: [https://www.revistarural.com.br/Edicoes/2011/Artigos/rev163\\_glifosato.htm](https://www.revistarural.com.br/Edicoes/2011/Artigos/rev163_glifosato.htm). Acesso em: 18 jun. 2025.

RONCHI, C. P.; TERRA, A. A.; SILVA, A. A.; FERREIRA, L. R. Acúmulo de nutrientes pelo cafeeiro sob interferência de plantas daninhas. *Planta Daninha*, Viçosa, MG, v. 21, n. 2, p. 219-228, 2003.

SANTOS, G. dos. Uso de herbicidas na cana-de-açúcar: custo ou investimento? *Notícias Agrícolas*, 2023. Disponível em: <https://www.noticiasagricolas.com.br/artigos/artigos-geral/359032>. Acesso em: 19 jun. 2025.

SICHMAN, Jaime Simão. Inteligência Artificial e sociedade: avanços e riscos. **Estudos Avançados**, v. 35, p. 37-50, 2021.

SOLINFTEC. Solix Sprayer: tecnologia de aplicação seletiva inteligente. 2023. Disponível em: <https://www.solinftec.com>. Acesso em: 20 jun. 2025.

BRASIL. Decreto nº 9.580, de 22 de novembro de 2018. Regulamenta o Imposto sobre a Renda e Proventos de Qualquer Natureza (RIR/2018). *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 23 nov. 2018. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br> (acesso em: 10 jul. 2025).

## APÊNDICE

**Apêndice 1:** Resultado do teste estatístico para análise de produtividade de algodão nos manejos de aplicações convencionais e aplicações com Inteligência Artificial (SOLIX), Barreiras – BA - 2025.

### Resultados

#### Teste t para amostras independentes

Teste t para amostras independentes

|                          |              | Estatística | gl   | p     |
|--------------------------|--------------|-------------|------|-------|
| Quantidade_de_estruturas | t de Student | -1.74       | 22.0 | 0.096 |
|                          | t de Welch   | -2.59       | 7.98 | 0.032 |

Nota.  $H_0: \mu_{\text{Convencional}} = \mu_{\text{Solix}}$

#### Pressupostos

Teste à Normalidade (Shapiro-Wilk)

|                          | W     | p     |
|--------------------------|-------|-------|
| Quantidade_de_estruturas | 0.939 | 0.154 |

Nota. Um p-value pequeno sugere a violação do pressuposto da normalidade

Teste à Homogeneidade de Variâncias (Levene)

|                          | F    | gl | gl2 | p     |
|--------------------------|------|----|-----|-------|
| Quantidade_de_estruturas | 1.23 | 1  | 22  | 0.280 |

Nota. Um p-value pequeno sugere a violação do pressuposto da homogeneidade de variâncias

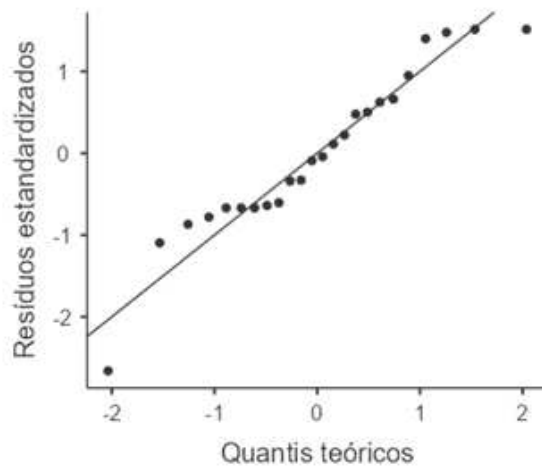
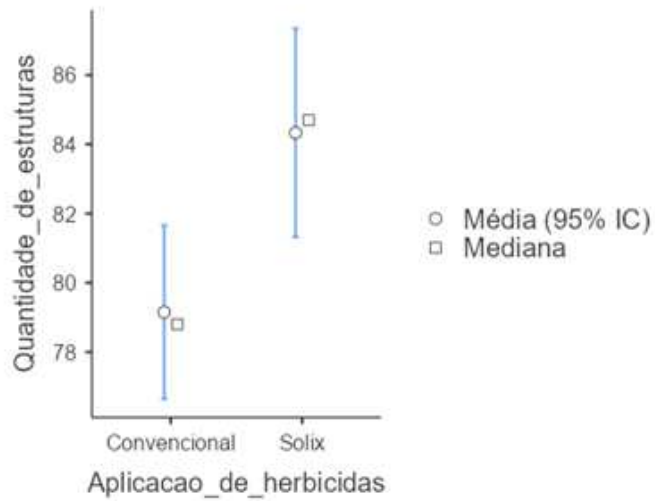
[3]

Descritivas de Grupo

|                          | Grupo        | N  | Média | Mediana | Desvio-padrão | Erro-padrão |
|--------------------------|--------------|----|-------|---------|---------------|-------------|
| Quantidade_de_estruturas | Convencional | 20 | 79.2  | 78.8    | 5.72          | 1.28        |
|                          | Solix        | 4  | 84.3  | 84.7    | 3.08          | 1.54        |

#### Gráficos

Quantidade\_de\_estruturas



## Referências

- [1] The jamovi project (2024). *jamovi*. (Version 2.6) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.
- [2] R Core Team (2024). *R: A Language and environment for statistical computing*. (Version 4.4) [Computer software]. Retrieved from <https://cran.r-project.org>. (R packages retrieved from CRAN snapshot 2024-08-07).
- [3] Fox, J., & Weisberg, S. (2023). *car: Companion to Applied Regression*. [R package]. Retrieved from <https://cran.r-project.org/package=car>.