

SMARTSAFRA: CHATBOT INTELIGENTE PARA COLETA E MONITORAMENTO AGRÍCOLA

SMARTSAFRA: INTELLIGENT CHATBOT FOR AGRICULTURAL DATA COLLECTION AND MONITORING

SMARTSAFRA: CHATBOT INTELIGENTE PARA LA RECOPIACIÓN Y EL MONITOREO DE DATOS AGRÍCOLAS

Matheus Beuren Carvalho¹
Alexandre Meira de Vasconcelos²
Arlete Teresinha Beuren³

RESUMO: A ausência de ferramentas acessíveis para gestão da safra e a falta de dados estruturados que permitam uma visão consolidada de indicadores produtivos por comunidade, constituem duas dimensões de um mesmo problema enfrentado por pequenos produtores rurais brasileiros. Este estudo apresenta o SmartSafra, um chatbot para a coleta estruturada de dados produtivos e geração de indicadores financeiros, operando integralmente via WhatsApp, voltado a pequenos produtores rurais de milho e soja. O sistema foi desenvolvido com base em uma máquina de estados conversacional, sem uso de inteligência artificial generativa, e complementado por um painel web para visualização dos dados pelo produtor e um painel administrativo para visão consolidada dos indicadores por comunidade para gestores como, por exemplo, secretarias de agricultura dos municípios. A validação foi conduzida por meio de testes funcionais de caixa-preta estruturados segundo o padrão IEEE 829, organizados em três cenários: fluxo completo de uso, tratamento de entradas inválidas, scraping e cotações. Os sete indicadores financeiros calculados pelo sistema, entre eles produtividade por hectare, margem bruta e ponto de equilíbrio, foram conferidos por teste de mesa, e todos os testes dos três cenários foram aprovados, com o sistema coletando dados de safra, calculando os indicadores e retornando comparativos de desempenho ao produtor. Como limitação, a validação foi conduzida exclusivamente com dados simulados em ambiente controlado, sem exposição a produtores reais, etapa definida como trabalho futuro. O estudo conclui que a abordagem adotada é viável para oferecer ao pequeno produtor rural uma ferramenta acessível de apoio à gestão da safra, sem exigir a instalação de aplicativos ou hardware especializado, ao mesmo tempo em que viabiliza uma visão agregada de indicadores produtivos por comunidade para gestores.

Palavras-chave: Coleta de Dados. Indicadores. Agronegócio. Chatbot.

¹Graduando do Curso de Bacharelado em Ciência da Computação Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR.

²Doutorado em Engenharia de Produção (UFSC) Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR.

³Doutorado em Computação (PUCPR) Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR.

ABSTRACT: The lack of accessible tools for crop management and the absence of structured data allowing for a consolidated view of production indicators by community represent two facets of the same problem faced by small-scale Brazilian farmers. This study presents SmartSafra, a chatbot designed for small-scale corn and soybean farmers that enables the structured collection of production data and the generation of financial indicators, operating entirely via WhatsApp. The system was developed using a conversational state machine—without relying on generative artificial intelligence—and is complemented by a web dashboard for farmers to visualize their data and an administrative dashboard providing managers (such as municipal agriculture departments) with a consolidated view of indicators by community. Validation was conducted through functional black-box testing based on the IEEE 829 standard, organized into three scenarios: the complete usage workflow, handling of invalid inputs, and data scraping/market quotes. The seven financial indicators calculated by the system—including yield per hectare, gross margin, and break-even point—were verified via desk checking. All tests across the three scenarios passed, with the system successfully collecting crop data, calculating indicators, and returning performance comparisons to the farmer. A limitation of the study is that validation was conducted exclusively using simulated data in a controlled environment, without exposure to actual farmers; this step has been designated for future work. The study concludes that the adopted approach is a viable way to provide small-scale farmers with an accessible crop management tool—requiring no app installations or specialized hardware—while simultaneously enabling managers to access an aggregated view of production indicators by community.

Keywords: Data Collection. Indicators. Agribusiness. Chatbot.

RESUMEN: La falta de herramientas accesibles para la gestión de cultivos y la ausencia de datos estructurados que permitan una visión consolidada de los indicadores de producción por comunidad constituyen dos dimensiones del mismo problema que enfrentan los pequeños productores rurales brasileños. Este estudio presenta SmartSafra, un chatbot para la recopilación estructurada de datos de producción y la generación de indicadores financieros, que opera completamente a través de WhatsApp, dirigido a pequeños productores de maíz y soja. El sistema se desarrolló con base en una máquina de estados conversacional, sin el uso de inteligencia artificial generativa, y se complementó con un panel web para la visualización de datos por parte del productor y un panel administrativo para una visión consolidada de los indicadores por comunidad para administradores como, por ejemplo, las secretarías agrícolas municipales. La validación se realizó mediante pruebas funcionales estructuradas de caja negra según el estándar IEEE 829, organizadas en tres escenarios: flujo de uso completo, manejo de entradas no válidas, web scraping y cotizaciones de precios. Los siete indicadores financieros calculados por el sistema, incluyendo la productividad por hectárea, el margen bruto y el punto de equilibrio, fueron verificados mediante pruebas documentales. Todas las pruebas de los tres escenarios fueron aprobadas, ya que el sistema recopiló datos de los cultivos, calculó los indicadores y proporcionó comparaciones de rendimiento al productor. Como limitación, la validación se realizó exclusivamente con datos simulados en un entorno controlado, sin exposición a productores reales, un aspecto que se define como trabajo futuro. El estudio concluye que el enfoque adoptado es viable para ofrecer a los pequeños productores rurales una herramienta accesible que les ayude en la gestión de sus cultivos, sin necesidad de instalar aplicaciones ni hardware especializado, y que además permite a los gestores obtener una visión agregada de los indicadores productivos por comunidad.

Palabras clave: Recopilación de datos. Indicadores. Agroindustria. Chatbot.

I. INTRODUÇÃO

A ausência de registros estruturados é uma das principais lacunas para o desenvolvimento da agricultura de pequena escala no Brasil. Vieira *et al.* (2025) apontam que a informalidade e a resistência cultural impedem o registro sistemático de dados por pequenos produtores rurais, inviabilizando o cálculo de indicadores essenciais como margem de lucro e ponto de equilíbrio, situação que prejudica a tomada de decisão estratégica e a competitividade no agronegócio brasileiro. Esse problema se manifesta em duas partes complementares: de um lado, a ausência de ferramentas acessíveis que auxiliem o produtor na gestão da própria safra; e de outro, a falta de dados estruturados que permitam uma visão consolidada de indicadores produtivos por comunidade e microrregião, tornando invisível o desempenho coletivo dos municípios por safra. Atualmente, os indicadores oficiais de produção por município são disponibilizados pelo IBGE de forma anual por meio da Produção Agrícola Municipal (PAM), mas com uma defasagem temporal que frequentemente ultrapassa os dez meses após o término do ano civil. Na prática, isso significa que gestores municipais e secretarias de agricultura não dispõem de dados consolidados e estruturados no encerramento de cada safra para uma tomada de decisão imediata, evidenciando a necessidade de ferramentas de coleta em tempo real.

Esse cenário é particularmente relevante na região Sul do Brasil, onde a agricultura de base familiar e as pequenas propriedades têm peso expressivo na produção de grãos. Segundo o Censo Agropecuário de 2017 (IBGE, 2019), os estabelecimentos de agricultura familiar representam 76,8% do total de estabelecimentos agropecuários do país, com presença marcante nos três estados sulistas. O Paraná figura entre os estados com maior valor de produção proveniente de estabelecimentos familiares do Brasil, ao lado do Rio Grande do Sul e de Minas Gerais. É nesse contexto que se insere o município de Santa Helena, no Oeste do Paraná, onde as culturas predominantes são a soja e o milho. Segundo dados do Departamento de Economia Rural da Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná (PARANÁ, 2023), o município ocupou em 2022 a 5ª posição entre os municípios paranaenses com maior Valor Bruto da Produção Agropecuária, registrando R\$ 2,3 bilhões, com o milho e a soja como principais culturas. Apesar do volume expressivo, o município apresenta predominância de pequenas propriedades rurais, perfil que reforça a relevância de ferramentas acessíveis voltadas a esse público e que é representativo de boa parte do território produtivo do Sul do país.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo é propor um chatbot para coleta de dados produtivos e geração de indicadores financeiros em pequenas propriedades rurais, operando integralmente via WhatsApp. A coleta de dados constitui o núcleo do sistema, sendo a geração

de indicadores individuais e a visão agregada por comunidade, consequências diretas dessa coleta. A escolha pelo WhatsApp justifica-se por ser um dos meios de comunicação mais utilizados entre o público rural brasileiro, eliminando a necessidade de instalação de aplicativos dedicados ou aquisição de hardware especializado, respondendo diretamente às barreiras de acesso identificadas por Brugler *et al.* (2024) como principais obstáculos à adoção de ferramentas de apoio à decisão por pequenos produtores.

A justificativa para o desenvolvimento reside na ausência de ferramentas acessíveis e de baixo custo voltadas à coleta de dados em pequenas propriedades rurais, demanda identificada por Souza e Madalon (2025) como crítica no contexto da produção rural de pequena escala brasileira.

2. METODOLOGIA

O desenvolvimento do SmartSafrá partiu dos princípios dos sistemas de apoio à decisão voltados à agricultura de pequena escala, com foco na coleta estruturada de dados de propriedades rurais. Não se trata de um sistema de gestão contínua, mas de um chatbot de coleta que retorna análises imediatas a cada safra registrada. Conforme identificado por Brugler *et al.* (2024), as principais barreiras à adoção de ferramentas de apoio à decisão por pequenos produtores incluem restrições financeiras, desconfiança nos sistemas e ausência de canais acessíveis ao perfil rural. A opção por operar integralmente via WhatsApp elimina a necessidade de instalar aplicativos dedicados e responde diretamente a essas barreiras. Esta seção descreve o recorte geográfico do estudo, a arquitetura do sistema, a modelagem conceitual, a lógica conversacional, a geração de dados simulados e os procedimentos de validação adotados.

Optou-se por uma interface *menu-driven* baseada em navegação por opções numéricas, sem uso de inteligência artificial generativa. Bharti *et al.* (2024) observaram em estudo conduzido com produtores de arroz em Odisha, na Índia, que agricultores valorizam a simplicidade da navegação por opções numéricas e a ausência da necessidade de digitar frases complexas, o que sustenta a decisão de adotar uma máquina de estados determinística como base da lógica conversacional. Essa escolha é coerente com o perfil do público-alvo e com o objetivo central do sistema, que é a coleta estruturada de dados de safra de forma acessível e sem exigências tecnológicas avançadas ao produtor.

Neste contexto, o SmartSafrá disponibiliza ao produtor um fluxo de coleta de dados de safra via máquina de estados, o cálculo e exibição de indicadores financeiros com base nos dados coletados, comparativos de desempenho entre comunidades e com a média do mercado DERAL

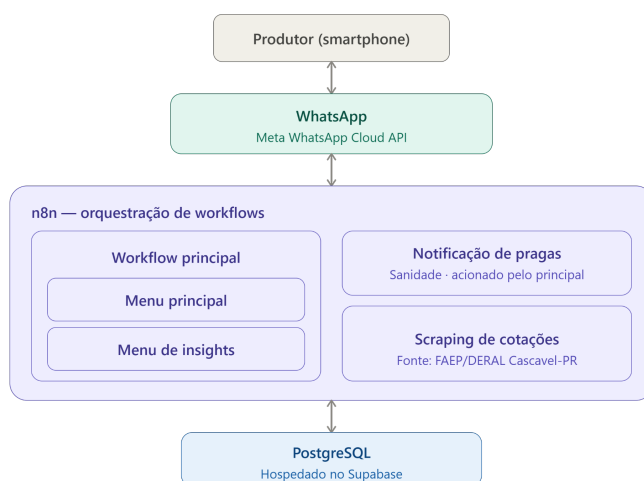
(Departamento de Economia Rural) Cascavel/PR, cotações diárias de milho e soja coletadas automaticamente e enviadas ao produtor, alertas comunitários de ocorrência de pragas e um painel web para visualização dos dados. Do ponto de vista da gestão, realizada pelas secretarias de agricultura, criou-se uma interface administrativa para visão consolidada dos indicadores por comunidade, contemplando total de produtores e de safras cadastradas por cultura, produtividade média, custo médio por hectare e margem média por comunidade, além da evolução das cotações de milho e soja.

O recorte do estudo é o município de Santa Helena, localizado no Oeste do Paraná. A escolha justifica-se pela combinação entre a relevância econômica do agronegócio local e a predominância de pequenas propriedades rurais, perfil que representa o público-alvo do SmartSafras e prova a demanda por ferramentas acessíveis de coleta e análise de dados produtivos.

2.1 Arquitetura do sistema

O SmartSafras foi estruturado em quatro camadas, conforme Figura 1.

Figura 1 - Arquitetura Geral do Sistema.



Fonte: Autores (2026).

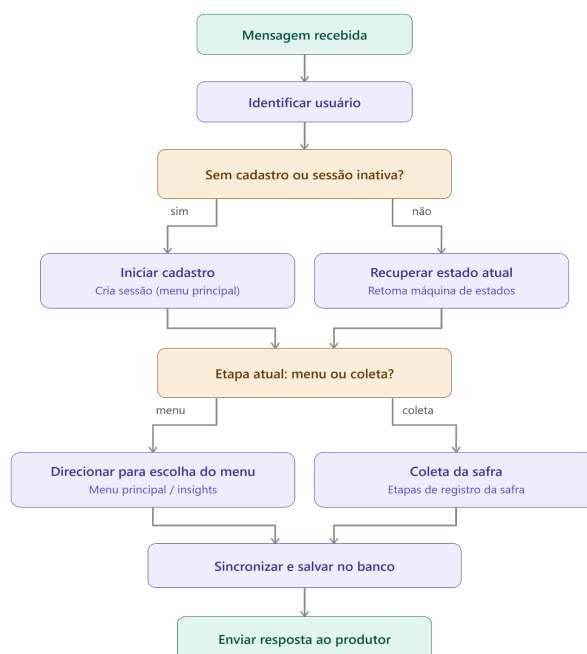
A camada de interface conversacional opera via WhatsApp, intermediada pela Meta WhatsApp Cloud API, responsável pelo recebimento e envio de mensagens aos produtores. A segunda camada compreende a orquestração implementada no n8n, ferramenta de automação de workflows composta pelo workflow principal, responsável pelo menu principal e pelo menu de insights, pelo workflow de notificação de pragas, acionado a partir do workflow principal

quando o produtor relata ocorrência, e pelo workflow de scraping de cotações, executado por agendamento diário a partir da fonte FAEP/DERAL de Cascavel/PR. A terceira camada contempla o banco de dados PostgreSQL, hospedado no Supabase. Toda a infraestrutura foi executada em contêineres Docker, garantindo a consistência das dependências do ambiente. O *deploy* em ambiente de produção na AWS foi executado após o desenvolvimento do protótipo.

2.2 Dinâmica dos *workflows*

A lógica conversacional foi distribuída em três *workflows* independentes no n8n. O *workflow* principal oferece quatro opções ao produtor: registrar safra, ver cotações, meus resultados, registrar ocorrência de pragas e meu painel, sendo esta última responsável pelo envio do link de acesso ao *dashboard* web do produtor diretamente via WhatsApp. Essa separação por *workflows* facilita o desenvolvimento e o debug, já que cada parte passa a ser testada e modificada de forma isolada. A Figura 2 mostra de forma resumida como funciona a sequência de ações do Chatbot.

Figura 2- Workflow principal.

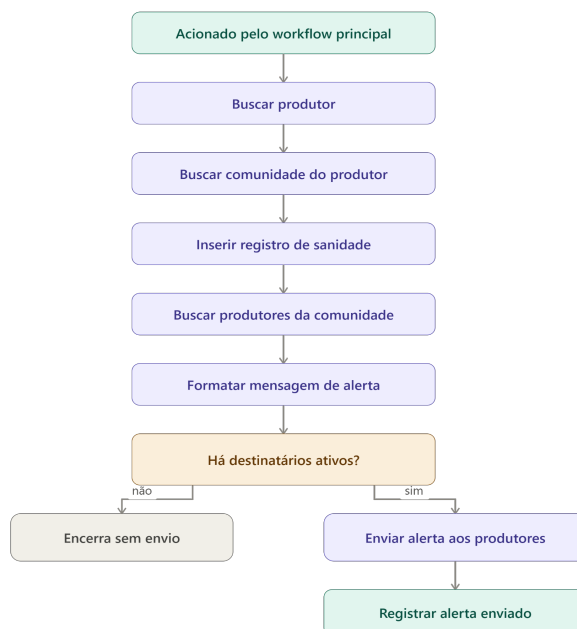


Fonte: Autores (2026).

Dois *workflows* operam fora do fluxo conversacional: o de notificação comunitária de pragas, acionado pelo *workflow* principal quando o produtor relata ocorrência ao final da coleta

(Figura 3); e o de scraping de cotações (Figura 4), executado por agendamento diário e sem dependência da conversa.

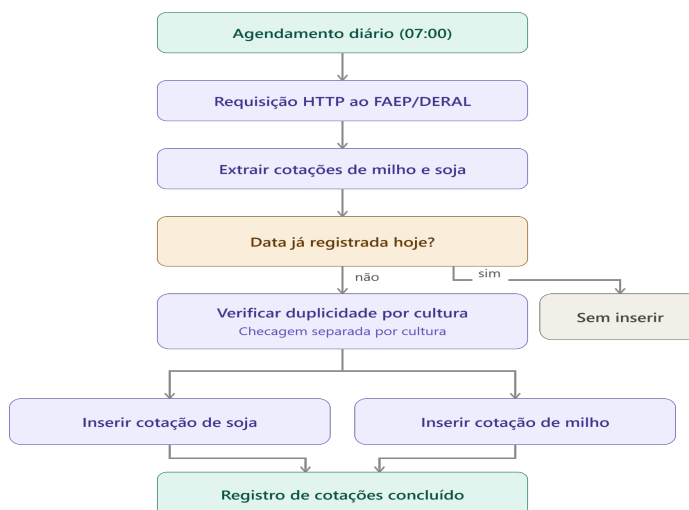
Figura 3- Workflow de notificação comunitária de pragas.



Fonte: Autores (2026).

7

Figura 4- Workflow de scraping de cotações.



Fonte: Autores (2026).

Ao concluir o registro de uma safra ou ao acessar a opção de resultados no menu principal, o produtor é direcionado ao menu de *insights*, que oferece quatro opções de

visualização: indicadores da própria safra, comparativo do preço de venda do produtor com a cotação média DERAL de Cascavel/PR, *benchmark* com a média dos produtores da mesma comunidade e ranking de produtividade entre comunidades.

Os indicadores da safra contemplam:

- Indicador Produtividade por hectare: retorna a quantidade de sacas produzidas por cada hectare cultivado, de acordo com a Equação 1.

$$\text{Produtividade Por Hectare} = \text{sacas Colhidas} / \text{área} \quad (1)$$

- Indicador Custo por Hectare: Indica quanto o produtor gastou para cultivar cada hectare (Equação 2).

$$\text{Custo Por Hectare} = (\text{sementes} + \text{fertilizantes} + \text{defensivos} + \text{diesel} + \text{maquinários}) / \text{área} \quad (2)$$

- Indicador Custo por saca: Indica quanto custou para produzir cada saca colhida, de acordo com a Equação 3.

$$\text{Custo por saca} = (\text{sementes} + \text{fertilizantes} + \text{defensivos} + \text{diesel} + \text{maquinários}) / \text{sacas Colhidas} \quad (3)$$

- Indicador Receita Bruta: Indica o valor total obtido com a venda da produção, sem descontar nenhum custo (Equação 4).

$$\text{Receita Bruta} = \text{sacas Colhidas} * \text{preço Venda} \quad (4)$$

- Indicador Margem bruta: Indica o resultado financeiro da safra após descontar os custos diretos de produção da receita bruta, conforme Equação 5.

$$\text{Margem Bruta} = (\text{sacas Colhidas} * \text{preço Venda}) - (\text{sementes} + \text{fertilizantes} + \text{defensivos} + \text{diesel} + \text{maquinários}) \quad (5)$$

- Indicador Margem bruta percentual: Indica qual percentual da receita bruta se converteu em resultado após os custos diretos (Equação 6).

$$\text{Margem Bruta Percentual} = (\text{Margem Bruta} / \text{Receita Bruta}) * 100 \quad (6)$$

- Indicador Ponto de equilíbrio: Indica a quantidade mínima de sacas que o produtor precisaria ter vendido para cobrir todos os custos diretos da safra, sem lucro nem prejuízo, de acordo com a Equação 7.

$$\text{Ponto de Equilíbrio} = (\text{sementes} + \text{fertilizantes} + \text{defensivos} + \text{diesel} + \text{maquinários}) / \text{preço Venda} \quad (7)$$

Essas opções transformam os dados coletados em informação imediata e contextualizada para o produtor, sem exigir qualquer conhecimento técnico adicional.

Do ponto de vista da gestão, por exemplo, secretarias de agricultura ou órgãos competentes, o acesso ao painel administrativo reflete um conjunto de visualizações para monitoramento e tomada de decisão. As visualizações contemplam o total de produtores e de safras cadastradas por cultura, a produtividade média e a margem média por comunidade, o

custo médio por hectare, a evolução das cotações de milho e soja, e o histórico individual de safras de cada produtor (ID).

2.3 Validação

A validação seguiu uma abordagem de teste funcional caixa-preta, na qual cada caso de teste exercita um requisito do sistema a partir de uma entrada conhecida e verifica se a saída produzida e o estado final correspondem ao comportamento esperado. Os casos de teste foram estruturados segundo o padrão IEEE 829 (IEEE, 2008), norma que define a documentação de testes de software e especifica os elementos que cada caso deve conter, contemplando objetivo, pré-condições, entrada, resultado esperado, resultado obtido e status de execução. A distribuição dos 47 casos executados por módulo do sistema, com o escopo de validação e o resultado de cada módulo, está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Distribuição dos casos de teste por módulo, escopo da validação e resultado.

Módulo	Casos	Escopo da validação	Resultado
Cadastro	CT-01 a CT-05	Identificação de primeiro acesso, transição entre etapas e validação do nome e da comunidade informados	Aprovado
Menu principal	CT-06 a CT-12	Direcionamento correto de cada uma das cinco opções, reconhecimento de palavra-chave e resposta à entrada inválida	Aprovado
Coleta de Safra	CT-13 a CT-25	Percurso completo das etapas, validação dos dados informados, retomada após erro e tratamento da máquina de estados	Aprovado
Cotações	CT-26 a CT-28	Apresentação das cotações, mensagem alternativa sem dados e exibição quando há apenas uma cultura	Aprovado
Insights	CT-29 a CT-34	Cálculo e exibição dos indicadores, comparativo com a cotação de mercado e navegação entre opções	Aprovado
Benchmark de comunidade	CT-35 a CT-36	Bloqueio abaixo do mínimo de safras e comparação do produtor com a média da comunidade	Aprovado
Ranking entre comunidades	CT-37 a CT-40	Escolha da cultura, ordenação das comunidades, destaque da comunidade do produtor e ausência de dados	Aprovado
Pragas e sanidade	CT-41 a CT-46	Registro do relato, seleção de categorias por cultura e envio do alerta à comunidade	Aprovado
Total	46 casos	—	Aprovados

Fonte: Autores (2026).

A verificação dos cálculos dos indicadores financeiros foi conduzida, comparando os valores apurados pelo sistema com valores calculados manualmente a partir das mesmas entradas. A validação foi organizada em três cenários. O primeiro foi o cenário de fluxo completo, que simulou o ciclo de uso: cadastro, coleta de safra, consulta de cotações, visualização de indicadores e ranking. O segundo foi o cenário de entradas inválidas e recuperação após mensagem de erro, que avaliou o tratamento de erros e a clareza das mensagens de feedback. O terceiro foi o cenário de scraping e cotações, que verificou a inserção correta, a ausência de duplicatas para o mesmo dia e o comportamento na ausência de cotações.

A avaliação da experiência do usuário com produtores reais foi definida como trabalho futuro, a ser conduzida em condições não controladas, conforme sugerido por Gever *et al.* (2024). Os dados inseridos para os testes são fictícios, simulando o processo completo do processo.

A opção por dados simulados justifica-se pela necessidade de validar o funcionamento do sistema de forma controlada e reproduzível antes de sua exposição a produtores reais, abordagem coerente com a avaliação estruturada de sistemas de apoio à decisão sob restrições de dados discutida por Helps *et al.* (2024). Os dados foram gerados por meio de um script *Python* com parâmetros predefinidos, garantindo reprodutibilidade total dos resultados. O conjunto simulou 100 produtores distribuídos em 6 comunidades do município. Para milho, os parâmetros variaram entre 20 e 80 hectares de área plantada, produtividade de 100 a 130 sacas/hectares e preço de venda de R\$ 55,00 a R\$ 75,00/saca. Para a soja, a área variou entre 20 e 100 hectares, produtividade de 55 a 70 sacas/hectares e preço de R\$ 110,00 a R\$ 135,00/saca. Os custos por hectare foram gerados aleatoriamente dentro de faixas representativas da região: sementes entre R\$ 400,00 e R\$ 800,00, fertilizantes entre R\$ 800,00 e R\$ 1.600,00, defensivos entre R\$ 300,00 e R\$ 700,00 e diesel entre R\$ 150,00 e R\$ 300,00. Como cada comunidade foi configurada com exatamente 5 produtores e 5 safras concluídas, todas atingiram o limiar mínimo exigido pelos módulos de *benchmark* comunitário e ranking entre comunidades.

Vale destacar que os fluxos foram desenvolvidos seguindo princípios de proteção de dados inspirados na LGPD (BRASIL, 2018), de modo que os produtores e suas propriedades são vinculados internamente por meio de identificadores, e não por dados nominais, reduzindo a exposição direta de informações pessoais.

RESULTADOS

A validação do SmartSafra foi conduzida em três cenários, conforme citado na seção 2.3 da metodologia. No primeiro acesso, o sistema identifica corretamente a ausência de cadastro,

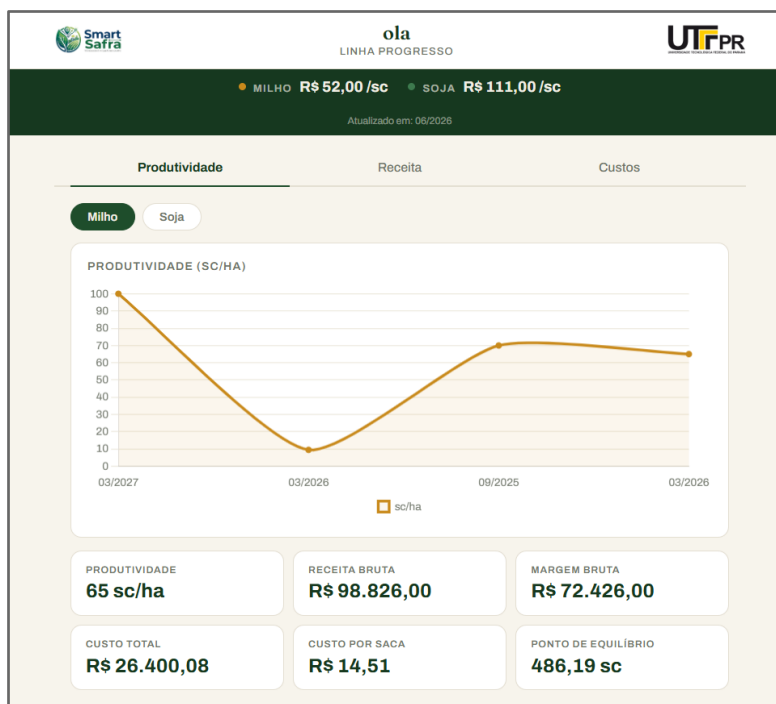
conduz o produtor ao fluxo de registro e exibe uma mensagem de boas-vindas personalizada com o nome informado. Na coleta de safra, os indicadores financeiros exibidos ao produtor corresponderam aos valores apurados manualmente por teste de mesa, e a verificação no banco confirmou a criação correta dos registros de safra, custos e indicadores, vinculados entre si pelo identificador da safra. As opções do menu de insights retornam valores coerentes com os dados persistidos, e a consulta de cotações exibe os preços mais recentes coletados pelo módulo de *scraping*. O alerta de sanidade comunitária é disparado corretamente quando o produtor relata ocorrência de pragas ao final da coleta. Antes do envio, o sistema verifica se a data de plantio da safra está dentro do prazo de relevância definido, enviando a notificação apenas quando a safra foi considerada atual. A mensagem enviada aos demais produtores ativos da comunidade incluiu a cultura e o período de plantio da safra afetada, sem identificação do produtor de origem.

O cenário de entradas inválidas avaliou a resposta da máquina de estados diante de respostas fora do formato esperado. Em todas as etapas testadas, o envio de uma entrada inválida, como texto no lugar de número, mês inexistente no campo de data ou valor fora das opções disponíveis, resulta na exibição da mensagem de erro correspondente à etapa, seguida das opções de tentar novamente ou retornar ao menu principal. Ao optar por tentar novamente, o sistema retorna corretamente para a etapa em que estava e repete a pergunta sem perda do progresso anterior. A validação do *parsing* numérico confirmou que vírgula e ponto são aceitos como separadores decimais, e os limites de validação por etapa, como mês entre 1 e 12 no campo de data e área plantada, foram respeitados em todos os casos executados.

No módulo de *scraping*, a coleta das cotações de milho e soja a partir do boletim FAEP/DERAL de Cascavel/PR, foram inseridas no banco de forma independente, sem duplicatas e sem erros de inserção. A consulta de cotações pelo produtor exibiu os dados mais recentes coletados, e o comportamento de *fallback*, com exibição de mensagem informando a ausência de cotações, funcionou corretamente quando o banco ainda não possuía registros. Em situações de falha de rede simuladas, o módulo preservou as cotações já registradas sem inserir dados inválidos. A execução do agendamento automático em cronograma diário é verificada no n8n, confirmando a programação para dias úteis às 7h00.

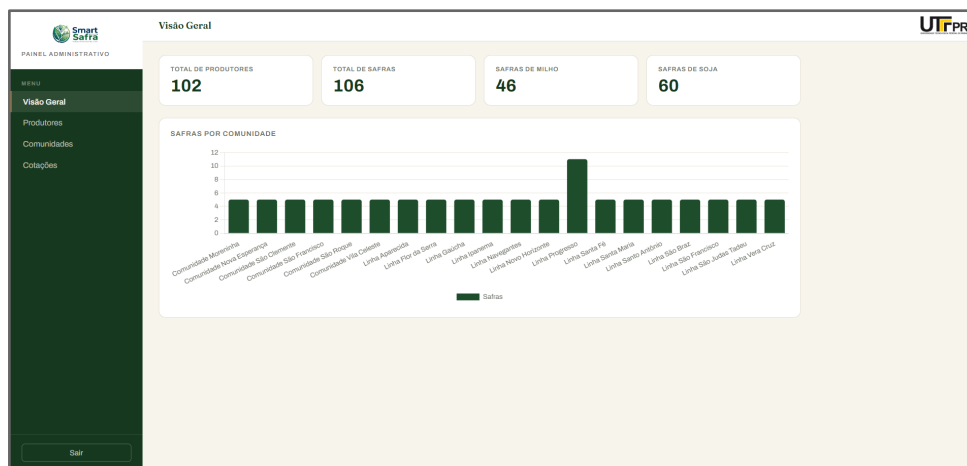
O painel do produtor (Figura 5) e o painel administrativo (Figura 6) foram desenvolvidos e verificados pelos autores quanto ao funcionamento das visualizações e à consistência dos dados exibidos em relação aos registros do banco. A avaliação da experiência de uso com produtores reais e gestores municipais constitui trabalho futuro.

Figura 5 - Painel do Produtor.



Fonte: Autores (2026).

Figura 6 - Painel Administrativo.



Fonte: Autores (2026).

DISCUSSÃO

Os resultados indicam que a abordagem *menu-driven* baseada em máquina de estados determinística mostrou-se adequada à proposta. A navegação por opções numéricas e o tratamento de entradas inválidas produziram um comportamento previsível e recuperável em todas as situações testadas, o que é coerente com o que Bharti *et al.* (2024) observaram ao

constatar que agricultores valorizam a simplicidade e a ausência da necessidade de digitar frases complexas. Essa previsibilidade não invalida abordagens baseadas em IA generativa, como o Farmer.Chat (SINGH *et al.*, 2024), que resolve um problema de escopo diferente, voltado à escala massiva, à adaptação a várias línguas e ao atendimento de consultas abertas em linguagem natural. O SmartSafrá prioriza a coleta estruturada de dados de safra e a geração de indicadores confiáveis para pequenos produtores, demanda apontada por Souza e Madalon (2025) no contexto da produção rural de pequena escala brasileira.

As contribuições deste estudo podem ser compreendidas em três níveis. No nível técnico, o chatbot demonstra viabilidade como mecanismo de coleta de dados estruturados via WhatsApp, operando sem IA generativa e sem exigir instalação de aplicativos, o que responde diretamente às barreiras de adoção identificadas por Brugler *et al.* (2024). No nível do produtor, o sistema oferece acesso imediato a indicadores financeiros da própria safra, cotações diárias de milho e soja e comparativos de desempenho com outros produtores da comunidade, informações cuja relevância para a gestão financeira de lavouras de campo é discutida por Očić *et al.* (2025). No nível municipal, a coleta sistemática de dados viabiliza uma visão consolidada de indicadores produtivos por comunidade por meio do painel administrativo, tornando visível o desempenho coletivo de Santa Helena/PR e oferecendo um instrumento concreto de apoio à gestão territorial da produção rural.

A integridade dos registros persistidos no banco, a correção dos indicadores exibidos e o disparo correto do alerta de sanidade reforçam que a separação por *workflows* adotada mantém consistência ao longo do fluxo. O trabalho apresenta duas limitações que devem ser consideradas na interpretação dos resultados. O sistema foi validado exclusivamente com dados simulados em ambiente controlado, sem exposição a produtores reais. A avaliação da experiência de uso dos painéis web com produtores e gestores municipais também permanece como etapa pendente. Para trabalhos futuros, recomenda-se a condução de testes com produtores reais de Santa Helena/PR e a coleta de *feedback* sobre a usabilidade do sistema em condições não controladas, etapas necessárias para avaliar o impacto real da ferramenta, conforme sugerido por Gever *et al.* (2024).

Em comparação com outros sistemas descritos na literatura, o SmartSafrá se distingue pela escolha do canal de comunicação e pelo foco na coleta estruturada de dados financeiros. Opera em um nicho específico, relacionado à coleta estruturada de dados produtivos e geração de indicadores financeiros via WhatsApp, canal já presente no cotidiano do produtor rural

brasileiro, respondendo diretamente às barreiras de adoção identificadas por Brugler *et al.* (2024).

Do ponto de vista técnico, a máquina de estados determinística demonstra ser uma arquitetura adequada para o contexto de coleta estruturada de dados. O comportamento, característica central de sistemas determinísticos, garante que cada entrada do produtor, produza sempre a mesma transição de estado, eliminando confusões no fluxo conversacional e facilitando a identificação e correção de falhas durante o desenvolvimento. A principal dificuldade observada foi na fase inicial de modelagem, quando a estrutura de estados precisou ser definida para acomodar simultaneamente as diversas etapas de coleta, as validações específicas de cada campo, os estados de erro e a lógica de retomada. Uma vez estabelecida a estrutura base, a extensão do sistema com novos estados e transições, como o fluxo independente de relato de pragas adicionado posteriormente, mostrou-se tecnicamente viável sem comprometer a conduta já validada. Um limite observado, é a dependência do modelo determinístico: entradas que fujam do formato esperado não são interpretadas, apenas rejeitadas, o que exige mensagens de erro claras e um mecanismo de recuperação robusto para que o produtor não abandone o fluxo. A implantação do sistema com produtores reais requer, além da validação funcional já conduzida, um período de acompanhamento presencial para verificar a aderência ao fluxo conversacional em condições de uso não controlado.

A validação exclusiva com dados simulados coloca limitações à generalização dos resultados que devem ser considerados com atenção. O script de geração distribuiu uniformemente 5 produtores por comunidade, o que garantiu que todas as 20 comunidades atingissem exatamente o limite mínimo de 5 safras exigido pelos módulos de *benchmark* e *ranking*. Em condições reais, a distribuição de produtores por comunidade seria heterogênea, com algumas comunidades possivelmente abaixo do limiar mínimo por períodos prolongados, o que afetaria diretamente a disponibilidade dos módulos de *benchmark* para esses produtores. Da mesma forma, os parâmetros de produtividade, custo e preço foram gerados dentro de faixas representativas da região Oeste do Paraná, mas com distribuição aleatória uniforme, o que não reproduz a variabilidade real observada entre safras e entre produtores de uma mesma comunidade. Em contexto real, fatores como condições climáticas, acesso a insumos e nível de mecanização introduzem assimetrias que os dados simulados não capturam. Essa limitação não compromete a validade funcional dos testes conduzidos, uma vez que o objetivo da simulação foi verificar o comportamento do sistema diante a entradas dentro das faixas esperadas, e não modelar a distribuição estatística real da produção agrícola. A exposição do sistema a dados reais

de produtores, etapa prevista como trabalho futuro, permitirá avaliar o comportamento dos módulos de *benchmark* e ranking em condições de heterogeneidade efetiva.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou o desenvolvimento e a validação funcional de um chatbot determinístico para coleta estruturada de dados produtivos e geração de indicadores financeiros de pequenas propriedades rurais de Santa Helena/PR, operando via WhatsApp. Os resultados obtidos indicam que o SmartSafra cumpriu os objetivos propostos: a coleta de dados de safra foi realizada com sucesso e os indicadores financeiros retornados ao produtor corresponderam ao especificado em todos os requisitos funcionais testados.

O sistema oferece ao pequeno produtor rural após o registro da safra, acesso imediato a indicadores financeiros da própria safra, como produtividade, custos, margem bruta e ponto de equilíbrio, além de cotações diárias de milho e soja e comparativos de desempenho com outros produtores da comunidade e da região. No nível municipal, a coleta sistemática de dados viabiliza uma visão consolidada de indicadores produtivos por comunidade, acessível por meio do painel administrativo. Essas informações, antes indisponíveis para a maioria dos produtores por ausência de ferramentas acessíveis, passam a compor um instrumento concreto de apoio à gestão agrícola, sem necessidade de instalação de aplicativos ou conhecimento técnico avançado.

15

As contribuições científicas e técnicas do trabalho podem ser articuladas em três dimensões. Do ponto de vista técnico, o trabalho demonstra a viabilidade de coleta estruturada de dados financeiros agrícolas via WhatsApp por meio de uma máquina de estados determinística, sem uso de inteligência artificial generativa, o que representa uma alternativa de baixo custo e fácil adoção para o perfil do produtor rural brasileiro. Do ponto de vista metodológico, a arquitetura proposta responde diretamente às barreiras de adoção identificadas na literatura, operando em um canal já presente no cotidiano rural sem exigir a instalação de aplicativos ou treinamento técnico. E, por fim, do ponto de vista de gestão territorial, o sistema demonstra que a coleta individual de dados de safra pode gerar, como subproduto direto uma visão agregada de indicadores produtivos por comunidade, informação que sistemas similares descritos na literatura não produziram de forma sistemática para o contexto de municípios de pequeno porte.

Como trabalhos futuros, sugere-se a validação do sistema com produtores reais de Santa Helena/PR por meio de formulários estruturados e escala Likert, avaliando a usabilidade, a clareza das mensagens e a relevância dos indicadores gerados para a tomada de decisão na

propriedade. Recomenda-se também a investigação de funcionalidades complementares, como alertas proativos de variação de preço no mercado e alertas climáticos relevantes ao período da safra, com definição prévia de protocolos de coleta e critérios de disparo baseados em limites estabelecidos com produtores e técnicos agrícolas da região.

O SmartSafra foi concebido como uma solução de baixo custo operacional e alta portabilidade. Por operar integralmente via WhatsApp e *n8n* hospedados em ambiente de nuvem na AWS (*Amazon Web Services*), o principal custo de operação recai sobre a hospedagem da infraestrutura, sem necessidade de servidores locais ou licenças de software proprietário. A replicação do sistema em outros municípios ou regiões produtoras exige apenas a atualização da lista de comunidades no fluxo de cadastro e o ajuste dos parâmetros de cotação para a praça de referência local, tornando a solução tecnicamente adaptável a outros contextos do agronegócio de pequena escala brasileiro com investimento mínimo de customização.

REFERÊNCIAS

BHARTI, Preeti et al. Chatbot for promoting best crop management practices to rice farmers in Odisha, India. *Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology*, v. 42, n. 10, p. 257-264, 2024.

BRASIL. Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. Dispõe sobre a proteção de dados pessoais e altera a Lei nº 12.965, de 23 de abril de 2014 (Marco Civil da Internet). Brasília, DF: Presidência da República, 2018. Disponível em: planalto.gov.br. Acesso em: 9 jun. 2026.

BRUGLER, Skye et al. Improving decision support systems with machine learning: Identifying barriers to adoption. *Agronomy Journal*, v. 116, n. 3, p. 1229-1236, 2024.

GEVER, Verlunum Celestine et al. Developing and testing a social media-based intervention for improving business skills and income levels of young smallholder farmers. *Aslib Journal of Information Management*, v. 76, n. 4, p. 694-711, 2024.

HELPS, Joseph C. et al. A framework for evaluating the value of agricultural pest management decision support systems. *European journal of plant pathology*, v. 169, n. 4, p. 887-902, 2024.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. IEEE Std 829-2008: IEEE Standard for Software and System Test Documentation. New York: IEEE, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Agropecuário 2017: resultados definitivos. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: ibge.gov.br. Acesso em: 8 jul. 2026.

OČIĆ, Vesna et al. DuPont profitability analysis of different types of agricultural farms in Croatia. *Journal of Central European Agriculture*, v. 26, n. 2, p. 555-563, 2025.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Departamento de Economia Rural. Valor Bruto da Produção Agropecuária do Paraná (VBP): Relatório Final 2022. Curitiba: SEAB/DERAL, 2023.

SINGH, Namita et al. Farmer. Chat: Scaling AI-Powered agricultural services for smallholder farmers. arXiv preprint arXiv:2409.08916, 2024.

SOUZA, Elaine Manelli Riva; MADALON, Fernando Zanotti. GESTÃO E CONTABILIDADE: UMA ABORDAGEM POR MEIO DE INDICADORES ECONÔMICO-FINANCEIROS PARA A AGRICULTURA FAMILIAR. REVISTA CIENTÍFICA INTELLETO, v. 10, 2025.

VIEIRA, Geovana Cândida et al. IMPORTÂNCIA DA CONTABILIDADE PARA OS PEQUENOS PRODUTORES RURAIS. Revista GeTeC, v. 25, 2025.