



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO E SISTEMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

André Flesch Laforce

**Gerenciamento do Lançamento de um Novo Produto de Sintonização
Automática de Controladores PID para Aplicadores de Fertilizantes**

Florianópolis
2024

André Flesch Laforce

Gerenciamento do Lançamento de um Novo Produto de Sintonização Automática de Controladores PID para Aplicadores de Fertilizantes

Relatório final da disciplina DAS5511 (Projeto de Fim de Curso) como Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Santa Catarina em Florianópolis.

Orientador: Prof. Hector Bessa Silveira, Dr.

Florianópolis
2024

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.
Dados inseridos pelo próprio autor.

Flesch Laforce, André
Gerenciamento do Lançamento de um Novo Produto de
Sintonização Automática de Controladores PID para
Aplicadores de Fertilizantes / André Flesch Laforce ;
orientador, Hector Bessa Silveira, 2024.
82 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia de Controle e Automação,
Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia de Controle e Automação. 2. Gerenciamento
de Produtos. 3. Agricultura de Precisão. 4. Controle de
Processos. 5. Controle de Fertilização. I. Silveira, Hector
Bessa. II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Graduação em Engenharia de Controle e Automação. III. Título.

André Flesch Laforce

Gerenciamento do Lançamento de um Novo Produto de Sintonização Automática de Controladores PID para Aplicadores de Fertilizantes

Esta monografia foi julgada no contexto da disciplina DAS5511 (Projeto de Fim de Curso) e aprovada em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação

Florianópolis, 07 de dezembro de 2024.

Prof. Marcelo de Lellis Costa de Oliveira, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Hector Bessa Silveira, Dr.
Orientador
UFSC/CTC/DAS

Hugo Pereira Fagundes, Eng.
Supervisor
Hexagon

Arnaldo Pinheiro de Azevedo Júnior, Mestre
Avaliador
UFSC/CTC/DAS

Prof. Eduardo Camponogara, Dr.
Presidente da Banca
UFSC/CTC/DAS

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar e acima de tudo gostaria de agradecer a meus pais, Charles e Erica, por terem me dado a vida e tudo o que eu poderia precisar. Por todo o seu amor incondicional. Por terem ficado ao meu lado, mesmo há milhares de quilômetros de distância. Por terem me ajudado a me tornar o homem que sou. Por ouvirem as minhas angústias e problemas. Por toda a paciência com meus erros e falhas. Por todos os ensinamentos. Por estes e todos os outros milhares de motivos que não cabem em uma única lista, sou eternamente grato.

Agradeço também aos centenas de amigos que fiz durante minha longa jornada na UFSC, meus colegas do curso de Engenharia de Controle e Automação, da ATACA, da ATCTC, do Linguíção da Automação e, não menos importante, das amizades simplesmente aleatórias que me agraciaram ao longo de 8 anos de graduação. Sou especialmente grato ao Emmanuel, meu primeiro e mais antigo amigo nesta faculdade, com quem vivi bons e maus momentos, por todo o seu apoio durante 8 anos de amizade.

Agradeço aos meus companheiros da banda Malha Fechada, Bernardo, Gustavo, Pedro e Ubirajara, por todos os ótimos momentos e experiências inigualáveis, que se mostraram verdadeiros refúgios de todo o estresse deste final de graduação.

Obrigado ao DAS e todos os professores que marcaram presença na minha formação profissional e acadêmica, especialmente ao meu orientador Hector, que também tenho a honra e orgulho de chamar de amigo, por todo o seu apoio e paciência na escrita deste e outros documentos.

E por fim, mas não menos importante, agradeço meu chefe e mentor, Hugo, por confiar no meu potencial e também aos demais colegas da Hexagon que me ajudaram a crescer pessoal e profissionalmente.

*“ Até que um dia você descobre
Dez anos ficaram para trás
Ninguém te disse quando correr,
Você perdeu o tiro de largada.”
(Pink Floyd, 1973)*

DECLARAÇÃO DE PUBLICIDADE

Florianópolis, 07 de dezembro de 2024.

Na condição de representante da Hexagon na qual o presente trabalho foi realizado, declaro não haver ressalvas quanto ao aspecto de sigilo ou propriedade intelectual sobre as informações contidas neste documento, que impeçam a sua publicação por parte da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) para acesso pelo público em geral, incluindo a sua disponibilização *online* no Repositório Institucional da Biblioteca Universitária da UFSC. Além disso, declaro ciência de que o autor, na condição de estudante da UFSC, é obrigado a depositar este documento, por se tratar de um Trabalho de Conclusão de Curso, no referido Repositório Institucional, em atendimento à Resolução Normativa n° 126/2019/CUn.

Por estar de acordo com esses termos, subscrevo-me abaixo.

Documento assinado digitalmente
 HUGO PEREIRA FAGUNDES
Data: 09/12/2024 17:42:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Hugo Pereira Fagundes
Hexagon

RESUMO

O crescimento populacional das últimas décadas aumentou a demanda por alimentos, exigindo maior produtividade agrícola. A Hexagon Agriculture desenvolve soluções de Agricultura de Precisão para planejar e monitorar operações agrícolas, como fertilização e plantio. Um dos produtos oferecidos pela Hexagon é o Controle de Fertilização, baseado no método de Taxa Variável, que utiliza controladores PID para operar sistemas hidráulicos de máquinas agrícolas de fertilização. O sistema hidráulico que opera a aplicação de fertilizante destas máquinas pode ser modelado como um sistema dinâmico de primeira ordem com atraso de transporte, e o controlador PID é utilizado para rejeitar perturbações e garantir o seguimento de referência na aplicação de fertilizantes. O desgaste estrutural das máquinas causa perturbações nos parâmetros do sistema, prejudicando a performance dos controladores PID devido à falta de sintonização para adaptar às perturbações paramétricas. A sintonização destes controladores PID em máquinas agrícolas é uma tarefa árdua e os técnicos da Hexagon responsáveis por tal configuração têm dificuldades para realizar a tarefa, resultando em esforços exacerbados com pouca efetividade. Uma aplicação de fertilizantes mal configurada pode gerar desperdícios de insumos, resultando em perda de produtividade dos fazendeiros e, conseqüentemente, na perda de confiança destes para com a Hexagon. Uma aplicação de insumos mal feita pode também acarretar a problemas ambientais, que resultariam em multas para os fazendeiros. Para resolver esse problema, a Hexagon planejou criar um novo produto, denominado de Auto tuning pela empresa, uma ferramenta para automatizar a configuração dos controladores PID visando garantir maior eficiência mesmo em condições adversas. O conceito de produto do Auto tuning foi desenvolvido pelo autor no estágio realizado na empresa anterior a este trabalho. Este trabalho visa gerenciar o processo de lançamento do Auto tuning no mercado. O desenvolvimento e o lançamento de novos produtos envolvem diversas equipes, como Gerenciamento de Produto, Engenharia e a diretoria da empresa. Essas equipes trabalham com base nas necessidades dos usuários, transformadas em conceitos pela equipe de Gerenciamento de Produtos. O lançamento de novos produtos envolve riscos como a confiabilidade técnica, o impacto nas atividades dos técnicos da Hexagon e dos fazendeiros, e a adoção pelos clientes. Esses riscos foram mapeados e mitigados pelo Gerente de Produto. Para isso, foram realizadas técnicas como testes e validações para certificar a eficiência do novo produto, além de treinamentos para assegurar que a equipe técnica compreenda seu uso. Essas ações serão detalhadas neste documento. O produto foi efetivamente lançado no mercado no dia 19 de novembro de 2024. Com ele, a Hexagon espera elevar sua posição de protagonismo no mercado de agricultura de precisão, aumentando também seu faturamento e lucro para que possa reinvesti-los em novos projetos.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão. Controle de processos. Controle de fertilização. Gerenciamento de Produto.

ABSTRACT

Population growth in recent decades has increased the demand for food, requiring greater agricultural productivity. Hexagon Agriculture develops Precision Agriculture solutions to plan and monitor agricultural operations, such as fertilization and planting. One of the products offered by Hexagon is Fertilization Control, based on the Variable Rate method, which uses PID controllers to operate the hydraulic systems of agricultural fertilization machines. The hydraulic system that operates the fertilizer application of these machines can be modeled as a first-order dynamic system with transport delay, and the PID controller is used to reject disturbances and ensure reference tracking in the fertilizer application. The structural wear and tear of the machines causes disturbances in the system parameters, impairing the performance of the PID controllers due to the lack of tuning to adapt to the parametric disturbances. Tuning these PID controllers in agricultural machinery is an arduous task and the Hexagon technicians responsible for this configuration have difficulty in carrying out the task, resulting in exacerbated efforts with little effectiveness. Poorly configured fertilizer application can lead to wasted inputs, resulting in a loss of productivity for farmers and, consequently, a loss of trust in Hexagon. Poorly applied inputs can also lead to environmental problems, which would result in fines for farmers. To solve this problem, Hexagon planned to create a new product, called Auto tuning by the company, a tool to automate the configuration of PID controllers in order to guarantee greater efficiency even in adverse conditions. The Auto tuning product concept was developed by the author during his internship at the company prior to this work. This work aims to manage the process of launching Auto tuning on the market. The development and launch of new products involves various teams, such as Product Management, Engineering and the company's board of directors. These teams work on the basis of user needs, which are transformed into concepts by the Product Management team. The launch of new products involves risks such as technical reliability, the impact on the activities of Hexagon technicians and farmers, and customer adoption. These risks were mapped and mitigated by the Product Manager. To this end, techniques such as tests and validations were carried out to certify the efficiency of the new product, as well as training to ensure that the technical team understands its use. These actions will be detailed in this document. The product was actually launched on the market on November 19, 2024. With it, Hexagon hopes to increase its leading position in the precision agriculture market, while also increasing its turnover and profits so that it can reinvest them in new projects.

Keywords: Precision Agriculture. Process control. Fertilisation control. Results analysis. Marketing.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Trator 7230J da John Deere | 24 |
| Figura 2 – Implemento de Distribuição à lanço de Arrasto MP Agro Taurus 12000 | 26 |
| Figura 3 – Distribuidor Autopropelido MP Agro Linha Z | 26 |
| Figura 4 – Esteira do Implemento | 27 |
| Figura 5 – Ponto de Queda do Implemento | 27 |
| Figura 6 – Vantagens de se trabalhar com Agricultura de Precisão | 28 |
| Figura 7 – Resposta de um sistema genérico de primeira ordem com atraso de transporte | 29 |
| Figura 8 – IHM genérica | 33 |
| Figura 9 – Exemplificação de Taxa Variável | 40 |
| Figura 10 – Display da Hexagon na tela de operação | 42 |
| Figura 11 – Display da Hexagon | 42 |
| Figura 12 – Tela inicial da funcionalidade | 47 |
| Figura 13 – Diagrama das etapas propostas | 52 |
| Figura 14 – Diagrama de etapas realizadas | 54 |
| Figura 15 – Display conectado a motores elétricos | 58 |
| Figura 16 – Trator com implemento de simulação | 61 |
| Figura 17 – Aplicação por faixa de desvio do caso inicial. | 65 |
| Figura 18 – Aplicação por faixa de desvio após o uso do Auto tuning. | 66 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Resultados de testes da primeira interação | 59 |
| Tabela 2 – Resultados de testes da segunda versão | 62 |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1 | BREVE DESCRIÇÃO DO PROBLEMA TRATADO | 18 |
| 1.2 | OBJETIVOS | 19 |
| 1.3 | BREVE DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS | 20 |
| 1.4 | ESTRUTURA DO DOCUMENTO | 22 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 23 |
| 2.1 | MÁQUINAS AGRÍCOLAS | 23 |
| 2.1.1 | Tratores Agrícolas | 23 |
| 2.1.2 | Implementos agrícolas | 24 |
| 2.2 | AGRICULTURA DE PRECISÃO | 25 |
| 2.3 | PRINCIPAIS ASPECTOS DE CONTROLE ENVOLVIDOS EM MÁQUINAS DE FERTILIZAÇÃO À LANÇO | 28 |
| 2.4 | INTERFACE HOMEM-MÁQUINA (IHM) | 32 |
| 2.5 | <i>OBJECTIVES AND KEY RESULTS (OKR'S)</i> | 32 |
| 2.6 | GERENCIAMENTO DE LANÇAMENTO DE PRODUTOS | 34 |
| 2.7 | <i>MARKETING COMMUNICATION</i> | 37 |
| 3 | DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E SOLUÇÃO PROPOSTA | 38 |
| 3.1 | SOBRE A EMPRESA | 38 |
| 3.2 | CONTEXTO E MOTIVAÇÃO | 40 |
| 3.2.1 | Taxa variável | 40 |
| 3.2.2 | Principais problemas decorrentes da sintonia inadequada do controlador PID do produto Controle de Fertilização | 43 |
| 3.2.3 | Conceito de Produto Desenvolvido Anteriormente | 45 |
| 3.3 | O PROBLEMA TRATADO | 49 |
| 3.4 | SOLUÇÃO PROPOSTA | 52 |
| 4 | DESCRIÇÃO DO GERENCIAMENTO DO LANÇAMENTO DO NOVO PRODUTO | 54 |
| 4.1 | VISÃO GERAL DAS PRINCIPAIS ETAPAS REALIZADAS | 54 |
| 4.2 | APOIO NO DESENVOLVIMENTO E ALTERAÇÕES NO CONCEITO DE PRODUTO | 55 |
| 4.3 | VALIDAÇÃO DE RESULTADOS DA PRIMEIRA VERSÃO | 57 |
| 4.4 | VALIDAÇÃO DE RESULTADOS DA SEGUNDA VERSÃO | 59 |
| 4.5 | TESTES EM CAMPO | 62 |
| 4.6 | TESTES DE VALOR | 63 |
| 4.7 | DECISÃO SOBRE PRECIFICAÇÃO | 67 |
| 4.8 | TREINAMENTOS E GERENCIAMENTO DE INFORMAÇÃO | 68 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4.9 | CAMPANHA DE DIVULGAÇÃO PARA O LANÇAMENTO NO MERCADO | 69 |
| 4.10 | LANÇAMENTO OFICIAL DO NOVO PRODUTO | 71 |
| 5 | ANÁLISE DE RESULTADOS OBTIDOS | 72 |
| 5.1 | CONSISTÊNCIA NO DESENVOLVIMENTO PELA EQUIPE DE ENGENHARIA | 72 |
| 5.2 | DIMINUIÇÃO NO TEMPO DE CONFIGURAÇÃO DOS CONTROLADORES | 72 |
| 5.3 | CONFIABILIDADE DOS GANHOS ENCONTRADOS PELO AUTO TUNING | 73 |
| 5.4 | AUMENTO NA EFICIÊNCIA NA APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES | 74 |
| 5.5 | IMPACTO DA FERRAMENTA NO DIA-A-DIA DA EQUIPE TÉCNICA DA HEXAGON | 74 |
| 5.6 | CONFEÇÃO DE DOCUMENTAÇÕES E TREINAMENTOS PARA A EQUIPE TÉCNICA DA HEXAGON | 74 |
| 5.7 | PLANO DE DIVULGAÇÃO DA FERRAMENTA NOVA | 75 |
| 5.8 | IMPACTOS FUTUROS ESPERADOS | 75 |
| 6 | CONCLUSÃO | 77 |
| | REFERÊNCIAS | 79 |

1 INTRODUÇÃO

A agroindústria desempenha um papel crucial na sociedade moderna, sendo responsável por atender a crescente demanda global por alimentos e matérias-primas essenciais. Com uma população mundial que atingiu 8 bilhões em 2022 e previsão de crescimento para 9,7 bilhões até 2050, é estimado que a produção agrícola precisará aumentar cerca de 60% até o meio do século para atender à demanda por alimentos e biocombustíveis. Sem esse aumento, o número de pessoas desnutridas no mundo poderá subir de 500 milhões para 700 milhões até 2050 (NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL, 2024) (INVESTIMENTOS, 2024).

Além disso, a eficiência na agroindústria é uma questão de sustentabilidade. Relatórios da ONU e do Banco Mundial destacam a necessidade de integrar inovação tecnológica para reduzir emissões de gases de efeito estufa, aumentar a produtividade agrícola e proteger ecossistemas. Métodos como o uso de tecnologias avançadas e sistemas de manejo sustentável são apontados como fundamentais para garantir que a produção agrícola possa sustentar a crescente população sem expandir significativamente as áreas agrícolas existentes (NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL, 2024) (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), 2024).

A otimização da eficiência na agroindústria emerge como um fator crucial na abordagem dos desafios do século XXI, sobretudo diante da crise ambiental que caracteriza a atualidade. O aumento das pressões sobre os recursos naturais, como terra, água e energia, coincide com uma preocupante diminuição da disponibilidade desses recursos. Somando-se a isso, o crescimento populacional acelerado e as mudanças climáticas exacerbam ainda mais as demandas sobre a produção agrícola.

Ao longo dos séculos, a agricultura tem sido uma atividade vital para a sobrevivência humana, fornecendo alimentos e matérias-primas essenciais. No entanto, o trabalho agrícola tradicional baseado em ferramentas manuais e tração animal era demorado e exigia uma quantidade significativa de mão de obra. Com o advento da Revolução Industrial, o surgimento de máquinas agrícolas modernas trouxe uma transformação revolucionária para o setor agrícola (123ECO, n.d.).

Os métodos usados na agricultura continuaram a evoluir com os subseqüentes avanços tecnológicos, atualmente utilizando métodos que abrangem o conceito de Agricultura de Precisão. A Agricultura de Precisão é uma abordagem moderna que integra tecnologias avançadas para gerenciar a variabilidade espacial e temporal dentro dos campos agrícolas, otimizando recursos e melhorando a produtividade. Baseia-se no uso de ferramentas como sensores, drones, sistemas de posicionamento global (GPS), e sistemas de informação geográfica (SIG) para coletar e analisar dados detalhados sobre condições do solo, clima, e necessidades específicas das plantas. Esse método permite decisões mais informadas e localizadas, como a aplicação de insumos

em taxas variáveis, reduzindo desperdícios e impactos ambientais.. Essas inovações permitiram aos agricultores mapear e analisar seus campos de forma detalhada, identificando variações nas características do solo, necessidades específicas de cultivo e áreas com potenciais problemas. Ao utilizar a técnica de taxa variável de insumos, que ajusta a aplicação de fertilizantes como nitrogênio e fósforo conforme as condições específicas do solo, mapeadas por estudos georreferenciados, os fazendeiros visam otimizar o preparo do solo e a fertilização, reduzindo o consumo de insumos. A agricultura de precisão não apenas busca otimizar a produtividade, mas também promover uma abordagem mais sustentável e personalizada na gestão agrícola. Desde então, a agricultura de precisão continua a evoluir, incorporando novas tecnologias e métodos, desempenhando um papel fundamental na modernização e eficiência do setor agrícola.

Neste cenário surge a empresa Hexagon, que em Florianópolis, SC, tem sua sede da divisão de soluções agrícolas, fornecendo soluções integradas que combinam dados geoespaciais, sensoriamento remoto, análise de dados e controle e automação de máquinas para auxiliar os agricultores a tomarem decisões mais informadas e precisas. Seu objetivo é maximizar a eficiência agrícola, reduzir os impactos ambientais e aumentar a produtividade, garantindo uma agricultura sustentável. A Hexagon tem forte presença no mercado brasileiro de agricultura de precisão, vendendo seus produtos para fabricantes de implementos como MP Agro, que produzem as máquinas a serem controladas pelos sistemas de controle da Hexagon (MP AGRO, n.d.). A Hexagon se posiciona como provedora de soluções de alta performance no mercado, tendo como principais concorrentes a Trimble, John Deere, Raven, entre outros.

Buscando maximizar a eficiência na distribuição de insumos agrícolas em plantações, a empresa desenvolveu o produto Controle de Fertilização, com base na técnica de taxa variável. A solução consiste basicamente no uso de controladores PID para o controle da esteira do implemento de distribuição de fertilizantes para rejeitar perturbações, como variações de velocidade do trator, inclinação do terreno, desgaste da máquina, entre outros, e garantir que o sistema siga a referência de aplicação. Para atender à taxa de fertilização em uma dada área, determinada pelo estudo feito da concentração dos nutrientes no solo e introduzida ao controlador da Hexagon, o sistema calcula a referência da velocidade da esteira, levando em consideração a taxa escolhida e a velocidade do trator. Por exemplo, se a velocidade do trator aumentar, então a velocidade da esteira deve aumentar de modo correspondente para atingir a taxa de aplicação desejada daquela área.

O Controle de Fertilização da Hexagon é integrado aos tratores e máquinas agrícolas através dos computadores de bordo produzidos pela Hexagon. Este computador de bordo atua como a Interface Homem-Máquina (IHM) entre os produtos, como o Controle de Fertilização, e o operador das máquinas agrícolas. É através desta IHM que

o operador realiza a sintonização dos controladores PID do Controle de Fertilização e monitora a operação de distribuição de fertilizantes.

A sintonia dos controladores PID tem se mostrado um desafio recorrente para a Hexagon, impactando tanto a eficiência das máquinas quanto a percepção dos clientes sobre a confiabilidade dos produtos. Idealmente, os operadores de máquinas agrícolas não deveriam alterar os parâmetros de sintonia do controlador de maneira arbitrária. Contudo, na prática, muitos operadores, insatisfeitos com a produtividade, realizam ajustes baseados em tentativa e erro, sem qualquer base técnica, agravando o problema. Paralelamente, o desgaste natural de componentes mecânicos e hidráulicos dos implementos e tratores altera o modelo matemático do sistema, tornando os parâmetros previamente ajustados inadequados e levando a perdas significativas de desempenho.

Os técnicos de campo da Hexagon enfrentam dificuldades adicionais, já que muitos não possuem conhecimento aprofundado sobre controle de processos, o que limita sua capacidade de realizar ressintonias eficazes diante das reclamações de usuários. Esse cenário também acontece no momento inicial de instalação do produto de Controle de Fertilização, seja em máquinas desgastadas no campo, geralmente ajustadas por revendedores, ou em implementos recém-fabricados, configurados por fabricantes como a MP Agro. Ambas as situações apresentam desafios compartilhados da complexidade de ajustar corretamente os parâmetros PID para garantir o desempenho esperado.

Esses problemas não apenas afetam a produtividade agrícola, mas também elevam os custos operacionais com suporte técnico e podem causar danos ambientais significativos. A configuração inadequada dos controladores pode resultar em aplicação excessiva de fertilizantes, como nitrogênio, em áreas localizadas, contribuindo para a poluição de corpos d'água e podendo resultar na eutrofização dos mesmos. Além dos prejuízos ambientais, isso expõe a Hexagon e seus clientes a riscos legais, com multas que podem atingir valores milionários, conforme previsto na Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605/1998). Assim, a Hexagon visa implementar soluções que facilitem a configuração correta dos controladores PID.

O presente trabalho aborda o gerenciamento do lançamento de uma nova versão do produto Controle de Fertilização da Hexagon. Essa versão se diferencia pela introdução de uma ferramenta inovadora, projetada para resolver os desafios previamente identificados no controle de velocidade de atuadores de implementos agrícolas, como os produzidos pela MP Agro. A nova ferramenta integra técnicas de sintonia automática do controlador PID, utilizando métodos baseados na identificação do modelo matemático do sistema hidráulico do trator e implemento de fertilização. Essa abordagem busca otimizar o desempenho e a precisão no processo de fertilização.

Durante um estágio realizado em 2023 como parte da disciplina DAS5501 - Es-

tágio em Controle e Automação conforme descrito em Flesch Laforce (2023), o autor do presente documento, juntamente com a equipe de Gerenciamento de Produtos da Hexagon, deu início ao Projeto Camaleão na Hexagon. O Projeto Camaleão visou solucionar os problemas descritos anteriormente, e foi dividido em duas etapas principais. A primeira etapa do projeto envolvia a criação de um novo conceito de produto a ser implementado que solucionasse os problemas de dificuldade de configuração de sintonização de controladores PID. Um conceito de produto abrange a ideia inicial e a visão estratégica de um novo produto, incluindo suas funcionalidades, benefícios e diferenciais em relação aos concorrentes, basicamente traçando um plano para criar tal produto. O conceito é criado utilizando técnicas de *Product Discovery*, um conjunto de processos que busca entender as necessidades dos usuários e validar ideias para a criação de conceitos de produtos, utilizando pesquisas qualitativas e quantitativas, além de entrevistas diretas com usuários.

O Projeto Camaleão visou cumprir os seguintes requisitos, sintetizados a partir do estudo dos problemas relacionados à sintonização de controladores PID do produto já existente de Controle de Fertilização da Hexagon, relatados anteriormente:

- Resolução do Problema de Falta de Conhecimento de Controle de Processos de Técnicos da Hexagon e de clientes;
- Melhoria da Eficiência da Solução de Controle de Fertilização;
- Diminuição do tempo de instalação inicial do produto de Controle de Fertilização em máquinas de clientes;
- Manutenção da estética da IHM;
- Zelar pela segurança do operador.

Para cumprir tais requisitos, autor propôs um conceito de produto que consistia na criação de uma nova ferramenta, chamada Auto tuning, destinada à configuração automatizada dos controladores PID.

O comportamento de atuadores hidráulicos das máquinas agrícolas de fertilização pode ser modelado como um sistema dinâmico de primeira ordem com atraso de transporte, onde então a Hexagon utiliza de um controlador do tipo PID para controlar a saída destes atuadores, que é a velocidade da aplicação de insumos. O autor definiu, através de entrevistas com técnicos e membros da equipe de engenharia da Hexagon, que o novo produto deveria ter a capacidade de executar as seguintes tarefas:

- Identificação de zona morta do atuador;
- Identificação da saturação do atuador;
- Identificação do RPM mínimo e máximo do atuador;

- Sintonização de parâmetros PID (proporcional, integral e derivativo);
- Tratamento de filtro de referência do controlador;
- Análise de atraso de transporte do atuador;
- Levantar a curva de ganho estático do atuador;
- Determinação de tempo de resposta transitória para entrada de referência do tipo degrau;
- Mapeamento de não linearidades do sistema.

O autor, em colaboração com a equipe de design de produtos da Hexagon, também desenvolveu o protótipo da IHM a ser implementado no computador de bordo da Hexagon. Este desenvolvimento é fundamental para a aplicação das técnicas de *Product Discovery*. Utilizando o protótipo, foram realizadas entrevistas e simulações de uso com técnicos e engenheiros da Hexagon para garantir que o produto final fosse intuitivo, de fácil utilização e que atendesse às necessidades mapeadas. O objetivo foi proporcionar uma experiência de uso eficiente, assegurando que os futuros usuários do produto pudessem operar a ferramenta com facilidade e confiança. Maiores detalhes podem ser vistos em Flesch Laforce (2023). O protótipo entregue pelo autor e equipe de design atua também como requisito de desenvolvimento da equipe de engenharia, sendo que o produto novo deve ser implementado seguindo as especificações de interface e usabilidade definidas no protótipo.

A criação do novo conceito de produto foi concluída ao término do estágio realizado em 2023, culminando na aprovação do conceito pelos *stakeholders* da Hexagon. Nesse processo, foram estabelecidas as funcionalidades que o novo produto deveria desempenhar e, no contexto da IHM, foi definido o design e a experiência visual desejada. Todos os requisitos detalhados foram então repassados à equipe de engenharia da Hexagon, cuja responsabilidade incluiu o desenvolvimento dos métodos matemáticos necessários e sua implementação no computador de bordo, além da construção da IHM conforme o protótipo previamente definido.

Embora o conceito do Auto tuning esteja bem definido, ele ainda é apenas uma ideia inicial. Há um longo percurso pela frente, que envolve desenvolvimento técnico pela equipe de engenharia e uma série de validações para transformá-lo em um produto funcional. Mesmo após essa etapa, o caminho para sua introdução no mercado exige um planejamento minucioso e validações contínuas para garantir que o produto alcance os objetivos propostos.

Nesse contexto, a equipe de Gerenciamento de Produtos desempenha um papel essencial no gerenciamento do lançamento, trabalhando para mitigar os riscos associados à introdução de novos produtos em um mercado altamente competitivo

como o de agricultura de precisão. Caso o produto falhe em atingir suas metas, as consequências podem ser severas: a primeira, garantida, é que o tempo e recurso humano empregado para a criação da funcionalidade teria sido em vão, o que abalaria a confiabilidade da atuação da equipe de Gerenciamento de Produtos frente à diretoria da empresa. No mais, a imagem da empresa pode ser prejudicada, especialmente se uma funcionalidade introduzida ao mercado não entregar o que promete. Tal deterioração da reputação da Hexagon poderia resultar na perda de clientes e faturamento, comprometendo a saúde financeira da empresa.

Portanto, o sucesso do lançamento depende não apenas de garantir que o produto seja tecnicamente confiável, mas também de conquistar a confiança e a adesão dos clientes. Isso requer uma abordagem estratégica que assegure que o produto entregue valor real, atendendo tanto às expectativas do mercado quanto às da própria empresa, reforçando sua posição de liderança no setor.

O presente trabalho aborda a etapa de gerenciamento do lançamento do Auto tuning. A seguir, essa etapa será detalhada, destacando como foi planejada e executada no contexto do Projeto Camaleão.

1.1 BREVE DESCRIÇÃO DO PROBLEMA TRATADO

O problema abordado neste documento é o gerenciamento do processo de lançamento do Auto tuning, uma funcionalidade para sintonização automática de controladores PID integrada ao produto de Controle de Fertilização da Hexagon. O objetivo é mitigar os riscos associados ao desenvolvimento e lançamento desse produto no mercado altamente competitivo de Agricultura de Precisão.

A área de Gerenciamento de Produtos da Hexagon foi criada em 2020 para lidar com a criação de conceitos de novos produtos e seu gerenciamento de lançamento. Os gerentes de produto atuam na vanguarda da empresa, entendendo as necessidades dos clientes e as tendências do mercado para criar os conceitos de produtos que mantenham a Hexagon como líder no setor. Para isso, é preciso que conquistem a confiança da equipe de engenharia e da diretoria. A equipe de engenharia precisa acreditar que o produto proposto é relevante e baseado nas reais demandas dos clientes, enquanto a diretoria deve confiar no potencial retorno financeiro do projeto para justificar o investimento de recursos humanos e financeiros.

No estágio realizado em 2023, mencionado anteriormente, o autor elaborou o conceito do Auto tuning com base nas dificuldades relatadas por usuários dos produtos Hexagon, como os membros das equipes de suporte técnico da Hexagon e de empresas parceiras, como a MP Agro. A principal dor identificada foi a dificuldade de configurar manualmente os controladores PID do produto de Controle de Fertilização, o que impactava negativamente a eficiência e a confiabilidade das operações agrícolas. Agora, o desafio é garantir que o conceito seja desenvolvido corretamente, atenda às

expectativas dos clientes e da diretoria, e seja lançado no mercado com sucesso.

Durante o desenvolvimento do produto, podem surgir desvios entre o conceito original e o que está sendo implementado pela equipe de engenharia, o que exige retrabalhos e ajustes. A equipe de Gerenciamento de Produtos precisa monitorar continuamente o progresso da engenharia, assegurando que o produto final atenda ao planejado e às necessidades dos clientes. Impedimentos técnicos também podem exigir revisões no planejamento e nos requisitos do produto. Nesse caso, o gerente deve atuar para que as mudanças mantenham a relevância do produto para o mercado e a confiança da diretoria.

Além disso, a confiabilidade técnica do Auto tuning é uma preocupação central. Parâmetros PID mal configurados podem instabilizar o controlador, colocando em risco as máquinas agrícolas. Outro desafio é assegurar que os ganhos proporcionados pelo Auto tuning realmente melhorem a eficiência da aplicação de insumos, trazendo benefícios concretos para os clientes e fortalecendo a confiança nos produtos da Hexagon.

O processo de configuração com o novo produto também deve ser analisado, avaliando como o Auto tuning pode reduzir o tempo e os custos para técnicos da Hexagon. É importante medir o impacto financeiro dessas melhorias, tanto para os clientes quanto para a empresa. O sucesso do lançamento depende da preparação das equipes de suporte técnico, que precisam ser bem treinadas para utilizar a nova funcionalidade e auxiliar os clientes.

A comunicação com o mercado também é essencial. Se os clientes e possíveis clientes não forem devidamente informados sobre a nova funcionalidade, a Hexagon pode perder oportunidades de capitalizar o posicionamento de mercado e aumentar as vendas de seu produto de Controle de Fertilização.

Por fim, dentre os processos internos da empresa, foi definido que o limite para o lançamento do Auto tuning seria janeiro de 2025. Este limite visa garantir sua ampla acessibilidade, alinhando-o ao lançamento da primeira versão anual de *software* dos *displays* da Hexagon.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é o gerenciamento do lançamento do novo produto Auto tuning da Hexagon, de modo que o mesmo seja introduzido com sucesso no mercado. Os objetivos específicos são:

- Garantir que o produto seja desenvolvido seguindo as especificações do conceito de produto elaborado anteriormente (conforme descrito em detalhes em Flesch Laforce (2023)), e adequar o mesmo para novas demandas ou impedimentos;

- Garantir que a ferramenta de sintonia automática do controlador PID a ser desenvolvida pela equipe de engenharia gere ganhos adequados para se atingir a produtividade desejada pelos usuários;
- Verificar qual o impacto da ferramenta no tempo de configuração dos controladores pelos membros das equipes de suporte técnico da Hexagon e seus clientes, como MP Agro;
- Avaliar se o novo produto de fato resulta na melhoria de aplicação de fertilizantes;
- Criar métricas para acompanhar o impacto do novo produto na atuação rotineira da equipe técnica da Hexagon;
- Criar as documentações necessárias e fornecer os devidos treinamentos para que a equipe técnica da Hexagon seja capaz tanto de utilizar a ferramenta de maneira correta quanto de conseguir compartilhar tais conhecimentos com futuros técnicos da empresa;
- Elaborar, juntamente com a equipe de comunicações, estratégias de divulgação do novo produto na mídia e em redes sociais para os atuais clientes da empresa e para clientes em potencial;
- Lançar oficialmente o novo produto até janeiro de 2025.

Foi entendido por todas as partes envolvidas na futura criação deste produto que o cumprimento destes objetivos traria um elevado grau de confiança para que o lançamento do novo produto atinja os resultados esperados, que são os mesmos definidos anteriormente como o resultado principal do Projeto Camaleão:

- Resolução do Problema de Falta de Conhecimento de Controle de Processos de Técnicos da Hexagon e de clientes
- Melhoria da Eficiência da Solução de Controle de Fertilização
- Diminuição do tempo de instalação inicial do produto de Controle de Fertilização em máquinas de clientes;
- Manutenção da estética da IHM;
- Zelar pela segurança do operador

1.3 BREVE DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

A equipe de engenharia iniciou o desenvolvimento do Auto tuning estudando técnicas e métodos matemáticos para sua implementação. A sintonia do controlador

PID foi baseada em métodos para a identificação dos parâmetros do sistema dinâmico equivalente e para o cálculo dos ganhos PID. Os métodos não serão revelados por questão de sigilo da empresa.

Durante os estudos, foram detectadas incompatibilidades entre o computador de bordo da Hexagon e as funcionalidades previstas no conceito desenvolvido no estágio de 2023. Alterações foram necessárias, incluindo a exclusão do tratamento de filtros de referência, o levantamento da curva de ganho estático e o mapeamento de não linearidades. Além disso, algumas funcionalidades básicas, como a exibição gráfica da curva de ganho estático e da resposta em malha fechada, foram removidas.

O desenvolvimento da funcionalidade enfrentou desafios técnicos, como falhas no algoritmo que levavam o computador de bordo da Hexagon a travar após cinco operações consecutivas de Auto tuning. Esse e outros diversos problemas foram levantados pela equipe de testes e pelo autor e comunicados à equipe de engenharia, que realizou os ajustes necessários. Foram realizadas baterias de testes, que consistiam em dezenas de execuções do Auto tuning. O objetivo era que os ganhos gerados fossem viáveis em pelo menos 95% das tentativas. Após ajustes, esse resultado foi alcançado em motores elétricos e em testes no trator com um implemento que simulava um implemento de fertilização.

Com a funcionalidade consistente nas imediações da empresa, o Auto tuning foi levado a campo para testes em diferentes máquinas agrícolas. O desafio estava na diversidade das máquinas, que variam de baixa rotação (0 a 9 RPM) a alta rotação (50 a 500 RPM). Após testes extensivos, verificou-se que o Auto tuning era capaz de abranger essas categorias, sendo considerado satisfatório.

Em uma etapa subsequente, foram realizados testes para avaliar se os ganhos calculados resultavam em melhorias na eficiência da solução de Controle de Fertilização. Em um teste realizado em São Paulo, comparou-se o histograma de erros no seguimento de referência do controlador PID antes e depois do Auto tuning. Inicialmente, apenas 50% dos pontos estavam na dose desejada; após a configuração pelo Auto tuning, o valor subiu para 70%. Essa melhoria, consistente ao longo de um mês de operação, representou um aumento de 40% na eficiência de aplicação de fertilizantes. Estimou-se que esta melhoria em eficiência poderia trazer ganhos de até R\$100.000,00 para os fazendeiros por safra. Embora os resultados possam variar em outros cenários, a consistência observada validou a eficácia do Auto tuning.

Nos testes em campo, também foi validado que o novo produto foi capaz de encurtar o tempo de configuração das máquinas. Foi estimado que a duração média da configuração manual dos controladores PID no produto de Controle de Fertilização da Hexagon era de cerca de duas horas. Em todos os testes feitos, o Auto tuning foi capaz de configurar os controladores em um tempo menor do que dez minutos, configurando uma melhora de aproximadamente 90% na eficiência no tempo de configuração. Foi

validado também que a interface era de utilização simples o bastante para que os próprios operadores e fazendeiros pudessem utilizar o Auto tuning.

Seguindo os processos internos da Hexagon, foi criada uma documentação técnica explicando os objetivos, funcionamento e restrições do Auto tuning. Em complemento, um treinamento foi ministrado a 22 técnicos, abordando o uso e as limitações da funcionalidade. O treinamento foi avaliado com uma nota média de 9,3/10, indicando a boa preparação das equipes para operar e instruir sobre o Auto tuning.

Por fim, o autor colaborou com a equipe de *Marketing Communications* para consolidar informações necessárias à campanha de divulgação, planejada para dezembro de 2024. O objetivo da campanha é disseminar o lançamento e informações relevantes do Auto tuning para todos os agentes do mercado, sejam eles clientes, potenciais clientes ou concorrentes.

Com os resultados obtidos, o autor, junto da equipe de Gerenciamento de Produtos e a equipe de engenharia, concluiu que os objetivos definidos para o problema abordado neste documento foram alcançados, e que dessa forma, o Projeto Camaleão seria capaz de cumprir com seus objetivos iniciais. Os responsáveis pelo desenvolvimento decidiram, então, pelo lançamento oficial do novo produto Auto tuning, que foi disponibilizado para todos os clientes da Hexagon em novembro de 2024.

Espera-se que o lançamento cause um impacto positivo significativo na percepção do mercado sobre o produto de Controle de Fertilização da Hexagon, reforçando a imagem da empresa como líder em inovação e adaptação. Além disso, projeta-se que essa funcionalidade contribua para o aumento das vendas do Controle de Fertilização e de outros produtos do portfólio da Hexagon, melhorando tanto o faturamento quanto a saúde financeira da empresa.

1.4 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

No Capítulo 2 serão apresentados conceitos importantes para o entendimento do contexto do trabalho. No Capítulo 3 será feita uma breve descrição da Hexagon, do contexto envolvido neste trabalho, do conceito de produto desenvolvido anteriormente, o problema tratado e a solução proposta. No Capítulo 4 serão detalhadas as etapas realizadas para o lançamento do produto. No Capítulo 5 serão detalhados os resultados obtidos e, por fim, no Capítulo 6 serão tecidos os comentários finais sobre o projeto e perspectivas futuras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente capítulo apresenta os conceitos fundamentais para a compreensão do trabalho. A Seção 2.1 discute as principais máquinas agrícolas analisadas, enquanto a Seção 2.2 aborda a ideia de Agricultura de Precisão. Em seguida, a Seção 2.3 introduz conceitos de controle de processos relacionados ao contexto do estudo. A Seção 2.4 traz uma breve fundamentação sobre Interfaces Homem-Máquina (IHM), e a Seção 2.5 explora a metodologia de OKRs e sua aplicação. A Seção 2.6 oferece uma contextualização sobre o papel do Gerente de Produto na sua atuação no lançamento de produtos. Por fim, a Seção 2.7 explicita a definição de *Marketing Communication* e sua importância para empresas.

As seções de 2.1 a 2.5 foram originalmente apresentadas em Flesch Laforce (2023), correspondente ao estágio realizado referente à disciplina DAS5501 que foi mencionado anteriormente, e são reproduzidas aqui para garantir a completude deste documento.

2.1 MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Máquinas agrícolas modernas são equipamentos especializados desenvolvidos para otimizar e facilitar diversas atividades no setor agrícola. Elas abrangem uma variedade de dispositivos, como tratores, colheitadeiras, semeadoras, pulverizadores e outros implementos. O propósito dessas máquinas é melhorar a eficiência nas operações agrícolas, substituindo ou aprimorando tarefas tradicionalmente realizadas manualmente. Elas servem para realizar atividades como arar o solo, plantar sementes, aplicar fertilizantes e defensivos agrícolas, colher culturas, entre outras. O surgimento das máquinas agrícolas modernas está associado a uma busca por maior produtividade e eficiência na produção de alimentos. A Revolução Industrial, a partir do século XIX, foi um marco importante, impulsionando a inovação tecnológica e a mecanização no campo para atender à crescente demanda por alimentos de uma população em expansão. Desde então, a contínua evolução dessas máquinas tem desempenhado um papel fundamental na modernização da agricultura, contribuindo para a sustentabilidade, economia de recursos e aumento da produção agrícola.

2.1.1 Tratores Agrícolas

Um trator agrícola é um veículo motorizado projetado especificamente para uso na agricultura, desempenhando um papel crucial nas atividades agrícolas. Os tratores podem ter rodas ou esteiras, com motores de variadas potências, e engates na parte traseira ou dianteira para conexão de implementos agrícolas, como arados, grades, colheitadeiras, semeadoras, entre outros.

Equipados com controles em uma cabine para o operador, os tratores permitem o controle da direção e velocidade do trator e acionamento dos implementos acoplados. A tração nas quatro rodas é comum para operar em terrenos variados, e muitos tratores possuem sistemas hidráulicos de três pontas para controlar a posição da altura de implementos que trabalham acima da superfície do solo ou a profundidade de trabalho nos implementos penetrantes, e sistemas de controle remoto utilizados para acionamento de cilindros e motores hidráulicos localizados no implemento acoplado ao trator. O sistema hidráulico é geralmente composto dos seguintes componentes: reservatório de óleo, filtro de sucção e de pressão, bomba de óleo hidráulica, comando hidráulico – alavancas, atuadores – cilindro ou motor hidráulico e tubulações. Esses veículos desempenham um papel essencial na moderna agricultura, tornando as operações mais eficientes, aumentando a produtividade e reduzindo a necessidade de trabalho manual. Eles são fundamentais na produção de alimentos em escala global. Na Figura 1 está representado um trator da marca John Deere.

Figura 1 – Trator 7230J da John Deere



Fonte: <https://www.deere.com.br/pt/tratores/s%C3%A9rie-7j-grande-200cv-230cv/7230j/>

2.1.2 Implementos agrícolas

Um implemento agrícola é um equipamento, máquina ou dispositivo utilizado na agricultura para auxiliar em diversas atividades relacionadas ao cultivo, preparo do solo, plantio, colheita, e outras práticas agrícolas.

Existem muitos tipos diferentes de implementos agrícolas, cada um projetado para uma tarefa específica. Alguns exemplos comuns incluem arados, grades, semeadoras, colheitadeiras, pulverizadores, cultivadores, enfardadeiras, e muito mais. Esses

implementos podem variar em tamanho, complexidade e funcionalidade, dependendo das necessidades da agricultura moderna.

Os implementos agrícolas desempenham um papel fundamental na agricultura, permitindo que os agricultores realizem tarefas de forma mais rápida e eficiente, economizando tempo e recursos. Eles desempenham um papel significativo no aumento da produtividade e na melhoria das práticas agrícolas, contribuindo para o abastecimento de alimentos em escala global.

O implemento principal a ser tratado neste trabalho é o implemento de distribuição de fertilizantes à lanço. É um equipamento projetado para distribuir fertilizantes de maneira uniforme sobre o solo de uma área cultivada. Essa distribuição controlada de nutrientes é fundamental para enriquecer o solo e proporcionar às plantas os elementos necessários para um crescimento saudável e uma boa produção. O implemento adubador é uma ferramenta essencial na agricultura moderna, pois permite a aplicação precisa de fertilizantes, o que contribui para o aumento da produtividade das culturas. Na Figura 2 está ilustrado um Implemento de distribuição de arrasto da marca MP Agro sendo acoplado em um trator, e na Figura 3 um distribuidor autopropelido também da MP Agro.

Ambos exemplos mostrados nas figuras acima tem capacidade de até 6m³ de fertilizantes como cálcio, fósforo, magnésio e nitrogênio entre outros. Este tipo de implemento geralmente consiste em um reservatório de fertilizantes montado sobre esteiras, representadas na Figura 4, que são acionadas pelo sistema hidráulico de um trator agrícola, controlando a sua velocidade. O fertilizante é carregado pela esteira e alimentado para uma área de distribuição, composta por discos giratórios, expostos na Figura 5, que lançam os nutrientes sobre a superfície do solo conforme as esteiras e o trator se movem, caracterizando seu nome.

2.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO

A Agricultura de Precisão é uma abordagem inovadora na agricultura que aproveita uma ampla gama de tecnologias e técnicas para aprimorar a gestão das operações agrícolas. Seu principal objetivo é otimizar a eficiência, a produtividade e a sustentabilidade das práticas agrícolas, personalizando as ações com base nas necessidades específicas de cada área de cultivo. Essa abordagem faz uso de tecnologias como GPS, sensores de solo e de plantas, drones, imagens de satélite, sistemas de informação geográfica, controladores eletrônicos para aplicação e software de análise de dados para coletar informações detalhadas sobre as condições do campo (COELHO, 2005).

A ideia de agricultura de precisão surgiu antes mesmo do período da Revolução Industrial como uma técnica de tratar a cultura em busca do seu melhor rendimento, levando em conta os aspectos de localização, fertilidade do solo, entre outros fatores

Figura 2 – Implemento de Distribuição à lanço de Arrasto MP Agro Taurus 12000



Fonte: <https://mpagro.com.br/produto-taurus12/>

Figura 3 – Distribuidor Autopropelido MP Agro Linha Z



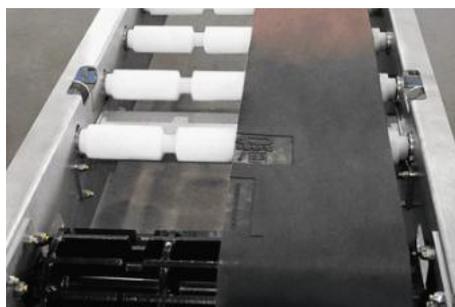
Fonte: <https://mpagro.com.br/produto-linhaz/>

(COELHO, 2005).

Os fundamentos para a agricultura de precisão moderna, como conhecemos hoje, vem do início do século XX, porém somente na década de 1980, na Europa e nos EUA, com o desenvolvimento de microcomputadores, sensores e softwares é que a agricultura de precisão tornou-se viável para os produtores (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

Os dados coletados são usados para criar mapas que destacam variações no solo, umidade, densidade de plantas e outras características. Esses mapas fornecem

Figura 4 – Esteira do Implemento



Fonte: <https://mpagro.com.br/produto-aurus12/>

Figura 5 – Ponto de Queda do Implemento



Fonte: <https://mpagro.com.br/produto-aurus12/>

uma compreensão mais profunda das heterogeneidades do campo. Com base nesses dados, os agricultores podem definir taxas de aplicação de insumos como fertilizantes e pesticidas, apenas nas áreas que necessitam, reduzindo o desperdício e economizando recursos. Esta estratégia é denominada Taxa Variável. Com as taxas definidas, são utilizados computadores de bordo equipados com controladores eletrônicos para transformar a informação da taxa desejada, em sinais de controle que atuam sobre o sistema hidráulico do trator, e conseqüentemente, na velocidade da esteira de máquinas de distribuição de fertilização à lanço. Além disso, a Agricultura de Precisão permite o monitoramento em tempo real das condições do campo, com sensores contínuos medindo variáveis como umidade, temperatura e crescimento das plantas (COELHO, 2005).

Com acesso a uma quantidade substancial de informações, os agricultores podem tomar decisões mais informadas. Eles podem ajustar suas práticas de cultivo, irrigação e aplicação de insumos com base em evidências concretas, o que resulta em economias de custos e maior eficiência. Além dos benefícios econômicos, a Agricultura de Precisão também tem um impacto significativo na sustentabilidade agrícola, reduzindo a poluição ambiental e o desperdício de recursos. Essa abordagem contri-

bui para a conservação do meio ambiente e a segurança alimentar em escala global, tornando a agricultura mais eficaz, sustentável e economicamente viável.

Figura 6 – Vantagens de se trabalhar com Agricultura de Precisão



Fonte: <https://blog.sensix.ag/confira-as-vantagens-da-agricultura-de-precisao/>

2.3 PRINCIPAIS ASPECTOS DE CONTROLE ENVOLVIDOS EM MÁQUINAS DE FERTILIZAÇÃO À LANÇO

Na teoria de controle e sistemas dinâmicos, uma função de transferência é uma representação matemática que modela a relação entre a entrada e a saída de um sistema dinâmico. Amplamente empregada em análise e design de sistemas de controle lineares, essa função é expressa tipicamente como $G(s)$, onde s denota uma variável complexa correspondente ao domínio de Laplace (FRANKLIN; POWELL; EMAMINAIEINI, 2015).

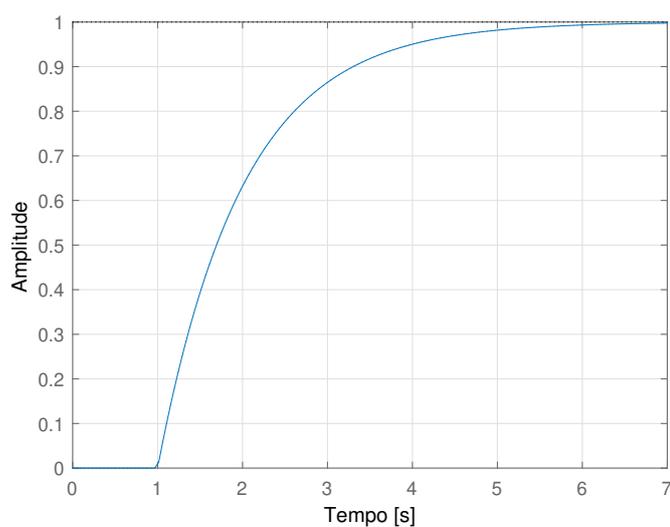
Nos sistemas agrícolas é muito comum encontrar atrasos entre a entrada e a saída do sistema. O atraso pode ser definido como o período de tempo entre o instante em que é introduzida uma mudança na variável de entrada do processo e o instante em que a saída do mesmo começa a mudar. O modelo usado para representar este tipo de planta é dado por $P(s) = G(s)e^{-Ds}$, onde D é o atraso (NORMEY-RICO; CAMACHO, 1998).

Aplicando essas teorias ao contexto agrícola, para mudanças em degrau na velocidade da esteira numa máquina de distribuição, a resposta do sistema pode ser aproximada por um sistema dinâmico de primeira ordem com atraso de transporte (SARAIVA; CUGNASCA; HIRAKAWA, 2000):

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{e^{-sD}}{\tau s + 1}, \quad (1)$$

Onde $C(s)$ é a função de transferência da saída real representada pela velocidade do sistema, $R(s)$ a saída prevista do sistema, e é o número de Euler, D é o atraso de transporte, s é o operador complexo de Laplace e τ é a constante de tempo do sistema. A resposta no tempo deste sistema é representado na Figura 7.

Figura 7 – Resposta de um sistema genérico de primeira ordem com atraso de transporte



Fonte: Autor

Ainda segundo Saraiva, Cugnasca e Hirakawa (2000), este atraso de transporte pode ser atribuído, segundo estudo realizados na Universidade da Flórida, em grande parte ao volume total de material existente entre a bomba e os bicos, e ao módulo de elasticidade do sistema fluido-tubulações. Ainda segundo o autor, a constante de tempo representa a incapacidade do sistema em responder imediatamente aos comandos de mudança. Aparenta ser determinada principalmente pelo módulo de elasticidade do sistema. Testes realizados por Schueller e Wang (1994) apontam uma constante de tempo está tipicamente de 0.5 a 1 segundo nestes sistemas.

A fim de aplicar a estratégia de Taxa Variável da Agricultura de precisão, são utilizados controladores eletrônicos tanto para o cálculo de referência para a velocidade da esteira do implemento, quanto a atuação sobre o sistema hidráulico do trator para seguir tal referência calculada. São usados controladores do tipo PID para o controle em malha fechada das válvulas.

O termo “Controle PID” designa comumente um tipo de controle que incorpora três componentes distintos. O acrônimo PID representa as iniciais dos três termos que constituem o controlador de três termos padrão, sendo “P” associado ao termo proporcional, “I” ao termo integral, e “D” ao termo derivativo no referido controlador

(ARAKI, 2009).

A ação proporcional é empregada quando a ação do controlador é proporcional ao magnitude do sinal de erro do processo, expresso como $e = r - y$, onde e é o erro, r é um sinal de referência dado pelo operador e y é a saída do sistema que se deseja controlar. As representações no domínio do tempo e no domínio da frequência para o controle proporcional são fornecidas da seguinte maneira:

$$\begin{aligned} u_P &= k_P e(t), \\ U_P &= k_P E(s), \end{aligned} \quad (2)$$

onde k_P é o ganho proporcional. O controle proporcional não assegura o erro nulo em regime permanente. Assim, o controle integral, denotado pelo termo "I" no controlador PID, é utilizado quando se busca assegurar que o erro em regime permanente seja levado a zero. As representações no domínio do tempo e no domínio da frequência para o controle integral são definidas como segue:

$$\begin{aligned} u_I &= k_I \int^t e(\tau) d\tau, \\ U_I &= \frac{k_I}{s} E(s), \end{aligned} \quad (3)$$

Caso um controlador seja capaz de empregar a taxa de variação de um sinal de erro como entrada, isso incorpora um componente preditivo à ação de controle. O controle derivativo, ao utilizar a taxa de variação do sinal de erro, configura-se como o termo "D" no controlador PID. Nesse contexto, o controle derivativo ajuda a prever as tendências futuras do erro, permitindo uma resposta mais rápida a mudanças no sistema controlado. As representações no domínio do tempo e da frequência para o controle derivativo são fornecidas como:

$$\begin{aligned} u_D &= k_D \frac{de}{dt}, \\ U_D &= k_D s E(s), \end{aligned} \quad (4)$$

A linhagem de controladores PID é composta por diversas combinações dos componentes proporcionais e integrais, bem como termos derivativos, conforme necessário, para atender a requisitos específicos de desempenho (JOHNSON; MORADI, 2005). A formulação do controlador PID básico em configuração paralela é expressa da seguinte maneira:

$$\begin{aligned} u_C &= u_P + u_I + u_D, \\ U_C &= U_P + U_I + U_D, \end{aligned} \quad (5)$$

Devido ao fato de que as máquinas trabalham em terreno acidentado, perturbações tendem a ocorrer com a todo instante de tempo, fazendo com que a velocidade do trator seja persistentemente alterada. Com a lógica de Taxa Variável, a referência

da velocidade da esteira tende a mudar na mesma proporção em que ocorrem tais perturbações. Isto pode ser nocivo às máquinas agrícolas em questão devido ao fato que essas flutuações frequentes na velocidade podem contribuir para um desgaste prematuro dos componentes mecânicos, aumentando o risco de falhas e a necessidade de manutenção mais frequente. Como não é possível garantir que o terreno esteja em condições perfeitas, e impedir a ação de cálculo de novas referências seria contra-intuitivo, podemos então mitigar este problema utilizando filtros de referência de primeira ordem na seguinte maneira:

$$F(s) = \frac{1}{\tau s + 1}, \quad (6)$$

A dinâmica do filtro, definida pela constante de tempo τ , deve ser lenta o bastante para mitigar as bruscas mudanças de referência oriundas das perturbações, porém que seja rápido o bastante para não causar um impacto relevante na resposta do sistema nas mudanças efetivas de referência.

Podemos apontar também que como todo sistema real, a válvula do sistema hidráulico do trator possui uma abertura limitada, sendo os limites a válvula estando completamente fechada e completamente aberta. Isto traduz à esteira uma limitação de velocidade. Tais limitações podemos denominar saturações, e tem um papel fundamental no controle de processos, ainda mais quando não mapeadas corretamente.

O atraso de transporte, abordado anteriormente, acarreta consequências adversas no sistema de controle, exercendo um impacto substancial na resposta do controlador, cuja extensão varia conforme a magnitude do atraso. Essa demora na transmissão de informações pode resultar em desafios consideráveis, como oscilações indesejadas, dificuldades na manutenção da estabilidade e até mesmo falhas no desempenho do controle.

Além das saturações e do atraso de transporte, é crucial abordar a zona morta no sistema hidráulico do trator. Esta zona refere-se a uma região na qual uma mudança no sinal de entrada não resulta em uma resposta correspondente no sistema de controle. No contexto hidráulico, a zona morta pode se manifestar como uma abertura limitada da válvula, resultando em limitações na velocidade da esteira do trator. A correta identificação e gestão da zona morta são essenciais para assegurar um controle eficaz do processo, especialmente quando não mapeadas corretamente, podendo impactar significativamente o desempenho do sistema.

Os três desafios mencionados anteriormente, tanto em relação às saturações quanto ao atraso, podem ser abordados por meio de métodos já validados. Para a zona morta, uma solução usual simples para mitigar seu efeito envolve aplicar um *offset* correspondente na entrada. No caso da saturação, é possível aplicar métodos de controle que levam em consideração as saturações do sistema. Quanto ao atraso de transporte, embora existam métodos formais mais complexos, como o Preditor de

Smith, uma solução mais direta seria antecipar a mudança na referência antes de o trator atingir a nova área delimitada no mapa de taxa variável através das tecnologias de posicionamento preciso e da informação da velocidade do trator. Isso não resolveria totalmente o problema de variação de velocidade, mas se o atraso for suficientemente pequeno, seu impacto pode ser desconsiderado.

Independentemente da técnica escolhida para lidar com esses desafios, é de suma importância que os três fatores, faixa da zona morta, o limite de saturação e o atraso de transporte estejam adequadamente estimados para o projeto de controlador.

Descrever como podemos identificar zona morta, RPM min. e máx. e saturação da válvula.

2.4 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA (IHM)

A interface homem-máquina corresponde a um visor multitarefas de elevada versatilidade. É composto por uma tela, geralmente de cristal líquido sensível ao toque (touch screen), e um hardware industrial, capaz de se comunicar digitalmente com o sistema embarcado. Segundo (MORAES; LADRO CASTRUCCI, 2007), a interface IHM representa o corpo de todo sistema supervisor, possibilitando monitorar e operar toda uma planta em uma única tela, controlando processos e recebendo feedbacks e históricos.

Dentre as diversas funcionalidades desta interface, destacam-se (MORAES; LADRO CASTRUCCI, 2007):

- Visualização de alarmes gerados por alguma condição anormal do sistema;
- Visualização de dados de processo da máquina;
- Alteração de parâmetros do processo;
- Operação em modo manual de componentes da máquina;
- Alteração de configurações de equipamentos.

Um exemplo de IHM é ilustrado na Figura 8.

2.5 OBJECTIVES AND KEY RESULTS (OKR'S)

Os *Objectives and Key Results* (Objetivos e Resultados Chaves) são um sistema de gestão de desempenho centrado na definição e realização de objetivos específicos. Os “Objetivos” representam metas amplas e aspiracionais que uma empresa, equipe ou indivíduo pretende alcançar em um período determinado. Esses objetivos são geralmente ambiciosos, desafiadores e alinhados à visão estratégica.

Figura 8 – IHM genérica



Fonte: <https://www.dakol.com.br/ihtm/>

Os “Resultados-Chave”, por outro lado, são indicadores específicos e mensuráveis que quantificam o progresso em direção a um determinado objetivo. Eles fornecem clareza sobre o que precisa ser alcançado para atingir o objetivo e são ajustados regularmente para refletir as mudanças nas prioridades e estratégias.

Assim como em outras abordagens de gestão, os OKR são uma ferramenta crucial na administração e acompanhamento do progresso em direção a metas e resultados desejados. A seleção dos resultados-chave é baseada na sua relevância para os objetivos estabelecidos e na capacidade de oferecer informações valiosas para a tomada de decisões informadas. A implementação dos OKR permite uma abordagem mais ágil, concentrada na obtenção de resultados mensuráveis, impulsionando a eficácia e o sucesso a longo prazo.

Para a criação de OKRs neste trabalho foi utilizada a metodologia SMART (STEFFENS, 2023), que representa a abreviação de:

- **Específico (Specific):** Os OKRs devem ser formulados de maneira específica, ou seja, precisam claramente definir o que será medido e qual é o resultado desejado.
- **Mensurável (Measurable):** Os OKRs devem ser mensuráveis, o que significa que é possível quantificar e avaliar seu desempenho de forma objetiva.
- **Alcançável (Achievable):** Os OKRs devem ser alcançáveis, garantindo que as metas estabelecidas sejam realistas e possíveis de serem atingidas dentro dos recursos e prazos disponíveis.
- **Realista (Realistic):** Os OKRs devem ser realistas e relevantes para os objetivos do projeto. Eles devem refletir os aspectos críticos que influenciam o sucesso do projeto.

- Temporal (Time-Bound): Cada OKR deve ter um componente temporal, ou seja, um prazo específico em que se espera que a meta seja alcançada.

Essa abordagem dos critérios SMART assegura que os KPIs sejam formulados de maneira eficaz, estabelecendo marcos e métricas concretos para avaliar o progresso do projeto. Eles auxiliam na monitorização do cumprimento dos requisitos gerais, na identificação de eventuais desvios e na tomada de ações corretivas quando necessário.

2.6 GERENCIAMENTO DE LANÇAMENTO DE PRODUTOS

Um produto pode ser definido como qualquer objeto, sistema ou serviço oferecido ao mercado para atender às necessidades ou desejos dos consumidores (KOTLER *et al.*, 2007). Desde os primeiros agrupamentos humanos, as comunidades criaram e trocaram itens que atendiam às suas necessidades básicas, como ferramentas, alimentos e vestuário. Com o tempo, o desenvolvimento das sociedades sedentárias impulsionou a diversificação dos produtos, à medida que as necessidades humanas se tornaram mais complexas e a troca de bens se expandiu.

A definição de produto evoluiu ao longo da história, sempre adaptando-se às mudanças nas demandas sociais e econômicas. Apesar da diversidade e sofisticação dos produtos na sociedade moderna, o objetivo fundamental de satisfazer as necessidades dos consumidores permanece o mesmo. Recentemente, o ambiente de mercado se tornou mais dinâmico e incerto, devido à rápida evolução tecnológica e às mudanças nas expectativas dos usuários. As empresas enfrentam dificuldades em prever quais produtos ou funcionalidades terão sucesso. Muitos novos produtos não conseguem gerar o retorno financeiro esperado, em parte pela falta de atividades suficientes de descoberta de produtos, que são essenciais para mitigar os riscos antes da implementação (MÜNCH; TRIEFLINGER; HEISLER, 2020).

O papel do gerente de produto é crucial no ciclo de vida do produto, que abrange desde sua concepção até a retirada do mercado. Durante esse ciclo, o produto passa por fases de desenvolvimento, lançamento, crescimento, maturidade e declínio. O gerente de produto é responsável por definir a visão e a estratégia do produto, além de compreender as necessidades do mercado e analisar a concorrência. Ele coordena diversas equipes, como as de desenvolvimento, design, *Marketing Communications* e vendas, e cria o *Roadmap* do produto, priorizando funcionalidades, melhorias e lançamentos. Além disso, ele gerencia recursos, resolve desafios operacionais e garante que o produto atenda aos padrões de qualidade estabelecidos.

O gerente e dono de produto (quando a mesma pessoa exerce ambas as funções) desempenha um papel fundamental ao auxiliar a equipe de engenharia no desenvolvimento do produto. Ele atua como o principal ponto de contato entre as neces-

sidades do mercado e a equipe técnica, garantindo que o produto em desenvolvimento esteja alinhado com os objetivos estratégicos da empresa e com as expectativas dos usuários. Sua função não é apenas a de transmitir requisitos técnicos, mas de traduzir as necessidades dos consumidores em soluções práticas que a equipe de engenharia possa implementar. Ao entender profundamente as capacidades técnicas da equipe e as limitações tecnológicas, o gerente de produto orienta o desenvolvimento, ajudando a priorizar as funcionalidades mais valiosas e a eliminar desperdícios de recursos em características que não agregam valor.

Durante o processo de desenvolvimento, o gerente de produto colabora com a engenharia para definir e ajustar cronogramas, resolver desafios técnicos e validar se as funcionalidades desenvolvidas atendem aos critérios estabelecidos. Ele realiza revisões regulares com a equipe, ajustando prioridades conforme surgem novos insights, seja a partir de testes, mudanças no mercado, incompatibilidades na arquitetura dos produtos ou dificuldades de adoção de novas funcionalidades por usuários. Essa comunicação contínua é crucial para que o produto seja desenvolvido de maneira eficiente, dentro dos prazos e com a qualidade esperada.

No entanto, caso o desenvolvimento não ocorra conforme o planejado, os riscos podem ser significativos. Atrasos no cronograma podem gerar custos adicionais e comprometer a alocação de recursos humanos e financeiros, enquanto falhas no atendimento aos requisitos podem resultar em retrabalhos, perda de confiança da diretoria e impacto negativo na imagem da empresa perante o mercado. Além disso, produtos entregues fora dos padrões esperados podem comprometer a experiência do usuário, dificultar sua adoção e prejudicar o retorno sobre o investimento. Portanto, é imprescindível que o gerente assegure o alinhamento entre as equipes, garanta que os recursos sejam utilizados de forma eficiente e mitigue os riscos durante o processo de desenvolvimento.

Após a fase de desenvolvimento, o gerente de produto assume uma função estratégica e determinante para o sucesso do produto no mercado. Essa etapa começa com o planejamento do lançamento, que abrange a definição de estratégias de comunicações, comunicação e distribuição. O gerente de produto tem o papel de alinhar equipes multidisciplinares, como *MarComm*, vendas e suporte ao cliente, garantindo que todas estejam preparadas para introduzir o produto no mercado. Essa preparação inclui a criação de materiais de treinamento e documentação que capacitem as equipes internas a comunicar os benefícios e funcionalidades do produto de maneira clara e eficaz.

Um bom alinhamento com a equipe de *MarComm* é essencial para que os membros dessa equipe divulguem o produto de forma correta, direcionando as informações adequadas ao público certo. O gerente de produto, como representante dos usuários dos produtos da empresa, desempenha o papel de mediador e guia no trabalho da

equipe de *MarComm*, complementando suas estratégias e garantindo que os objetivos de comunicação sejam alinhados com as necessidades do mercado e as funcionalidades do produto. Essa colaboração é indispensável para que a divulgação seja eficaz e contribua para o sucesso do lançamento.

Como detentor do conhecimento sobre os objetivos, funcionalidades e limitações dos produtos, o gerente de produto também deve manter uma comunicação constante com as equipes de vendas e suporte técnico. Essas equipes têm contato direto e frequente com clientes e potenciais clientes, desempenhando papéis complementares no lançamento de novos produtos. A equipe de vendas é responsável por promover os novos produtos, aumentando o faturamento e assegurando que as inovações cheguem efetivamente aos clientes. Já a equipe de suporte técnico apoia os usuários na instalação, manutenção e uso correto dos produtos, garantindo a continuidade e a satisfação dos clientes.

Ambas as equipes desempenham funções críticas no processo de lançamento. Sem a devida instrução do gerente de produto, existe o risco de que o desempenho de novos produtos seja prejudicado, seja pela incapacidade de alcançar o público-alvo por meio de vendas, seja por falhas na assistência e manutenção aos usuários. Assim, o gerente de produto precisa atuar de forma integrada e estratégica, garantindo que todas as equipes estejam preparadas e alinhadas para apoiar o sucesso do lançamento no mercado.

O sucesso do lançamento está diretamente relacionado à eficiência dessa coordenação. Entretanto, ao lançar um novo produto, a empresa e o gerente de produto enfrentam riscos consideráveis. A execução inadequada de qualquer uma das etapas pode ter consequências graves. Ao introduzir um produto, a empresa associa sua reputação e credibilidade a ele. Caso o desempenho do produto seja insatisfatório, isso pode prejudicar substancialmente a percepção do mercado sobre a empresa, tanto como fornecedora de soluções quanto como uma força inovadora. Esse desgaste na imagem pode levar à perda de confiança dos clientes, com impacto direto nas vendas e na saúde financeira da organização.

Nesse contexto, o gerente de produto desempenha um papel crucial na criação de métodos e estratégias para mitigar esses riscos. Ele precisa prever e gerenciar possíveis dificuldades relacionadas ao lançamento, considerando a grande variedade de produtos e cenários em que a empresa atua. Essa diversidade exige que o gerente tenha um conhecimento abrangente sobre o mercado, os produtos existentes, os concorrentes e o novo produto em questão. Essa complexidade dificulta a padronização de métodos, já que os principais riscos podem variar amplamente de caso para caso, exigindo uma abordagem personalizada para cada lançamento.

Portanto, além de garantir a excelência no desempenho do produto, o gerente precisa atuar de forma proativa, antecipando cenários adversos e adotando soluções

adaptáveis que protejam a reputação e a competitividade da empresa no mercado.

O trabalho do gerente de produto não termina com o lançamento. Após o produto estar no mercado, ele deve acompanhar continuamente seu desempenho, utilizando métricas de sucesso previamente estabelecidas, como receita, engajamento de usuários, *feedbacks* e taxas de adoção. O gerente precisa estar atento às demandas dos usuários e às condições do mercado, ajustando a estratégia de produto conforme necessário. Isso pode envolver a implementação de atualizações, correções de bugs e melhorias com base nos dados coletados. A habilidade de adaptar-se rapidamente às mudanças é fundamental para manter o produto competitivo e relevante, e o gerente de produto, como dono, é o principal responsável por essas decisões estratégicas, garantindo que o produto não só sobreviva, mas prospere no mercado ao longo do tempo.

2.7 *MARKETING COMMUNICATION*

Dentro do conhecimento popular no Brasil, tem-se "*Marketing*" como a ideia que se trata apenas do departamento em empresas responsável pelas comunicações da mesma. Seria o departamento de "*Marketing*" responsável por toda a criação do conteúdo audiovisual para divulgação da empresa e seus produtos, a ser utilizado por meios físicos como outdoors, banners entre outros, e meios digitais através de engajamento em redes sociais e presença em sites de busca como Google. Porém, a área de *Marketing* é muito mais ampla que isso, é considerada a área de interface da empresa com o mercado num geral, desta maneira, a equipe de Gerenciamento de Produtos está inserida no contexto de *Marketing* pois é responsável por identificar as tendências de mercado e definir os rumos para a empresa.

As ações de divulgação mencionadas anteriormente nesta seção são enquadradas em um aspecto do *Marketing* conhecido como *Marketing Communication*, ou simplesmente *MarComm*, que pode ser definido como o processo de transmitir informações relevantes sobre produtos, serviços ou marcas para um público-alvo específico, utilizando uma combinação eficaz de ferramentas de comunicação, como publicidade, relações públicas, promoções de vendas e *marketing* direto. O objetivo é construir relacionamentos, influenciar percepções e promover ações desejadas por parte dos consumidores, contribuindo para o posicionamento competitivo da empresa no mercado (TOMŠE; SNOJ, 2014).

3 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E SOLUÇÃO PROPOSTA

Este capítulo tem como objetivo apresentar o problema abordado neste trabalho e a solução proposta. A Seção 3.1 introduz a Hexagon, contextualizando brevemente sua posição no mercado. A Seção 3.2 descreve a tecnologia já desenvolvida e comercializada pela empresa para a distribuição de fertilizantes. Em seguida, a Seção 3.3 detalha o processo de criação do conceito de produto que constitui o tema central deste trabalho. Na Seção 3.4, são expostos o problema tratado e as considerações relevantes que influenciam os procedimentos adotados. Por fim, a Seção 3.5 apresenta a solução proposta para o problema.

3.1 SOBRE A EMPRESA

A Hexagon é uma empresa multinacional que atua em diversos mercados, com destaque para a área de posicionamento, onde é líder global. Nesse segmento, a empresa desenvolve tecnologias avançadas para o controle de máquinas agrícolas voltadas para a Agricultura de Precisão. Suas soluções otimizam processos ao longo de todo o ciclo de produção agrícola e florestal, desde o preparo do solo até a colheita.

Fundada originalmente como Arvus Tecnologia em 2007 por três alunos de Engenharia de Controle e Automação, a empresa foi incorporada pela Hexagon em 2014, juntamente com a ILab Sistemas e a vertical de agricultura da Hexagon Geosystems, formando a divisão de Agricultura da Hexagon. Em 2023, essa divisão foi integrada à divisão de posicionamento, conhecida como Hexagon Autonomy & Positioning, o que trouxe uma maior sinergia entre as tecnologias de controle de máquinas agrícolas e as tecnologias de posicionamento global da Autonomy & Positioning.

A Hexagon consolidou sua posição no mercado de soluções para Agricultura de Precisão, oferecendo produtos que gerenciam e controlam processos em toda a cadeia de plantio, abrangendo culturas como soja, milho, cana-de-açúcar e silvicultura.

Um dos produtos mais populares da empresa é o sistema de orientação e piloto automático de tratores agrícolas, conhecido por sua precisão de cerca de 2 centímetros no seguimento da trajetória, garantindo alinhamento exato e reduzindo a sobreposição nas operações de plantio, aplicação de insumos e tratamentos culturais (HEXAGON, 2024).

A Hexagon dispõe de equipes de suporte distribuídas pelo Brasil e Europa, especializadas em culturas de grãos, florestais e de cana-de-açúcar. Estas equipes são responsáveis por resolver problemas técnicos dos produtos da empresa, tão quanto ser a interface da Hexagon com seus clientes, oferecendo materiais e treinamentos sobre seus produtos e soluções, mantendo-os à par de todos os novos lançamentos da empresa.

Entre os clientes da Hexagon estão parceiros estratégicos, como a MP Agro, uma fabricante de implementos agrícolas e parceira OEM (Original Product Manufac-

turer). Empresas como a MP Agro produzem as máquinas agrícolas utilizadas nos processos de produção agrícola. A Hexagon, especialista em controle de máquinas agrícolas, vende seus produtos de controle para empresas como a MP Agro, oferecendo também apoio na instalação e todo o ciclo de vida de seus produtos à MP Agro. A compradora tem os produtos da Hexagon instalada em suas máquinas, e oferece aos seus clientes não só a máquina mas também a solução integrada da Hexagon como um só produto.

Além dos clientes OEMs, a Hexagon vende suas soluções para lojas especializadas em revenda de produtos de agricultura de precisão. Os clientes das revendedoras são os produtores rurais e gerentes de fazendas, chamaremos estes de consumidores finais neste documento. As revendedoras são responsáveis por todo o processo de instalação e suporte técnico dos equipamentos vendidos por elas aos consumidores finais.

A Hexagon também desempenha um papel importante no mercado florestal brasileiro, estabelecendo parcerias com grandes empresas do setor para a prestação de serviços especializados. Empresas como Suzano e Klabin, que são líderes na venda de celulose, operam em todas as etapas do ciclo produtivo, desde o plantio das árvores até o processamento e a entrega do produto final. A Suzano, por exemplo, é a maior produtora de papel higiênico no Brasil.

Embora a Hexagon não comercialize diretamente seus produtos no mercado florestal, ela oferece soluções customizadas, utilizando seus equipamentos e expertise para atender às necessidades das empresas parceiras. Através dessas soluções, a Hexagon contribui para otimizar processos produtivos, entregando os resultados desejados por empresas como Suzano e Klabin, sem que seus próprios produtos sejam vendidos diretamente.

As revendedoras e empresas Florestais e OEM também contam com suas próprias equipes de suporte técnico para atender suas necessidades e de seus clientes, e tais equipes são treinadas pelas equipes de suporte da Hexagon, reforçando as relações entre as empresas.

Em um mercado altamente competitivo como o de tecnologias para Agricultura de Precisão, a necessidade de inovação constante é crucial para que a Hexagon mantenha sua relevância e liderança. O rápido avanço tecnológico e as demandas crescentes por soluções mais eficientes e sustentáveis exigem que a empresa não apenas aperfeiçoe seus produtos existentes, mas também lance novas tecnologias que atendam às necessidades emergentes do setor agrícola. A capacidade de antecipar tendências e desenvolver inovações que proporcionem vantagens competitivas aos seus clientes é fundamental para assegurar o crescimento contínuo da Hexagon e sua posição como líder global no mercado.

A seguir, serão descritos os produtos desenvolvidos pela Hexagon que estão

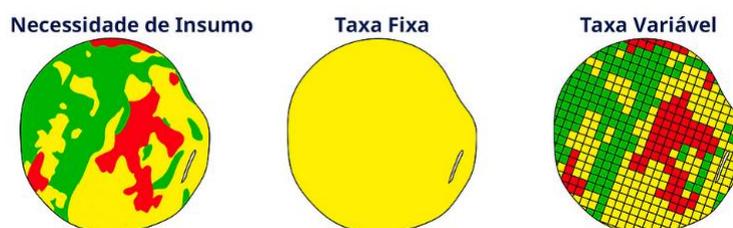
relacionados ao produto à ser lançado, que é objeto do presente trabalho.

3.2 CONTEXTO E MOTIVAÇÃO

3.2.1 Taxa variável

A técnica de taxa variável é um conceito utilizado na Agricultura de Precisão, que se refere a uma abordagem de aplicação de insumos agrícolas, como fertilizantes, sementes e pesticidas, de acordo com as necessidades específicas de diferentes áreas de um campo ou lavoura (SARAIVA; CUGNASCA; HIRAKAWA, 2000). Em vez de aplicar uma taxa uniforme desses insumos em toda a área, a solução de taxa variável adapta a quantidade aplicada com base em informações detalhadas sobre as condições do solo, histórico de produção, topografia, níveis de nutrientes e outros dados relevantes. Um exemplo disso pode ser visto na Figura 9, que mostra a diferença de um mapa de aplicação de Taxa Fixa e Taxa Variável.

Figura 9 – Exemplificação de Taxa Variável



Fonte: <https://blog.sensix.ag/taxa-variavel-conheca-a-importancia-para-a-agricultura-brasileira/>

Através da implementação do conceito de Taxa Variável, a Hexagon desenvolveu o produto chamado Controle de Fertilização. Essa solução opera com as informações de um mapa fornecido pelo usuário, neste caso alguma pessoa com cargo de responsabilidade dentro da fazenda, que delimita as áreas a serem fertilizadas, juntamente com as taxas específicas para cada região. O produto da Hexagon utiliza essas informações, além da leitura instantânea da velocidade do trator durante a aplicação, para calcular um valor de referência para a velocidade da esteira do implemento de distribuição de modo a controlar a concentração de fertilizante a ser aplicado. Essa referência é então alimentada no sistema de controle da válvula hidráulica do trator, utilizando uma lógica de controle PID que incorpora compensações para a zona morta, saturação, filtros de referência, entre outros.

A válvula hidráulica controlada, por sua vez, atua sobre a esteira do implemento de fertilização, determinando a velocidade com que o fertilizante é liberado da caçamba do implemento e, conseqüentemente, definindo a concentração aplicada no solo.

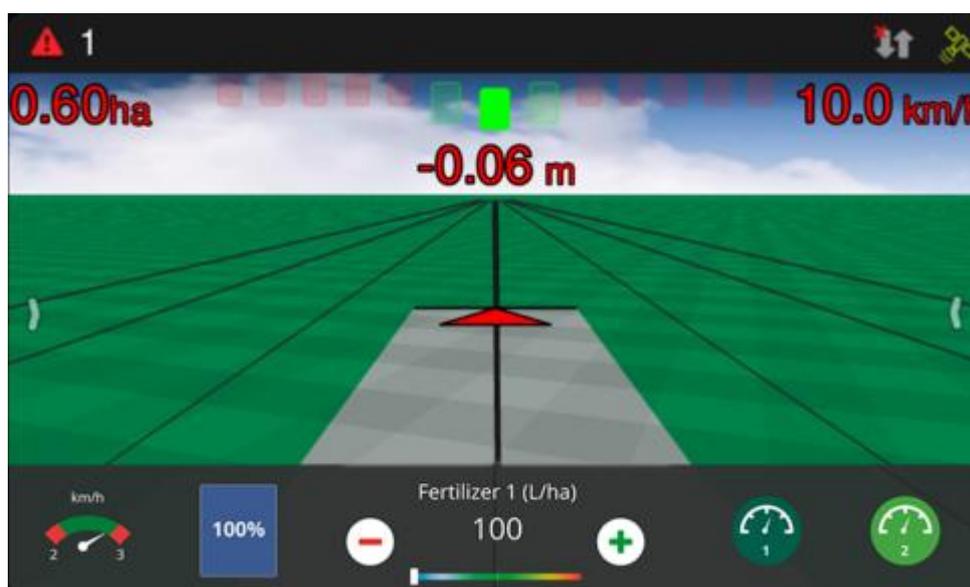
O Controle de Fertilização também atua para compensar mudanças de velocidade do trator, variações do terreno, entre outras perturbações possíveis. Por exemplo, o usuário deseja uma concentração de 160kg/ha de fertilizante em determinada área. Supondo que o trator se encontra em movimento em velocidade constante X , a velocidade da esteira necessária para manter a concentração desejada é Y . Caso o trator acelere, aumentando sua velocidade para X_1 , o sistema de solução da Hexagon então calcula uma nova referência para a velocidade da esteira do implemento Y_1 , diretamente proporcional à variação da velocidade do trator. Devido à natureza acidentada do terreno em que as máquinas operam, é possível estimar que mudanças de velocidade do trator ocorrem com certa frequência. Logo, as mudanças de referência mudam tão frequentemente, podendo levar a perdas de performance caso o sistema de controle esteja mal ajustado devido a possíveis tempos de resposta demasiadamente lentos ou oscilatórios. Paralelamente, quando o trator muda de área no mapa especificado, mudando também a taxa desejada para a nova área, uma nova referência é calculada e fornecida ao controlador, tirando o sistema de regime permanente para uma nova fase transitória, que como mencionado anteriormente, pode ser insatisfatória caso o controlador esteja mal ajustado.

Para realizar todo o processo do Controle de Fertilização, desde a definição do mapa pelo usuário, o cálculo da referência, o cálculo da resposta do controlador PID e a então atuação sobre o sistema hidráulico do trator, a Hexagon utiliza um computador de bordo, instalado geralmente no painel da cabine do trator, de modo que fique de fácil acesso ao operador da máquina. Através de portas de comunicação CAN, o computador manda os sinais de controle para o sistema hidráulico do trator.

O computador de bordo comercializado pela Hexagon, denominado de *display* pela empresa, desempenha a função de controlador central para os processos agrícolas executados no sistema trator-implemento. De agora em diante, referenciaremos esse dispositivo simplesmente como *display*. Ele integra os princípios da Agricultura de Precisão com as capacidades do sistema hidráulico do trator, aliando-se às especificidades do implemento utilizado para monitorar, controlar e fornecer uma interface supervisória ao usuário para uma variedade de processos de campo, como preparo de solo, plantio, fertilização, aplicação de defensivos agrícolas e colheita realizados no campo. Além disso, o *display* sincroniza o funcionamento de máquinas em situações específicas em que várias delas são utilizadas simultaneamente, como no processo de alocação de transbordo durante a colheita de cana-de-açúcar. Nesse cenário, um trator principal colhe a planta e transfere o produto para outro trator durante o processo de colheita, e o *display* entra fazendo o monitoramento do nível do trator de transbordo. O *display* também gerencia informações operacionais, como a taxa atual de aplicação de defensivos agrícolas, ou fornece dados sobre áreas já tratadas, os quais são enviados para o sistema de *Cloud* oferecido pela Hexagon. Dessa forma, as informações ficam

acessíveis para análises subsequentes. Na Figura 10 é exposta a tela de operação do *display*, nela, o trator é representado pela seta vermelha, as linhas pretas que tocam o horizonte são as guias para o piloto automático, a área pintada de cinza é a informação de onde já foi aplicado o fertilizante, o número no topo direito indica a velocidade do trator, o número no centro logo acima do horizonte indica o erro de seguimento de guia, e o na barra abaixo a taxa de fertilização escolhida para a determinada área, sendo possível ser alterada durante o processo.

Figura 10 – Display da Hexagon na tela de operação



Fonte: <https://hexagon.com/products/hxgn-agron-fertilisation-control>

Figura 11 – Display da Hexagon



Fonte: <https://globorural.globo.com/Noticias/Empresas-e-Negocios/noticia/2021/06/hexagon-lanca-display-de-alta-definicao-maior-e-mais-potente-para-maquinas-agricolas.html>

O *display* é oferecido em três modelos diferentes, Ti5, Ti7 e Ti10, a diferença entre eles é o tamanho da tela, poder de processamento e quantidade de portas de comunicação USB e CAN. O maior diferencial do produto da Hexagon, quando comparado com o de concorrentes no mercado como Trimble e John Deere, é a simplicidade e facilidade em quesitos de usabilidade e design, sendo a estrutura externa do produto, e a aparência de telas pontos importantes a serem considerados para o desenvolvimento de novos produtos para os times de Engenharia, Design e Gerenciamento de Produto.

O valor do produto se destaca em ser um ponto central na operação local da agroindústria. O *display* detém a propriedade de automatizar qualquer processo, seja ele o preparo de solo, o plantio, a aplicação de insumos, a colheita, entre outros, e fornecer ao usuário informações relevantes em tempo real sobre o mesmo.

3.2.2 Principais problemas decorrentes da sintonia inadequada do controlador PID do produto Controle de Fertilização

As máquinas de fertilização são componentes essenciais na agricultura moderna, principalmente devido à necessidade de aplicar grandes volumes de insumos. Elas são projetadas para suportar cargas pesadas, podendo ultrapassar 5 toneladas. No caso das culturas de grãos, o uso dessas máquinas é mais esporádico, dependendo da sazonalidade do cultivo. O ciclo de produção de grãos, que inclui plantio, fertilização, colheita e descanso do solo, pode ter uma pausa de até quatro meses.

Por outro lado, nas culturas perenes, como as florestais, ou em plantações de ciclo curto, como a cana-de-açúcar, as máquinas de fertilização são empregadas com maior frequência durante o ano. A natureza contínua das culturas florestais exige um manejo constante do solo, enquanto o ciclo curto da cana-de-açúcar demanda aplicações frequentes de fertilizantes para manter a produtividade. Em ambos os casos, as máquinas devem se adaptar constantemente às necessidades das diferentes culturas ao longo das estações.

Com o tempo, as máquinas agrícolas enfrentam desgaste natural devido à alta carga de insumos, o que resulta em problemas como desgaste mecânico, corrosão e fadiga estrutural. Esses fatores geram perturbações paramétricas nos sistemas hidráulicos e afetam diretamente o controle do sistema (FREITAS ZUFFO; SILVA, s.d.). A facilidade de acesso aos parâmetros de sintonização do controlador no *display* da Hexagon, somada ao pouco conhecimento dos operadores, leva a ajustes inadequados que comprometem a eficácia do processo de fertilização. Conseqüentemente, o uso indevido de insumos pode reduzir a produtividade agrícola e gerar prejuízos financeiros consideráveis.

Quando os produtores percebem a redução da eficiência, tentam ajustar os parâmetros de controle, o que geralmente agrava ainda mais a situação. Quando

não conseguem resolver os problemas, recorrem aos técnicos das empresas OEM ou revendedoras, que, por sua vez, costumam chamar os técnicos da Hexagon. Isso gera custos adicionais, tanto para os revendedores quanto para a Hexagon. Mesmo técnicos especializados enfrentam desafios ao tentar ajustar os parâmetros, pois a falta de dados concretos sobre o comportamento do sistema dificulta uma avaliação precisa.

As consequências desse ciclo de falhas são significativas. O aumento nos custos de suporte, combinado com a falta de precisão nos ajustes, compromete a confiança dos clientes nos produtos e serviços da Hexagon, o que pode resultar na perda de clientes e prejudicar sua posição no mercado. Portanto, é essencial que qualquer solução para esse problema seja implementada rapidamente, pois a demora na resolução impacta diretamente o desempenho das máquinas e, conseqüentemente, a rentabilidade dos fazendeiros. A ineficiência no processo de fertilização pode levar à perda de colheitas, prejudicando a viabilidade econômica das propriedades agrícolas e comprometendo a produtividade das safras subsequentes.

A aplicação de fertilizantes de maneira inadequada também pode ter graves consequências ambientais. O cultivo de soja utiliza diferentes fertilizantes para suprir os nutrientes necessários ao desenvolvimento da planta. Esses fertilizantes variam de acordo com as condições do solo, as fases de crescimento da cultura e as necessidades específicas da planta. Segundo Sfredo (2008), os principais fertilizantes usados no cultivo da soja são:

1. Cálcio (Ca): Crucial para a formação de raízes e fortalecimento celular, ajudando na estrutura e resistência da planta.
2. Magnésio (Mg): Essencial para a fotossíntese, por ser parte da molécula de clorofila, e ativação enzimática.
3. Fósforo (P): Necessário para o crescimento inicial e desenvolvimento de raízes, além de facilitar a produção de energia (ATP).
4. Potássio (K): Ajuda na regulação da água, resistência a estresses e formação de grãos.
5. Nitrogênio (N): Vital para a formação de proteínas e crescimento das plantas, especialmente nas fases iniciais.
6. Enxofre (S): Importante para a síntese de proteínas e formação de aminoácidos, colaborando para o desenvolvimento saudável da soja.

A má configuração dos controladores PID encontrados na solução de Controle de Fertilização da Hexagon pode levar à aplicação excessiva de fertilizantes à base

de nitrogênio em alguns pontos específicos da lavoura. Nestes pontos, os fertilizantes em excesso podem ser carregados pelas águas das chuvas e alcançar corpos d'água e lençóis freáticos, poluindo-os e podendo resultar na eutrofização das águas (SILVA *et al.*, 2021). A eutrofização pode levar a mortes de peixes e outros animais aquáticos e, no Brasil, isto está previsto na Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605/1998) estabelece multas que podem variar de R\$ 5.000,00 a R\$ 50.000.000,00, dependendo da extensão do dano ambiental.

3.2.3 Conceito de Produto Desenvolvido Anteriormente

Com base nas questões abordadas na seção anterior, surgiu na Hexagon a ideia de desenvolver um novo produto que pudesse solucionar os problemas identificados. Para tal, foi criado o Projeto Camaleão, que possui como primeira etapa a elaboração de um novo conceito de produto que foi desenvolvido durante o Estágio Obrigatório do autor, antes do início deste PFC conforme documentado em Flesch Laforce (2023). Na sequência, vamos apresentar os principais aspectos do projeto Camaleão com o intuito de servir de base para o entendimento do problema tratado no presente PFC. Para maiores detalhes, veja Flesch Laforce (2023).

- Resolução do Problema de Falta de Conhecimento de Controle de Processos de Técnicos: Um dos desafios identificados é a falta de conhecimento dos técnicos para o ajuste de parâmetros de controle do sistema.
- Melhoria da Eficiência da Solução de Taxa Variável: A solução de taxa variável desempenha um papel fundamental na agricultura de precisão. Portanto, é crucial aprimorar a eficiência dessa funcionalidade. Para isto, o produto deve entregar alguma solução que resolva o problema de desgastes da máquina e o de ajustes impróprios.
- Diminuição do Tempo de instalação inicial do Controle de Fertilização em parceiros OEM e revendedores: Para facilitar a implementação do produto de Controle de Fertilização Hexagon por parte dos parceiros OEM, é necessário reduzir o tempo necessário para a instalação inicial do sistema. Isso consiste em facilitar o processo de calibração e definição de parâmetros de controle.
- Manutenção da IHM: A consistência visual e estética é fundamental para a usabilidade do produto. Ao introduzir uma nova funcionalidade, é importante garantir que ela se integre perfeitamente com o restante do display. Manter a mesma linguagem visual e estilo de design é essencial para uma experiência de usuário uniforme.

- Segurança para o Usuário: Devido à utilização de equipamentos pesados e de alto custo, é imperativo estabelecer medidas de segurança que assegurem a segurança dos usuários e a integridade das máquinas.

O trabalho feito pelo autor na primeira etapa do Projeto Camaleão relatado em Flesch Laforce (2023) se concentrou no desenvolvimento de um conceito de produto de um sistema de ajuste automático dos controladores PID do Controle de Fertilização da Hexagon. Esse conceito será futuramente desenvolvido e implementado nos *displays* já existentes da Hexagon, permitindo que o ajuste dos parâmetros de controle seja feito de maneira automática, sem a necessidade de intervenção dos membros de suporte técnico. Além disso, a solução a ser implementada visa facilitar o processo de instalação de empresas OEM e revendedoras, ao reduzir significativamente o tempo e a complexidade necessários para configurar os controladores nas novas máquinas. É esperado também uma redução de necessidade de suporte para a reconfiguração dos parâmetros de controle em máquinas já em campo.

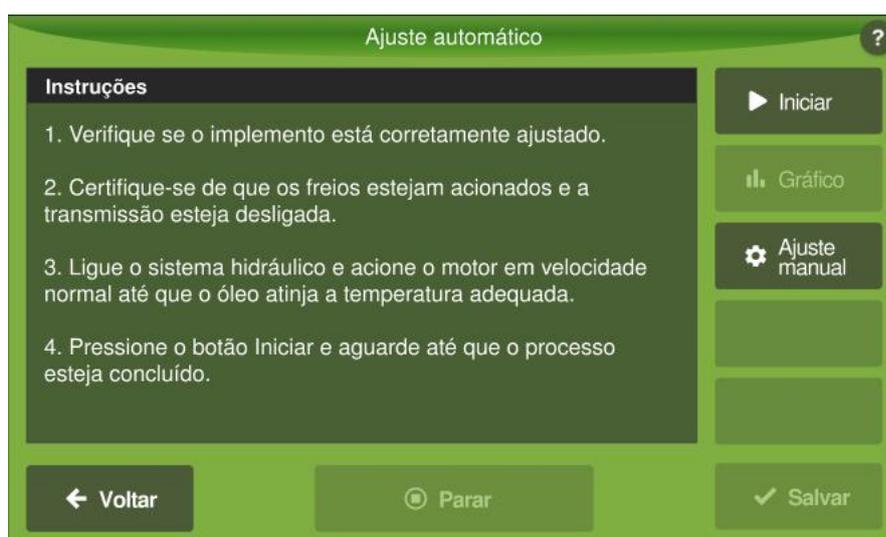
O desenvolvimento do conceito de produto envolveu uma pesquisa extensa de mercado, onde foram analisadas as soluções de sintonização de controladores PID de empresas concorrentes, como Trimble e John Deere. Essa análise forneceu uma base importante para definir as funcionalidades que o novo produto deveria ter. Paralelamente, foram conduzidas entrevistas com engenheiros, técnicos de campo e especialistas em testes da Hexagon para entender as principais dificuldades práticas enfrentadas pelos usuários e identificar as funcionalidades mais relevantes para atender às necessidades dos usuários. O comportamento de atuadores hidráulicos das máquinas agrícolas de fertilização pode ser modelado como um sistema dinâmico de primeira ordem com atraso de transporte, onde então a Hexagon utiliza de um controlador do tipo PID para controlar a saída destes atuadores, que é a velocidade da aplicação de insumos. Com as pesquisas feitas, foi definido que o novo produto deveria ser capaz de realizar as seguintes funções:

- Identificação de zona morta do atuador
- Identificação da saturação do atuador
- Identificação do RPM mínimo e máximo do atuador
- Sintonização de parâmetros PID (proporcional, integral e derivativo)
- Tratamento de filtro de referência do controlador
- Análise de atraso de transporte do atuador
- Levantar a curva de ganho estático do atuador

- Determinação de tempo de resposta transitória para entrada de referência do tipo degrau
- Mapeamento de não linearidades do sistema

Também foi dada atenção especial ao design da interface, que deveria ser intuitiva para permitir que operadores com pouca ou nenhuma experiência técnica pudessem utilizar a funcionalidade de ajuste automático sem dificuldades. Embora um fator fundamental da funcionalidade seja tirar da mão dos operadores a responsabilidade da configuração dos controladores PID, a ferramenta ainda não possui a capacidade de agir de forma autônoma, pois o operador ainda precisa seguir as instruções contidas na tela inicial da funcionalidade, representada pela Figura 12 que captura o protótipo final da funcionalidade.

Figura 12 – Tela inicial da funcionalidade



Após a definição dos requisitos, foi criada uma estratégia para o desenvolvimento do produto, definindo diferentes versões com seus respectivos objetivos, para no final obter o produto completo. Para tirar o máximo proveito de metodologias ágeis, foi definido então que o produto seria desenvolvido em três versões:

- Primeira versão (V1): Ênfase nos requisitos mais básicos, apenas na entrada e saída do sistema, sem considerar a dinâmica
 - Identificação de zona morta
 - Identificação da saturação
 - Identificação do RPM mínimo e máximo do motor

- Segunda versão (V2): Nesta etapa, os parâmetros serão definidos com base na dinâmica do sistema, ampliando a funcionalidade.
 - Adição de funcionalidades V1
 - Sintonização de parâmetros PID (proporcional, integral e derivativo)
 - Tratamento de filtro de referência
 - Análise de atraso de transporte
- Terceira versão (V3): Esta versão visa mapear integralmente a dinâmica do sistema, oferecendo funcionalidades mais avançadas.
 - Adição de funcionalidades V2
 - Levantar a curva de operação do sistema
 - Cálculo de tempo de resposta transitória para entrada de referência do tipo degrau
 - Mapeamento de não linearidades do sistema

A análise de riscos também foi uma parte crucial do processo de desenvolvimento. Utilizando a metodologia FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), os riscos potenciais foram identificados e analisados. Dentre os riscos estavam possíveis falhas no ajuste automático dos parâmetros e dificuldades na integração com os sistemas de controle já existentes nas máquinas. Para cada risco, foram estabelecidas estratégias de mitigação, como a implementação de redundâncias no sistema e a criação de um processo de monitoramento contínuo para detectar problemas de forma antecipada. Essas ações foram tomadas para garantir a robustez e confiabilidade do produto final.

Em seguida, foram desenvolvidos protótipos não funcionais que serviram para validar a interface do produto e testar a viabilidade das funcionalidades propostas. Esses protótipos foram testados por usuários, tanto da própria empresa quanto parceiros externos, para avaliar a usabilidade e identificar possíveis melhorias. O feedback obtido nessa fase foi essencial para realizar ajustes no design e nas funcionalidades do sistema, garantindo que ele atendesse às expectativas e necessidades do usuário final.

Ao final da primeira etapa do Projeto Camaleão, foi concluído pelas partes que compunham as equipes responsáveis que o conceito de produto criado, com todos os requisitos técnicos e funcionais, e com um protótipo já posto a prova que também serviria como requisito de desenvolvimento, seria capaz de resolver os problemas centrais envolvidos descritos acima, caso for implementado nos displays da Hexagon e lançado no mercado de maneira adequada. O desenvolvimento e lançamento desse novo produto é um passo estratégico para a Hexagon para se posicionar com protagonismo

num mercado altamente competitivo e inovador como o de agricultura de precisão e caracteriza a segunda etapa do Projeto Camaleão.

3.3 O PROBLEMA TRATADO

O problema abordado neste documento é o gerenciamento do processo de lançamento do Auto tuning, um novo produto para a sintonização automática de controladores PID integrada ao produto de Controle de Fertilização da Hexagon. Esse novo produto, que será desenvolvido para resolver as dificuldades enfrentadas por usuários na configuração manual dos controladores, busca otimizar o tempo de ajuste dos parâmetros do controlador e melhorar a eficiência da aplicação de insumos agrícolas ao oferecer uma configuração de máquinas personalizada.

Embora o conceito do Auto tuning tenha sido elaborado durante um estágio realizado pelo autor em 2023 como parte da disciplina DAS5501-Estágio Obrigatório e descrito em Flesch Laforce (2023), transformar essa ideia em um produto disponível no mercado envolve desafios significativos e riscos substanciais para a empresa. A elaboração do conceito de produto é a etapa inicial, voltada para identificar as necessidades dos clientes e propor uma solução técnica que seja relevante e viável. Entretanto, o gerenciamento do lançamento do produto vai além da concepção técnica, abrangendo a implementação estratégica necessária para introduzir o produto no mercado. Este processo inclui o alinhamento entre diferentes equipes da empresa, como engenharia, vendas, suporte técnico e *MarComm*, para garantir que todos estejam preparados para contribuir com o sucesso do lançamento. A equipe de Gerência de Produtos é a responsável por liderar essa coordenação, garantindo que os objetivos técnicos e comerciais sejam atingidos, além de antecipar e mitigar riscos associados ao lançamento.

Os riscos de um lançamento inadequado ou mal executado são consideráveis e podem impactar negativamente a empresa em diversas dimensões. Primeiro, existe o risco técnico, onde o produto pode não atender às expectativas em relação à sua funcionalidade ou confiabilidade. Isso pode ocorrer devido a falhas nos testes ou na validação do produto em diferentes cenários, especialmente considerando a diversidade de máquinas agrícolas no mercado. Um produto que não entrega o que promete pode causar instabilidade nas operações dos clientes e até mesmo comprometer equipamentos, gerando custos adicionais de suporte para a Hexagon e seus clientes.

Outro aspecto a ser considerado são os riscos relacionados à execução interna. Falhas na comunicação entre equipes ou na capacitação de vendas e suporte técnico podem dificultar a adoção do produto pelos clientes, limitando seu potencial de mercado. Além disso, a ausência de uma estratégia clara de divulgação pode fazer com que o mercado-alvo não tome conhecimento do lançamento, reduzindo drasticamente seu impacto.

O lançamento de novos produtos tem impacto direto sobre a reputação da em-

presa. A Hexagon, como líder no setor de Agricultura de Precisão, associa sua imagem diretamente aos produtos que lança. Um lançamento mal executado pode afetar negativamente a percepção de seus clientes e do mercado sobre sua capacidade de inovação e adaptação às demandas do setor. Isso pode levar à perda de competitividade frente aos concorrentes, que rapidamente ocupariam o espaço deixado por um produto mal recebido. Além disso, a perda de confiança por parte dos clientes existentes pode impactar a retenção e dificultar a entrada de novos clientes, afetando negativamente as vendas e o faturamento da empresa.

Um lançamento fracassado significa também desperdício de investimentos substanciais em desenvolvimento, *MarComm* e recursos humanos. Além disso, os custos de retrabalho, suporte técnico e mitigação de problemas podem crescer exponencialmente, comprometendo o orçamento planejado para outros projetos.

Dentro da organização interna de lançamento de produtos da Hexagon, foi estabelecido um limite para que o Auto tuning seja lançado até janeiro de 2025. Embora os detalhes específicos sejam confidenciais e não relevantes para os objetivos deste documento, esse prazo tem como objetivo garantir que o produto esteja amplamente acessível aos clientes, coincidente com o lançamento da primeira versão de *software* dos *displays* da empresa no ano, facilitando a adoção inicial do novo produto.

O gerenciamento do lançamento do novo produto, equipado com a funcionalidade de sintonia automática de controladores PID, fundamenta-se na elaboração do conceito de produto desenvolvida durante a primeira etapa do Projeto Camaleão, conforme descrito anteriormente. Esse processo deve atender aos seguintes requisitos:

- Garantir que o produto seja desenvolvido seguindo as especificações do conceito criado anteriormente, e adequar o mesmo para novas demandas ou impedimentos. O conceito de produto desenvolvido anteriormente foi meticulosamente pensado para resolver os problemas específicos a serem abordados, caso a equipe de engenharia se desvie do plano original, existe a possibilidade do produto não ter o impacto desejado inicial. Na fase de desenvolvimento, o Gerente de Produtos deixa de ser o protagonista, deixando este espaço para o Gerente de Projetos para a implementação da solução com base no trabalho do Gerente de Produtos. A interpretação correta do conceito de produto pelo Gerente de Projetos é essencial para que o mesmo seja desenvolvido corretamente, e é responsabilidade do Gerente de Produtos garantir que isto ocorra corretamente;
- Garantir que a ferramenta de ajuste automático desenvolvida gere ganhos bons e confiáveis. Sistemas dinâmicos podem apresentar respostas adversas quando os parâmetros Proporcional, Integrador e Derivativo são mal sintonizados, podendo resultar em oscilações na resposta e até instabilidade no sistema. Este último caso pode resultar em acidentes graves no âmbito agrícola, onde as máquinas

tem proporções imensas e são operadas de perto pelos operadores, podendo colocar em risco a saúde dos mesmos e a integridade do equipamento. É imprescindível para o lançamento do produto que o Auto tuning gere ganhos que não coloque o bem estar dos operadores e da máquina em risco;

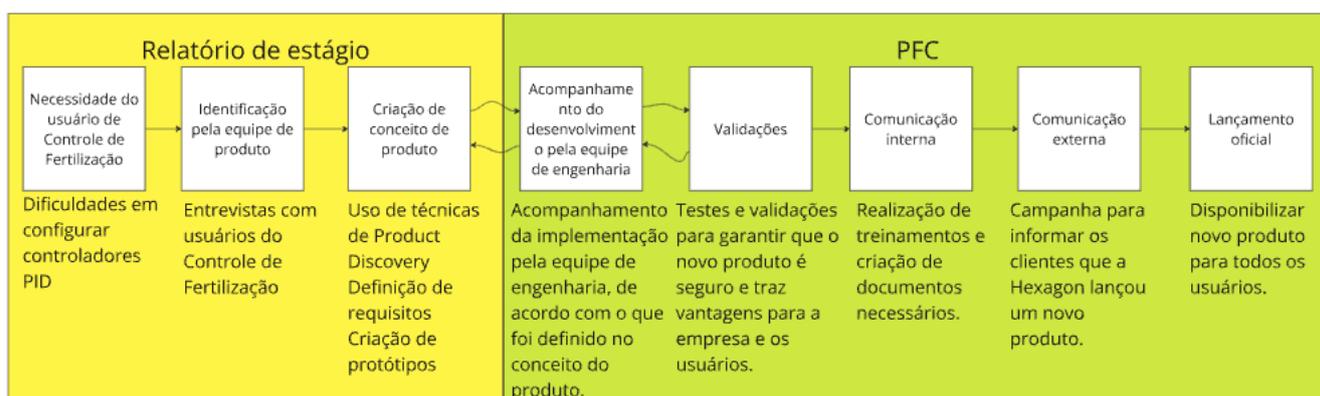
- Verificar qual o impacto da ferramenta no tempo de configuração dos controladores pelos técnicos da Hexagon e seus clientes. Um dos objetivos iniciais do Projeto Camaleão seria a diminuição do tempo gasto pelos técnicos para a configuração. É imprescindível que o sistema a ser desenvolvido seja capaz de alcançar este objetivo para que seja lançado pela Hexagon.
- Avaliar se a ferramenta desenvolvida resulta na melhoria de aplicação de fertilizantes. Um dos objetivos geris do projeto Camaleão, o qual o trabalho deste documento está inserido, é a melhoria na aplicação de fertilizantes decorrente da melhor sintonização dos controladores. Para que o produto seja lançado no mercado, é preciso comprovar que ele realmente trás benefícios neste quesito;
- Criar métricas para acompanhar o impacto da ferramenta no dia-a-dia da equipe técnica da Hexagon. Outro dos objetivos do projeto Camaleão é a melhoria da experiência dos inúmeros técnicos da Hexagon no contexto de configuração de controladores PID;
- Criar as documentações necessárias e fornecer os devidos treinamentos para que a equipe técnica da Hexagon seja capaz de utilizar a ferramenta de maneira correta, tão quanto seja capaz de repassar este conhecimento adiante;
- Planejar, juntamente com a equipe de comunicações, planos de divulgação da ferramenta nova de maneira que ela seja de conhecimento de atuais e possíveis clientes. É essencial que o lançamento do produto no mercado seja bem comunicado;
- Lançar oficialmente o novo produto até janeiro de 2025.

Em resumo, durante o estágio realizado anteriormente pelo autor em 2023, por meio de interações com clientes e técnicos da Hexagon, foi identificada uma dificuldade na sintonização de controladores PID em máquinas de fertilização agrícola. Isso levou à criação de um conceito de produto para solucionar o problema, com objetivos claros a serem alcançados. O conceito foi apresentado à diretoria, que estabeleceu expectativas quanto aos resultados. Este trabalho foca nas ações necessárias para assegurar que o produto chegue ao mercado e seja capaz de atingir esses objetivos de maneira eficaz, gerando valor para todas as partes envolvidas.

3.4 SOLUÇÃO PROPOSTA

As principais etapas da solução proposta para o problema descrito na seção anterior são ilustradas na Figura 13.

Figura 13 – Diagrama das etapas propostas



Fonte: Autor.

Inicialmente, a equipe de engenharia responsável pelo desenvolvimento do Auto tuning recebe o conceito de produto descrito na Seção 3.2.3, nas quais constavam todos os requisitos do projeto. A partir desse conceito, a equipe realizará pesquisas de métodos matemáticos para a implementação dos requisitos técnicos propostos. Paralelamente, a equipe desenvolverá a IHM relativa ao Auto tuning, também conforme explicitado no conceito de produto. Este processo de pesquisa e implementação de técnicas matemáticas e desenvolvimento da interface deve, então, ser supervisionado para garantir que quaisquer imprevistos ou impedimentos sejam definitivamente compensados com mudanças no conceito do produto, ainda buscando a melhor experiência e resultados para os clientes, se necessário. Também deve-se atentar se as definições de versões de desenvolvimento estão sendo seguidas.

Conforme as versões forem desenvolvidas, uma após a outra, serão elaborados e executados testes específicos para adquirir resultados convincentes que comprovem que o novo produto é capaz de cumprir com seus objetivos. Os testes devem ser específicos para os cenários de cada versão desenvolvida. Eles devem abranger tanto as questões de confiabilidade do produto, garantindo que ele atue em uma ampla gama de cenários, quanto a sua qualidade, verificando a capacidade de gerar ganhos satisfatórios para a operação de Controle de Fertilização nesses cenários. Devem incluir também a avaliação da usabilidade do Auto tuning, buscando comprovar que a interface desenvolvida no conceito de produto é simples e intuitiva. Além disso, os testes devem medir o impacto do Auto tuning no tempo de configuração dos controladores PID. Por meio desses testes, será feita uma estimativa dos ganhos financeiros, tanto

para os clientes da Hexagon quanto para a própria empresa.

Assim que os testes de resultados se mostrarem positivos, serão criadas as documentações necessárias para a difusão dos conhecimentos sobre o novo produto, bem como a realização de eventos voltados à comunicação e instrução do uso do novo produto para todas as equipes de suporte técnico da Hexagon. Essas equipes, que atuam como interface direta entre a empresa e os clientes, têm a responsabilidade de assegurar que os produtos da Hexagon funcionem de maneira adequada.

Com os documentos internos criados, será realizado, em conjunto com a equipe de *MarComm*, o planejamento das ações de divulgação do novo produto para os atores do mercado de agricultura de precisão, incluindo os clientes e possíveis clientes da Hexagon. Esse planejamento incluirá as datas de execução das campanhas de divulgação.

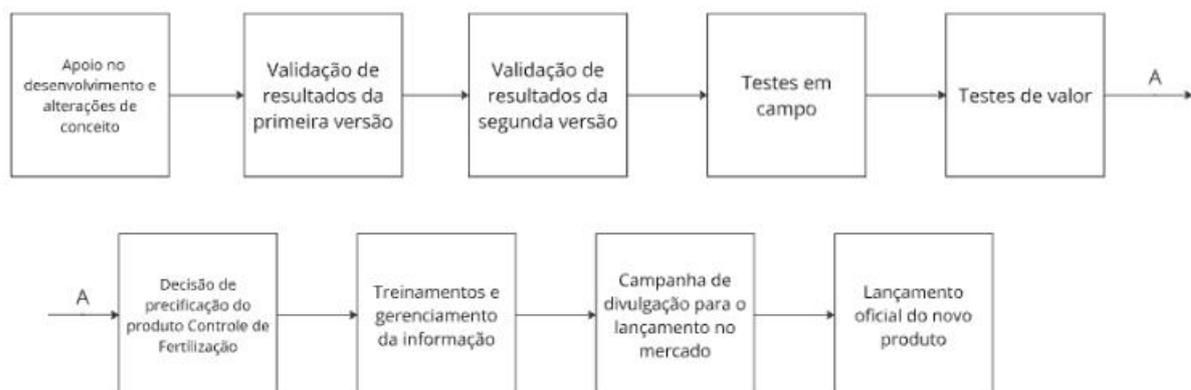
Assim que todos os passos descritos forem concluídos, a equipe de Gerenciamento de Produtos e Engenharia decidirá sobre a data de lançamento oficial do novo produto, que pode ou não coincidir com a data de execução das campanhas de divulgação, respeitando o limite estabelecido na Seção 3.3. É importante ressaltar que o lançamento só será realizado após o sucesso de todas as etapas anteriores, com o risco de interrupção caso os testes necessários não gerem resultados concretos.

4 DESCRIÇÃO DO GERENCIAMENTO DO LANÇAMENTO DO NOVO PRODUTO

Neste capítulo, serão apresentados os passos e estratégias formulados pelo autor para o gerenciamento do lançamento do Auto tuning. A Seção 4.1 apresenta um diagrama condensando todas principais etapas realizadas durante o trabalho que este documento se refere. Na Seção 4.2, serão explicadas as mudanças no conceito do produto, definido anteriormente, que se tornaram necessárias diante das dificuldades de implementação do novo produto no *display* da Hexagon. A Seção 4.3 aborda os testes de qualidade e seus resultados, referentes à primeira versão do Auto tuning desenvolvida pela equipe de engenharia, realizados nas imediações da sede da Hexagon em Florianópolis, SC. A Seção 4.4 é semelhante à Seção 4.3, mas trata dos testes e resultados da segunda versão. Na Seção 4.5, serão relatados os testes realizados em máquinas agrícolas de fertilização pertencentes a clientes, localizadas em diferentes regiões do Brasil. Em seguida, a Seção 4.6 apresenta as estratégias e os testes definidos para estimar o impacto financeiro do Auto tuning, bem como os resultados obtidos. A Seção 4.7 descreve as decisões do autor relacionadas à alteração do preço do produto de Controle de Fertilização devido à inclusão do Auto tuning em seu escopo. A Seção 4.8 relata o esforço utilizado para o treinamento dos técnicos da Hexagon, tão como o resultado destes esforços. Na Seção 4.9, é descrito o processo de criação do plano de comunicação em colaboração com a equipe de MarComm. Por fim, a Seção 4.10 relata a decisão do autor e dos demais atores do Projeto Camaleão sobre o lançamento oficial do Auto tuning.

4.1 VISÃO GERAL DAS PRINCIPAIS ETAPAS REALIZADAS

Figura 14 – Diagrama de etapas realizadas



Fonte: Autor.

A Figura 14 apresenta as etapas desenvolvidas pelo autor e pelas equipes envolvidas, culminando no lançamento oficial do Auto tuning. O processo incluiu o acompanhamento do desenvolvimento técnico, validação em testes internos e em campo, estimativa de ganhos financeiros, ajustes na precificação, criação de documentações para treinamento das equipes de suporte técnico e a elaboração de uma campanha de divulgação em conjunto com a equipe de MarComm. Após a conclusão bem-sucedida dessas etapas, o produto foi oficialmente lançado. Na sequência, cada uma dessas etapas será descrita em maiores detalhes.

4.2 APOIO NO DESENVOLVIMENTO E ALTERAÇÕES NO CONCEITO DE PRODUTO

Conforme explicitado na Seção 3.2.3, relembramos que o novo produto deve atender aos seguintes requisitos técnicos:

- Identificação de zona morta do atuador
- Identificação da saturação do atuador
- Identificação do RPM mínimo e máximo do atuador
- Sintonização de parâmetros PID (proporcional, integral e derivativo)
- Tratamento de filtro de referência do controlador
- Análise de atraso de transporte do atuador
- Levantar a curva de ganho estático do atuador
- Determinação de tempo de resposta transitória para entrada de referência do tipo degrau
- Mapeamento de não linearidades do sistema

Para tal, foram implementados métodos já conhecidos para o mapeamento de saturação e zona morta e para a identificação do sistema dinâmico e cálculo de ganhos PID, respectivamente. Os métodos utilizados não serão revelados por questões de sigilo do código implementado. Ao decorrer do desenvolvimento do produto, com base nos métodos citados anteriormente, foi verificado que a implementação de algoritmos que configurassem os filtros de referência do controlador do Controle de Fertilização e que mapeassem as não linearidades do sistema seriam de elevado custo em horas para a equipe, sendo que o projeto tem um banco de horas limitado, e que os *displays* da Hexagon teriam problemas de memória para a execução destes algoritmos.

Com base nesta limitação, foram feitas novas entrevistas com membros da equipe de testes e membros da equipe de suporte técnico para avaliar o impacto das mudanças. Foi acordado que a exclusão destas capacidades não impactaria o resultado principal da ferramenta, que é a identificação de zona morta, saturação, RPM mínimo e máximo e parâmetros PID. Seguindo esta estratégia, foi acordado também que o levantamento de curva de ganho estático não seria abordado no projeto, pois foi entendido que atua na contramão do objetivo principal, que seria retirar a responsabilidade do técnico em entender o sistema e tomar decisões sobre a configuração do controlador PID. O sistema também iria calcular o tempo de atraso e calcular o tempo de resposta transitória, porém não iria informar ao usuário. Os requisitos funcionais foram remapeados então para:

- Identificação de zona morta
- Identificação da saturação
- Identificação do RPM mínimo e máximo do motor
- Sintonização de parâmetros PID (proporcional, integral e derivativo)
- Análise de atraso de transporte
- Determinação de tempo de resposta transitória para entrada de referência do tipo degrau

Com isto, os requisitos foram redefinidas as versões de desenvolvimento:

- Primeira versão (V1): Ênfase nos requisitos mais básicos, apenas na entrada e saída do sistema, sem considerar a dinâmica
 - Identificação de zona morta
 - Identificação da saturação
 - Identificação do RPM mínimo e máximo do motor
- Segunda versão (V2): Nesta etapa, os parâmetros serão definidos com base na dinâmica do sistema, ampliando a funcionalidade.
 - Adição de funcionalidades V1
 - Sintonização de parâmetros PID (proporcional, integral e derivativo)
 - Cálculo de tempo de resposta transitória para entrada de referência do tipo degrau
 - Análise de atraso de transporte

Para as implementações das funções de identificação de zona morta e saturação, foram definidos critérios de aceitação rigorosos para a recepção do sinal do sensor que mede a velocidade do atuador. O objetivo desses critérios era, por meio de filtros, garantir que o sinal confiável de velocidade proveniente do sensor fosse distinguido de ruídos e oscilações.

Porém, o sistema falhava ao tentar detectar valores de saturação e o RPM máximo da máquina. Ao investigar o caso com a equipe de engenharia, foram analisadas possíveis causas e soluções, levando à conclusão de que o sistema era excessivamente rígido ao aceitar os valores detectados. Essa rigidez era incompatível com as condições reais de campo, onde são comuns oscilações fortes devido a fatores como imperfeições nos eixos das máquinas, perdas por atrito e vibrações causadas pelos motores do trator e do sistema hidráulico, o que dificultava a leitura precisa dos sinais necessários para o Auto tuning.

Essas variações naturais nas leituras de sinal, inevitáveis no ambiente operacional, impediram que o sistema fosse capaz de fornecer os resultados esperados. Para solucionar o problema, foram flexibilizados os critérios de aceitação das etapas de identificação do sistema, permitindo uma maior tolerância para variações sem comprometer o desempenho geral.

Essa abordagem de ajuste foi baseada no entendimento de que raramente é possível alcançar condições de operação ideais em campo e de que o cliente necessitava de um resultado funcional, mesmo que, ocasionalmente, a precisão fosse sacrificada.

Assim feito, o produto segue para as próximas etapas de teste.

4.3 VALIDAÇÃO DE RESULTADOS DA PRIMEIRA VERSÃO

Dentro da metodologia ágil de desenvolvimento se encontram as ações para simplificar o desenvolvimento de projetos. A separação de uma grande entrega em várias entregas intermediárias ajuda a tornar o produto entregue no final mais confiável e robusto. Assim foi feito ao longo do conceito de produto elaborado no projeto Camaleão e relatado em Flesch Laforce (2023), onde o produto final de Auto tuning foi dividido em três versões intermediárias. A primeira versão, como explicado no documento, consistia na implementação das funcionalidades de identificação de Zona Morta e Saturação do sistema hidráulico, assim como a leitura do RPM mínimo e máximo do motor.

A primeira versão do novo produto foi rapidamente desenvolvida e entregue ao autor e à equipe de QA da Hexagon. Foram realizados testes rigorosos para avaliar a capacidade dessa iteração do Auto tuning em fornecer resultados confiáveis. Como os valores encontrados são considerados "intrínsecos" à máquina, a estratégia de testes foi focada em garantir que os resultados fossem consistentes e reproduzíveis em diferentes condições de operação. A equipe de testes concentrou seus esforços em

verificar a estabilidade e a precisão dos parâmetros ajustados pelo Auto tuning, assegurando que a funcionalidade atendesse aos critérios de desempenho e qualidade esperados para a sua implementação no mercado.

Para tal os testes ocorreram ao longo de 4 semanas, com 22 rodadas semanais em diferentes motores. Os testes foram realizados em um motor elétrico disponível no ambiente de trabalho da equipe de QA. O motor já é utilizado para testes da solução de Controle de Fertilização da Hexagon, em que o motor elétrico é utilizado para emular a atuação do motor hidráulico do trator conectado ao sistema hidráulico e esteira do implemento. Mesmo estando longe do caso real, o motor elétrico compartilha das características de Zona Morta, Saturação e rotações mínimas e máximas, então foi considerado por todas as equipes envolvidas como uma boa representação para os testes a serem executados.

Figura 15 – Display conectado a motores elétricos



Fonte: Autor.

Para a avaliação dos resultados, foi definido que o desvio padrão dos testes não poderiam equivaler a mais de 5% da média de seus respectivos valores. Os casos de erro de cálculo não poderiam passar de 5% das tentativas totais.

Os resultados da primeira semana de testes estão exemplificados na Tabela 1. Por simplicidade, os resultados das semanas subsequentes não serão expostos, porém foram avaliados da mesma maneira, e seguiram com a mesma tendência.

Tabela 1 – Resultados de testes da primeira interação

| Teste nº | RPM Max | RPM Min | Zona Morta | Saturação |
|-------------------------|----------------|----------------|-------------------|------------------|
| 1 | 1171.18 | 3.39 | 112.64 | 1007.98 |
| 2 | 1171.20 | 2.57 | 112.64 | 1009.76 |
| 3 | 1171.84 | 6.40 | 120.32 | 1020.44 |
| 4 | 1175.15 | 7.33 | 112.64 | 1023.55 |
| 5 | 1170.04 | 12.79 | 112.64 | 1020.44 |
| 6 | 1163.86 | 5.32 | 102.40 | 1016.80 |
| 7 | 1175.30 | 14.68 | 112.64 | 1023.55 |
| 8 | 1180.74 | 12.54 | 122.88 | 1023.12 |
| 9 | 1176.56 | 7.41 | 112.64 | 1020.44 |
| 10 | 1173.20 | 9.45 | 112.64 | 1022.22 |
| 11 | 1172.62 | 10.41 | 122.88 | 1022.24 |
| 12 | 1187.62 | 14.51 | 122.88 | 1023.89 |
| 13 | Timeout error | - | - | - |
| 14 | 1157.90 | 14.35 | 133.12 | 1010.08 |
| 15 | 1186.76 | 10.75 | 112.64 | 1020.44 |
| 16 | 1187.52 | 7.79 | 112.64 | 1020.44 |
| 17 | 1179.99 | 8.25 | 112.64 | 1016.88 |
| 18 | 1180.07 | 13.93 | 122.88 | 1020.48 |
| 19 | 1171.86 | 6.53 | 112.64 | 1009.76 |
| 20 | 1171.11 | 9.09 | 112.64 | 1009.76 |
| 21 | 1192.22 | 2.68 | 102.40 | 1018.60 |
| | RPM Max | RPM Min | Zona Morta | Saturação |
| Desvio Padrão | 8.39 | 3.94 | 7.22 | 5.45 |
| Média | 1175.84 | 9.01 | 115.07 | 1018.04 |
| % de desvio para escala | 0.71% | 0.33% | 0.70% | 0.53% |

Fonte: Autor.

A equipe de Engenharia, juntamente com o autor, analisou os resultados obtidos e concluiu que a funcionalidade estava operando de maneira satisfatória. Embora os desvios padrões de RPM mínimo e Zona Morta fossem relativamente altos quando comparados com suas respectivas médias, foi feita a comparação com o valor do fundo de escala, sendo estes o RPM máximo e 1024, respectivamente.

4.4 VALIDAÇÃO DE RESULTADOS DA SEGUNDA VERSÃO

Durante os testes da primeira versão pela equipe de QA e pelo autor, e equipe de engenharia desenvolveu a segunda versão do produto, que tem como objetivo calcular os valores dos parâmetros proporcional, integrativo e derivativo de um controlador PID.

Conforme exposto na Seção 2.3 deste documento, o sistema hidráulico de um trator agrícola pode ser modelado como um sistema dinâmico de primeira ordem com atraso de transporte:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = K \frac{e^{-sD}}{\tau s + 1}, \quad (7)$$

onde, $R(s)$, a entrada do sistema é a tensão que controla a abertura da válvula hidráulica, e a saída $C(s)$ é a velocidade do motor do implemento de fertilização, e é o número de Euler, D é o atraso de transporte, s é o operador complexo de Laplace, τ é a constante de tempo do sistema e K é o ganho estático do sistema. O display da Hexagon atua como controlador deste sistema hidráulico, utilizando sua saída PWM para definir a tensão aplicada no sistema.

Assim, a equipe de engenharia teve o desafio de implementar um algoritmo no sistema embarcado para que pudesse encontrar ganhos que sejam satisfatórios para a operação de Controle de Fertilização. Utilizando do métodos matemáticos definidos, a equipe de engenharia desenvolveu uma lógica que gera uma série de combinações de ganhos PID, estes ganhos são então testados na própria planta. Foi implementada uma lógica de escolha dos ganhos, com base na resposta de cada um dos testes. São usados o tempo de resposta, oscilação e overshoot como fatores para a escolha dos ganhos. Estes três valores são ponderados e somados para atribuir um valor, ou um índice de aprovação ao conjunto de ganhos, o conjunto com menor índice é o resultado da rotina de cálculo de ganhos.

Similarmente aos testes da primeira iteração, os testes para esta etapa de desenvolvimento se estendeu por várias semanas, porém desta vez, os testes foram realizados no trator da Hexagon, que está localizado no terreno de sua sede em Florianópolis, SC. O trator foi ligado a um implemento de testes, que visa simular a atuação de diversos tipos de máquinas agrícolas. Nele, existe uma seção dedicada à simulação de uma fertilizadora agrícola que foi utilizada tanto pela equipe de engenharia para o desenvolvimento da funcionalidade, quanto pela equipe de testes e pelo autor para a verificação dos resultados. A estratégia de testes seguiu o que foi definido para o caso anterior, desvio padrão dos valores da primeira iteração não poderiam equivaler a mais de 5% do máximo de escala de seus respectivos valores. Para os conjuntos de ganhos calculados, a equipe de engenharia definiu empiricamente que a nota máxima seria 10. Foi considerado que esta nota mínima já serviria como um fator decisivo nos testes, então o teste ocorrendo com sucesso já seria um bom indicador da performance da funcionalidade.

Como os testes anteriores, estes foram feitos ao longo de várias semanas, com repetições extensivas afim de garantir a confiabilidade dos resultados. Durante as primeiras tentativas de testes, o sistema se mostrou ineficaz em gerar ganhos. Devido a problemas na lógica da implementação dos métodos matemáticos mencionados ante-

Figura 16 – Trator com implemento de simulação



Fonte: Autor.

riormente no sistema embarcado da Hexagon, o Auto tuning apenas gerou ganhos em cerca de 20% dos casos. Através de testes realizados pelo autor e pela equipe de testes da Hexagon, foram levantados diversos casos nos quais o novo sistema era incapaz de cumprir sua função. Entre eles estavam incompatibilidades com outros sistemas do computador de bordo e regras excessivamente estritas para a identificação do sistema dinâmico. Com o trabalho extensivo pelos atores mencionados anteriormente e pela equipe de engenharia, depois de cerca de dois meses de testes e correções o sistema foi capaz de gerar ganhos de maneira consistente. À partir disso, os testes voltaram ao foco de garantir que o sistema se tornasse oficialmente consistente. Durante duas semanas foram realizados testes no conjunto trator e implemento da Hexagon, onde 10 tentativas foram feitas.

A Tabela 2 explicita os resultados de uma das semanas de testes. Por simplicidade, os outros dados não serão mostrados. Com os resultados em mão, o autor juntamente com a equipe de engenharia concluiu que o Auto tuning poderia então ser levado adiante para testes em máquinas agrícolas de clientes.

Tabela 2 – Resultados de testes da segunda versão

| Teste nº | RPM Max | RPM Min | Zona Morta | Saturação | P | I |
|-------------------------|---------|---------|------------|-----------|-------|--------|
| 1 | 743.49 | 10.12 | 153.6 | 832 | 0.72 | 0.0116 |
| 2 | 741.25 | 13.90 | 153.6 | 827 | 0.84 | 0.0112 |
| 3 | 768.04 | 10.24 | 153.6 | 757 | 0.73 | 0.0117 |
| 4 | 745.99 | 14.96 | 153.6 | 832 | 0.67 | 0.0112 |
| 5 | 743.21 | 9.70 | 153.6 | 798 | 0.87 | 0.0116 |
| 6 | 763.91 | 15.62 | 153.6 | 797 | 0.68 | 0.0117 |
| 7 | 759.19 | 13.15 | 153.6 | 795 | 0.83 | 0.0113 |
| 8 | 762.88 | 11.64 | 153.6 | 812 | 0.76 | 0.0115 |
| 9 | 755.37 | 16.15 | 153.6 | 819 | 0.68 | 0.0113 |
| 10 | 737.96 | 11.08 | 153.6 | 815 | 0.71 | 0.0113 |
| | RPM Max | RPM Min | Zona Morta | Saturação | P | I |
| Desvio Padrão | 10.95 | 3.94 | 2.42 | 0 | 0.07 | 0.0002 |
| Média | 752.13 | 12.66 | 153.60 | 808.40 | 0.75 | 0.01 |
| % de desvio para escala | 1.46% | 0.24% | 0.0% | 2.23% | 0.01% | 0.0% |

Fonte: Autor.

4.5 TESTES EM CAMPO

O sistema demonstrou ser eficaz nos cenários de testes disponíveis nas imediações da Hexagon, mas uma consideração fundamental para o projeto como um todo é a ampla variedade de tratores e implementos agrícolas em uso no setor. Embora os motores disponíveis na Hexagon tenham oferecido modelos úteis para a equipe de engenharia, esses não puderam garantir a robustez necessária para validar plenamente o Auto tuning, pois o desempenho de sistemas hidráulicos em conjuntos trator-implemento depende de diversos fatores – como qualidade, temperatura e limpeza do fluido hidráulico, estado de conservação das partes móveis do sistema, tipo e quantidade do insumo aplicado, entre outros. Em suma, a diversidade dos sistemas dinâmicos encontrados no campo é tão extensa que qualquer estimativa de modelagem dessas variações seria ineficaz para representar a realidade.

Para abordar essa limitação, a única forma de testar a compatibilidade do Auto tuning com a diversidade de máquinas agrícolas foi realizar testes extensivos em condições reais de campo. O autor, em parceria com a equipe de engenharia, instruiu um membro do suporte técnico para conduzir testes da nova funcionalidade durante visitas a clientes que possuíam máquinas de fertilização. Um computador de bordo com uma versão inicial do Auto tuning foi disponibilizado, e o técnico foi orientado nas etapas de instalação e execução dos testes. A estratégia adotada consistia em permitir que o técnico realizasse as instalações e ativasse o Auto tuning, enquanto o sistema coletava automaticamente dados relevantes sobre os sistemas hidráulicos em operação.

Durante três meses, o técnico coletou dados de diferentes máquinas, totalizando 10 testes distintos. Esses testes revelaram alguns casos onde o Auto tuning ainda falhava em obter ganhos, especificamente em máquinas operando em faixas de rotação baixas. O motor elétrico da Hexagon abrange a faixa de 0 a 1000 RPM, enquanto os implementos agrícolas geralmente trabalham entre 30 e 400 RPM. Em todos os cenários semelhantes aos da fábrica, o Auto tuning funcionou conforme esperado; entretanto, em máquinas com operações entre 0 e 9 RPM, surgiram dificuldades para o sistema distinguir o sinal de velocidade dos ruídos. Essa limitação foi crucial para identificar um ajuste necessário, levando a equipe de engenharia a corrigir a detecção e filtragem de sinais em baixa rotação.

Após a correção desse problema, os testes de campo foram retomados, e até o presente momento, não foram encontrados novos erros. Com isso, as equipes de engenharia, qualidade, suporte técnico, e o autor validaram a funcionalidade do Auto tuning e aprovaram o avanço dos testes para uma nova fase. Agora, o foco está em quantificar o valor gerado para diferentes tipos de clientes, incluindo fazendeiros, revendedores, OEMs e empresas do setor florestal, consolidando o impacto positivo da funcionalidade.

4.6 TESTES DE VALOR

Os clientes da Hexagon que utilizam as soluções de Controle de Fertilização lidam com cenários de alta complexidade. Para os agricultores, a aplicação precisa de insumos é crucial, pois erros na dosagem podem levar a grandes prejuízos. Estudos de solo, realizados por empresas especializadas, geram mapas georreferenciados que detalham a quantidade exata de nutrientes em cada área da fazenda, abrangendo muitas vezes centenas de hectares. Utilizando tecnologias avançadas de geoposicionamento, Piloto Automático e controle de implementos de fertilização da Hexagon, os clientes conseguem traçar rotas precisas para seus tratores e aplicar insumos com consistência, conforme as necessidades de cada área. O desempenho dessas soluções é crítico para o sucesso das plantações, e, em culturas como soja e milho, uma aplicação incorreta de insumos pode resultar em perdas significativas, chegando ao ponto de inviabilizar economicamente a safra.

A Hexagon conta com sistemas de geoposicionamento e Piloto Automático comprovadamente precisos, com margens de erro de até 2 cm, garantindo que as operações ocorram dentro das referências definidas (HEXAGON, 2024). Contudo, a configuração adequada dos parâmetros de controle de fertilização ainda representa um desafio. Como descrito na Seção 3.2.2, a complexidade da sintonização manual dos controladores PID por parte de clientes e técnicos tem sido um obstáculo, ameaçando a eficácia das aplicações e a imagem da Hexagon no mercado. As máquinas, que chegam a dezenas de metros de comprimento e toneladas de peso, têm prazos

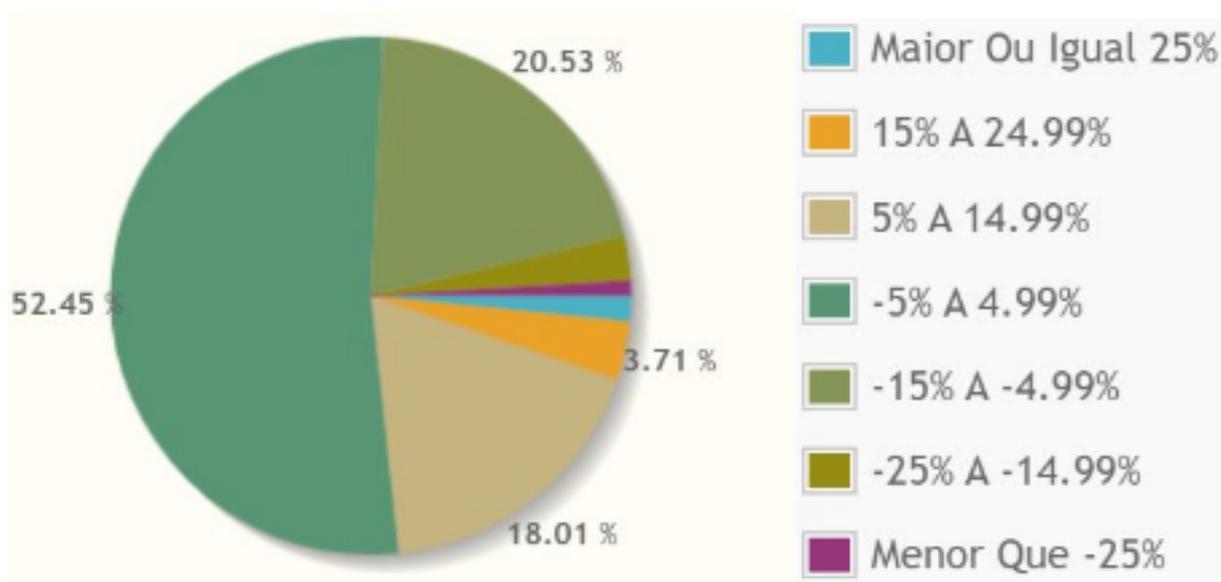
restritos para operar, e o tempo necessário para sua configuração é essencial para o sucesso do cliente. Esse fator se torna ainda mais crítico para empresas florestais, onde a fertilização ocorre diariamente. Ao notar que suas máquinas estão aplicando insumo de maneira ineficiente, o usuário enfrenta dois pontos críticos. O primeiro é o tempo necessário que a máquina teve de ficar sem operar para que os novos ajustes fossem realizados. O segundo é a incerteza quanto a eficiência dos novos ajustes. A sintonização de controladores PID nesses tipos de máquinas se mostra mais desafiante do que geralmente já é, considerando que os técnicos não tem basicamente nenhuma maneira de obter as informações relevantes sobre a resposta do sistema ou perturbações. Com isto a aplicação de fertilizantes pode ser inadequada, não só podendo prejudicar a colheita quanto podendo ter implicações ambientais.

Nesse cenário, a funcionalidade de Auto Tuning oferece um valor significativo. Em testes realizados pela equipe de suporte técnico da Hexagon com três revendedores parceiros, foram analisados tempos de configuração de diferentes máquinas agrícolas, com duração média de 2h50min (em tempos variando de 1h30min a 5h). Embora essa amostra seja limitada, entrevistas com membros do suporte técnico corroboraram que esses resultados eram representativos da experiência prática. Com o Auto Tuning, o tempo de configuração foi reduzido drasticamente para menos de 10 minutos, uma economia média de 160 minutos, resultando em uma melhoria de aproximadamente 94%. Assumindo um custo médio de R\$300 por hora do técnico em campo, e considerando que cada técnico realiza um ajuste semanal, a nova funcionalidade gera uma economia mensal de cerca de R\$3.200 em custos de suporte técnico para os agricultores.

Paralelamente ao levantamento de tempo utilizado para a configuração das máquinas, foi realizado um teste para estimar o aumento de produtividade oriunda da utilização dos ganhos fornecidos pelo Auto tuning. No mercado florestal ocupado pela Hexagon, existem inúmeras possibilidades de testes, porém foi buscado um cenário em específico em que um processo de fertilização estivesse ocorrendo de maneira ineficiente. Tal caso foi encontrado em uma fazenda florestal no estado de São Paulo, onde por meio de ferramentas de monitoramento da operação, foi identificado que a máquina estava operando com apenas aproximadamente 50% de eficiência no seu talhão. No talhão em específico, a dose desejada era de 300kg/ha de um certo insumo, foi verificado que em apenas 50% da área foi aplicada a faixa aceitável da dose desejada, sendo esta faixa equivalente a -5% a +4.99% do ponto de recomendação, ou seja, a faixa desejada seria entre 285kg/ha a 315kg/ha, este resultado pode ser verificado na Figura 17.

Para a realização dos testes, o autor do documento instruiu a equipe técnica encarregada por aquela fazenda específica a como realizar o Auto tuning. Reiterando a experiência de outros técnicos, a equipe informou que a ferramenta era usabilidade

Figura 17 – Aplicação por faixa de desvio do caso inicial.



Fonte: Autor.

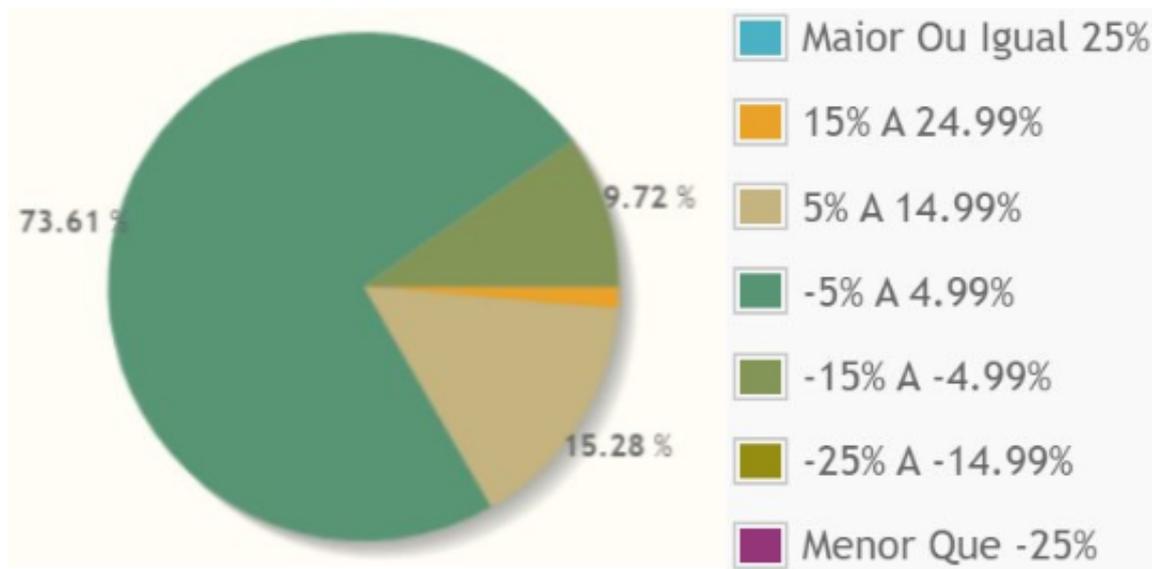
particularmente fácil e intuitiva. Repetindo também o resultado anterior, a equipe ativou o Auto tuning, e em menos de 10 minutos obteve os novos ganhos a serem utilizados, e a máquina já estava pronta para retornar à operação. A máquina foi monitorada da mesma maneira que anteriormente, e seus resultados de aplicação em diferentes talhões foi coletado durante uma semana. Nesta semana, a máquina atingiu uma média de 70% de eficiência, com máxima de 76%. Na Figura 18 Durante a semana, ocorreram chuvas e fortes ventos, fatores climáticos estes que penalizam a performance da máquina, apesar disto a operação manteve os resultados constantes e positivos no que nesta semana a máquina percorreu cerca de 60 hectares. Este salto de 20 pontos percentuais na performance representa uma melhoria de aproximadamente 40% na aplicação.

O cultivo de soja no Brasil é comumente associado aos grandes produtores latifundiários, porém, 73% das fazendas que plantam soja tem menos de 50 hectares de área (RURAL, G., 2024a). No Brasil, em fazendas com aplicação de tecnologia apropriada de agricultura de precisão, são produzidas em média 65 sacas de soja por hectare, com o preço da saca atingindo R\$145,82 em 2024 (RURAL, C., 2024) (RURAL, G., 2024b). A média de faturamento de um pequeno produtor rural seria então de

$$50 \times 65 \times 145,82 = R\$473.265,00. \quad (8)$$

À partir do resultado de Equação (8) número podemos estimar o aumento de faturamento por safra utilizando o resultado do teste realizado na fazenda florestal,

Figura 18 – Aplicação por faixa de desvio após o uso do Auto tuning.



Fonte: Autor.

relatado anteriormente. Se for considerado que ao aumentar a eficiência na fertilização em 40% a produtividade total da safra seja impactada positivamente em 20%, o Auto tuning seria responsável por um aumento de aproximadamente R\$95.000,00 no faturamento por safra.

Devido às particularidades dos contratos de prestação de serviços com empresas florestais, a Hexagon é responsável por enviar técnicos para realizar suporte em campo sempre que necessário, implicando que os custos das viagens não podem ser repassados aos clientes. A equipe de suporte florestal, composta por mais de 20 integrantes distribuídos pelo sudeste, sul, centro-oeste e nordeste do Brasil, atende a mais de 100 localidades frequentemente afastadas de grandes centros urbanos. As viagens, longas e cansativas, envolvem deslocamentos que podem ultrapassar centenas de quilômetros. Por exemplo, técnicos baseados na sede da Hexagon em Florianópolis, Santa Catarina, podem se deslocar até Curitiba, a 316 km de distância, em uma viagem de cerca de 4 horas. Esses deslocamentos envolvem custos com aluguel de veículos, combustível e estadia de uma a duas noites em hotéis, somando no mínimo R\$ 1.000 por viagem.

Essas viagens são particularmente comuns no contexto das operações de fertilização florestal, em que o uso das máquinas ocorre diariamente devido às demandas específicas dessa cultura. Esse uso intensivo gera desgaste significativo nas máquinas agrícolas, afetando tanto o sistema hidráulico, que perde pressão e acumula sujeira, quanto as partes mecânicas, em que sistemas de correia e engrenagens são desgastados. Além disso, a troca frequente de tratores e implementos agrícolas exige que os

controladores PID sejam reconfigurados regularmente. É razoável estimar que cada técnico florestal realize ao menos uma viagem mensal para manutenção de máquinas e configuração de controladores PID, resultando em um custo total de cerca de R\$ 20.000 por mês para a Hexagon.

Com a implementação do Auto tuning, essas despesas podem ser significativamente reduzidas. Durante os testes, foi demonstrado que o sistema é intuitivo o suficiente para ser operado pelos próprios operadores locais, com suporte remoto dos técnicos da Hexagon quando necessário. Assim, é possível estimar que metade dos casos de necessidade de reconfiguração de controladores PID pode ser resolvida remotamente com o Auto tuning, enquanto a outra metade ainda demandaria ajustes mecânicos, implicando na presença de um técnico da Hexagon. Considerando os custos de viagem estimados anteriormente, podemos supor que a introdução do Auto tuning resultaria em uma economia mensal estimada de R\$ 10.000 para a Hexagon.

Além da redução de custos, a diminuição na frequência de viagens traz benefícios significativos para a saúde dos técnicos. Longas jornadas em veículos podem causar problemas posturais e danos à coluna, enquanto a exposição prolongada ao ruído de máquinas pesadas, mesmo com equipamentos de proteção individual, pode resultar em perdas auditivas (SAÚDE, 2019). Com o Auto Tuning, não apenas os custos financeiros são reduzidos, mas também se minimizam os impactos negativos sobre a saúde e o bem-estar da equipe técnica, promovendo um ambiente de trabalho mais sustentável e eficiente.

As suposições feitas nesta seção, embora possam não ser tão representativas da realidade, são importantes para analisar o impacto do produto novo, indicando as expectativas e o potencial de ganho.

4.7 DECISÃO SOBRE PRECIFICAÇÃO

Os resultados obtidos indicam que o novo produto trará benefícios econômicos indiretos significativos para a Hexagon, especialmente pela redução de custos operacionais. No entanto, no contexto estratégico que envolve a diretoria, a equipe de engenharia e de Gerenciamento de Produtos, há a expectativa de que o Auto tuning também gere impacto financeiro direto, contribuindo para o aumento do faturamento da empresa.

O Auto tuning é uma funcionalidade nova integrada à solução consolidada de Controle de Fertilização da Hexagon, amplamente reconhecida no mercado. Durante o estágio obrigatório realizado anteriormente pelo autor e relatado em Flesch Laforce (2023), correspondente à elaboração do conceito de produto foi realizada uma pesquisa de mercado que analisou funcionalidades e preços de soluções concorrentes, revelando que sistemas de controle de fertilização são comercializados na faixa de R\$ 15.000 a R\$ 25.000, com a solução da Hexagon posicionada competitivamente dentro

desse intervalo.

Embora o Auto Tuning represente uma inovação significativa, a decisão estratégica tomada pela equipe de Gerenciamento de Produtos e pela equipe de vendas, por sugestão do autor, foi de não reajustar o preço da solução de Controle de Fertilização. Essa escolha baseou-se no fato de que concorrentes relevantes já oferecem funcionalidades semelhantes, o que poderia limitar a receptividade do mercado a um aumento de preço. Dessa forma, o impacto direto esperado no faturamento se dá pelo fortalecimento da competitividade do produto, atraindo novos clientes e ampliando a participação de mercado da Hexagon.

4.8 TREINAMENTOS E GERENCIAMENTO DE INFORMAÇÃO

Para garantir o uso eficaz da nova funcionalidade, a preparação das equipes de suporte técnico da Hexagon é fundamental. Elas precisam estar plenamente cientes da existência do recurso, compreender seu funcionamento e os benefícios esperados, além de estarem aptas a utilizá-lo e a treinarem os clientes. O processo começa com a criação de materiais internos de documentação técnica, que detalham o produto, sua operação, possíveis cenários de aplicação, limitações e resolução de problemas comuns. Esses materiais são distribuídos aos líderes das equipes de suporte técnico, que desempenham um papel estratégico na disseminação do conhecimento.

A Hexagon atua amplamente em vários mercados agrícolas. Neste documento foram relatadas as relações da empresa com clientes do tipo OEM, revendedores e empresas florestais, pois essas foram as empresas relacionadas com o trabalho que deu origem a este documento, porém a Hexagon ainda atua em diversos outros mercados, como o do cultivo da cana-de-açúcar, cultivo de pomares, entre outros. Em todos os ramos em que atua, a Hexagon comercializa a solução de Controle de Fertilização, sendo este um produto indispensável em qualquer que seja a cultura. Esta heterogeneidade de atuação implica na necessidade de uma equipe de suporte técnico igualmente heterogênea, onde o *modus operandi*, a linguagem técnica e os materiais de apoio à montagem e operação dos produtos é também diversa.

A elaboração dos materiais e definição dos planos de treinamento deve ser feita de maneira a adequar à essa heterogeneidade da equipe de suporte, e essas considerações também são levadas adiante para os eventos virtuais de treinamento para as equipes. Esses eventos incluem apresentações teóricas seguidas de demonstrações práticas, onde a funcionalidade é testada em condições controladas que simulam cenários de campo. Durante essas sessões, os participantes têm a oportunidade de interagir com o sistema, esclarecer dúvidas em tempo real e se familiarizar com os procedimentos técnicos necessários para sua operação.

O treinamento das equipes de suporte técnico tem impacto direto não apenas no uso da funcionalidade, mas também na capacitação dos clientes. Os técnicos da

Hexagon são responsáveis por fornecer orientação e treinamento para clientes OEM e revendedores. Isso garante que os operadores das máquinas consigam utilizar a funcionalidade de maneira independente, reduzindo a necessidade de suporte adicional.

Além disso, a Hexagon reconhece a importância de feedback contínuo durante os treinamentos. As sessões são projetadas para coletar insights dos técnicos, identificando eventuais dificuldades ou áreas de melhoria. Esses dados são utilizados para refinar a funcionalidade, atualizar a documentação e ajustar os métodos de treinamento, criando um ciclo contínuo de melhoria.

O treinamento foi realizado de maneira apropriada, dentro das expectativas do que já é executado na Hexagon, que contou com presença de 22 técnicos. Ao final do treinamento, os técnicos responderam um formulário de *feedback*, em que deram notas em vários quesitos do treinamento, sendo que a nota geral do evento foi 9,3/10, indicando que o autor teve sucesso em transmitir os conhecimentos necessários para a correta atuação dos técnicos para manusear o novo produto a ser lançado.

4.9 CAMPANHA DE DIVULGAÇÃO PARA O LANÇAMENTO NO MERCADO

Conforme exposto na Seção 2.7, *Marketing Communication* é um processo essencial para o relacionamento de empresas como a Hexagon com seus clientes. Dentro da estrutura da Hexagon, existe uma equipe específica responsável por praticar as ações de *MarComm*, ressaltando sua importância.

A atuação da equipe de *MarComm* é indispensável no contexto de inovação e lançamento de produtos nos mercados, pois é essa a equipe responsável pela disseminação da informação de novos produtos para os públicos da Hexagon, o que é fundamental para o posicionamento efetivo da empresa e seus produtos no mercado. Nesta etapa de divulgação, o autor novamente toma a posição de coadjuvante, auxiliando a equipe de *MarComm* na criação do material necessário para a divulgação de produtos novos, compartilhando das estratégias do produto, qual o seu público alvo, quais os resultados obtidos nos testes relatados anteriormente neste documento, as possíveis limitações do produto e demais informações necessárias para atingir o público-alvo.

Para o lançamento do Auto tuning, foi idealizada a criação e execução de uma campanha de divulgação sobre o produto novo. Entende-se como campanha uma série de táticas de divulgação projetadas para alcançar um objetivo, sendo este a divulgação da nova funcionalidade da solução de Controle de Fertilização da Hexagon (ACTIVECAMPAIGN, 2024). Campanhas exigem a definição clara de quatro elementos principais: o público-alvo, a mensagem, o conteúdo e os veículos de comunicação.

O conteúdo é baseado nos resultados dos testes de valor mencionados anteriormente, sendo essa etapa relativamente simples de executar. Será utilizado o resultado expressado na comparação das Figuras 17 e 18 como conteúdo principal da

campanha, enfatizando a possível melhoria na aplicação de fertilizantes. É importante enfatizar o uso da palavra "possível" anteriormente, pois os testes realizados que geraram os resultados utilizados como conteúdo desta campanha podem não representar a ampla gama de cenários existentes no mundo da agricultura mecanizada. Este é um fato relevante que também tem que ser levado em consideração para a criação de campanhas, assim, o autor instruiu a equipe de *MarComm* a adicionar as informações necessárias nos materiais de maneira a evitar que os clientes e potenciais clientes criem expectativas irreais quanto ao produto. Embora os testes fossem feitos em empresas específicas, a divulgação não irá utilizar o nome nem qualquer outra informação que possa identificar a empresa nas quais os testes foram identificados.

Já a definição do público-alvo exige um entendimento estratégico do mercado, que inclui analisar a posição da Hexagon junto aos clientes atuais e potenciais, avaliar nossas relações com esses públicos, comparar os produtos da Hexagon com os da concorrência e alinhar as metas da campanha aos objetivos macros da empresa. Para tal, foi escolhido como público-alvo as empresas OEM que já são clientes, e as potenciais clientes. Tal decisão foi baseada em impedimentos de *hardware*, em que os clientes OEM utilizam uma placa de controle numa versão mais atual, e os revendedores usam uma placa incompatível com o *software* do Auto tuning. Foi entendido que neste momento, a divulgação para revendedores levaria a mais problemas do que benefícios com a incompatibilidade presente, e que este caso seria abordado em uma campanha posterior. Dentro das empresas OEM, os funcionários considerados os mais importantes a receber o material foram os líderes das equipes de qualidade e engenharia, que ocupam o mesmo nicho dos profissionais da Hexagon consultados para a criação do conceito de produto, e o público-alvo geral da funcionalidade.

Seguindo a tendência mundial de uso de meios digitais para a divulgação de mensagens, a Hexagon tem ampla experiência no uso de suas páginas em diversas redes sociais para a divulgação de conteúdos. A escolha foi feita então para a campanha ser feita no LinkedIn, em que a plataforma permite o direcionamento do conteúdo para empresas e cargos específicos, estando bem alinhado com a definição de público-alvo.

A mensagem, por sua vez, é construída com base no que a Hexagon espera dos consumidores ao engajar com a campanha, e ela ajudará a moldar o conteúdo para garantir tal expectativa. Considerando as características dos público-alvo, clientes e potenciais clientes OEMs, a mensagem definida foi pensada na "evangelização" dos clientes, de maneira a melhorar a sua relação com a Hexagon ao lançar uma funcionalidade nova que impacta diretamente a atuação destes. Para os potenciais clientes, a mensagem escolhida foi de aprimorar o engajamento destes com a marca da Hexagon e os produtos por ela oferecidos, de maneira a aprimorar a imagem dela com estes.

A definição destes quatro fatores é o máximo de envolvimento do membro da equipe de Gerenciamento de Produtos neste processo, a partir deles a equipe

de *MarComm* prossegue na criação dos conteúdos de divulgação e a divulgação propriamente dita.

4.10 LANÇAMENTO OFICIAL DO NOVO PRODUTO

Por sugestão do autor, as equipes de Gerenciamento de Produtos e Engenharia decidiram lançar o produto em novembro de 2024, disponibilizando a atualização necessária aos *displays* para todos os clientes, após a conclusão das etapas descritas neste capítulo.

5 ANÁLISE DE RESULTADOS OBTIDOS

A partir do gerenciamento do lançamento novo produto descrito no capítulo anterior , vamos agora analisar os resultados obtidos.

5.1 CONSISTÊNCIA NO DESENVOLVIMENTO PELA EQUIPE DE ENGENHARIA

Ao longo do ciclo de desenvolvimento pela equipe de engenharia, foram encontrados uma série de empecilhos que dificultaram o desenvolvimento do Auto tuning. Ocorreram vários problemas devido a falha humana na criação do algoritmo, houveram impedimentos quanto à capacidade de memória do *display* e dificuldades de integração com o *hardware* atualmente utilizado pela Hexagon. Os sistemas dinâmicos no qual o Auto tuning foi testado eram de difícil identificação pelo sistema desenvolvido, muitas vezes devido às condições adversas nas quais as máquinas se encontravam. Houve ram dúvidas quanto a viabilidade da implementação no caso geral. Porém, devido aos esforços da equipe de engenharia, equipe de testes e do autor deste documento, o Auto tuning foi implementado com êxito, conseguindo se adequar aos problemas que surgiram.

Através dos testes descritos nas Seções 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6, tais problemas foram identificados de forma relativa rápida, e devido aos conhecimentos em controle de processos dos membros da equipe de testes e do autor, tais problemas foram comunicados de forma efetiva para a equipe de engenharia, para que fizessem as correções e alteções necessárias.

O design do produto manteve-se constante da sua concepção à entrega final do produto pela equipe de engenharia.

5.2 DIMINUIÇÃO NO TEMPO DE CONFIGURAÇÃO DOS CONTROLADORES

Pode-se afirmar que a redução do tempo de configuração dos controladores é um objetivo de igual relevância quando comparado aos demais ganhos de eficiência esperados com a introdução do Auto tuning. Além de melhorar diretamente a produtividade, essa redução também promove impactos positivos no bem-estar dos técnicos de suporte da Hexagon, que frequentemente trabalham em condições adversas e em proximidade constante com máquinas agrícolas pesadas.

A operação de tais máquinas expõe os técnicos a níveis elevados de ruído, que, mesmo com o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), pode causar danos auditivos cumulativos ao longo do tempo. Adicionalmente, os técnicos enfrentam riscos significativos de segurança, incluindo atropelamentos ou lesões decorrentes de falhas mecânicas ou erros humanos. A simplificação e automação do processo de configuração não apenas mitigam esses riscos, mas também aumentam a satisfação

e a retenção desses profissionais. Técnicos que enfrentam menos estresse e riscos no trabalho são mais propensos a permanecer na empresa, reduzindo a rotatividade e os custos associados a afastamentos ou processos trabalhistas.

Os impactos dessa melhoria não se restringem aos profissionais de suporte, mas reverberam positivamente na reputação e no posicionamento de mercado da Hexagon. A introdução de soluções que simplifiquem o uso dos produtos e aumentem a segurança operacional fortalece a percepção de inovação e compromisso da empresa com a excelência. Clientes valorizam empresas que demonstram cuidado não apenas com a eficiência técnica, mas também com o bem-estar dos profissionais que operam e dão suporte aos seus equipamentos.

Na Seção 4.5, foram apresentados os resultados que demonstram a eficácia do Auto tuning na redução do tempo de configuração. Antes da introdução da funcionalidade, o tempo médio para ajustar os controladores era de aproximadamente 2 horas e 50 minutos (170 minutos). Com a nova ferramenta, os testes de campo mostraram uma redução impressionante de 94%, com o tempo de configuração diminuído para apenas 10 minutos. Esses dados confirmam que o Auto tuning não apenas cumpre o objetivo proposto em termos de economia de tempo, eficiência operacional e impacto positivo na qualidade de vida dos profissionais envolvidos.

5.3 CONFIABILIDADE DOS GANHOS ENCONTRADOS PELO AUTO TUNING

Como mencionado anteriormente, o Auto tuning, desenvolvido para a configuração de controladores PID em sistemas dinâmicos, opera em um contexto repleto de variáveis e possibilidades. A diversidade de condições operacionais, características das máquinas e especificidades dos sistemas dinâmicos envolvidos torna inviável contabilizar todas as combinações possíveis de comportamento do sistema. Embora a equipe de engenharia tenha priorizado a robustez no design, há fatores externos, como variabilidades mecânicas, hidráulicas e ambientais, que podem impactar a resposta dinâmica de forma imprevisível.

Para mitigar essas incertezas, foi implementado um sistema de filtragem que avalia os ganhos gerados durante a rotina do Auto tuning. Esse sistema descarta automaticamente combinações que não atendem aos critérios mínimos de desempenho, garantindo que os ganhos finais sejam confiáveis o suficiente para aplicações práticas de fertilização. Assim, mesmo em cenários adversos, o Auto tuning é capaz de fornecer parâmetros que assegurem o desempenho esperado, minimizando a necessidade de intervenção manual.

Os testes apresentados nas Seções 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5 confirmaram a eficácia dessa abordagem. Os resultados demonstraram que a ferramenta não apenas completa suas rotinas de forma consistente, mas também apresenta alta adaptabilidade a uma ampla variedade de máquinas agrícolas atualmente disponíveis no mercado.

Esses resultados indicam que o Auto tuning está preparado para lidar com a maioria dos cenários esperados no setor.

Além disso, a confiança gerada pelos testes foi essencial para convencer os *stakeholders* de que o produto está pronto para lançamento. O autor, com base nos dados obtidos, conseguiu demonstrar que o sistema é confiável e capaz de atender boa parte do mercado-alvo. Para os casos excepcionais em que o Auto tuning possa não atender plenamente às expectativas, a equipe de engenharia já está preparada para absorver as informações necessárias para a adaptação no produto.

5.4 AUMENTO NA EFICIÊNCIA NA APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES

Este objetivo foi definido sem grandes expectativas quanto à magnitude da melhoria. Embora o autor e as equipes envolvidas acreditassem no potencial do Auto tuning para aprimorar a aplicação, não foi possível quantificar com precisão as possíveis melhorias.

O resultado obtido na Seção 4.5, portanto, se mostrou ainda mais significativo e satisfatório. Embora, até a finalização deste documento, o teste tenha sido realizado em apenas uma máquina, o desempenho consistente desta máquina foi suficiente para todas as partes envolvidas no desenvolvimento do Projeto Camaleão considerarem o objetivo alcançado com êxito.

5.5 IMPACTO DA FERRAMENTA NO DIA-A-DIA DA EQUIPE TÉCNICA DA HEXAGON

Até o momento em que este documento foi finalizado, a empresa ainda não havia conseguido analisar esses impactos, pois o lançamento do produto foi algo recente, então não foi possível coletar dados para a análise efetiva a longo prazo.

5.6 CONFECÇÃO DE DOCUMENTAÇÕES E TREINAMENTOS PARA A EQUIPE TÉCNICA DA HEXAGON

Conforme mencionado anteriormente neste documento, a instrução dos técnicos sobre o uso da nova funcionalidade é essencial para o sucesso de seu lançamento. A falta de treinamento comprometeria o suporte ao produto, prejudicando a imagem da Hexagon no mercado e afetando a confiança dos clientes na capacidade da empresa de oferecer soluções eficazes.

Para tal, o treinamento prestado pelo autor se mostrou eficiente para a disseminação da informação sobre a nova funcionalidade. Como visto na Seção 4.7, os técnicos tiveram uma reação boa para o treinamento realizado pelo autor. Como mostrado anteriormente, a nota geral do treinamento foi 9.3/10 em 20 respostas.

Paralelamente, os documentos necessários foram criados seguindo a metodologia da empresa e foram considerados, por todas as equipes envolvidas, como satisfatórios.

5.7 PLANO DE DIVULGAÇÃO DA FERRAMENTA NOVA

O plano de divulgação pode ser considerado como um dos pontos mais importantes no processo de lançamento de novos produtos. Todos os resultados esperados com o lançamento do Auto tuning serão alcançados apenas com a forte disseminação do mesmo no mercado, de modo que todos que possam ver esta ferramenta como um diferencial da Hexagon estejam bem informados.

O autor atuou de maneira eficiente dentro dos processos já mapeados na Hexagon, entregando as informações necessárias para que a equipe de *MarComm* seja capaz de criar o plano de divulgação.

Até o momento que este documento foi finalizado, nenhuma divulgação foi realizada, porém, todas as peças estão em posição para que seja realizado no momento em que foi planejado, ao final de dezembro.

5.8 IMPACTOS FUTUROS ESPERADOS

O Auto tuning foi lançado oficialmente em novembro de 2024, tornando-se parte integrante de todas as vendas do produto de Controle de Fertilização da Hexagon. Novos clientes já receberão essa funcionalidade, permitindo-lhes usufruir dos benefícios previstos, como a facilidade de configuração dos controladores PID e a melhora no desempenho de suas máquinas agrícolas. Entretanto, é esperado um atraso na adoção do novo produto por parte dos clientes que já possuem o Controle de Fertilização instalado. Esse atraso se deve à baixa permissividade de usuários em campo para adotar novas versões de *software* dos *displays* da Hexagon, o que pode dificultar a disseminação imediata dos benefícios do Auto tuning entre a base de clientes existente. Ainda assim, com o tempo, espera-se que todos os clientes que tenham acesso à funcionalidade aproveitem as vantagens oferecidas pela solução.

No Brasil e em outras partes do mundo, feiras agrícolas desempenham um papel fundamental na divulgação de inovações tecnológicas no setor. A Agrishow, uma das maiores feiras do ramo, contou com mais de 195 mil participantes qualificados em sua edição de 2024 e reuniu cerca de 8.000 marcas, incluindo empresas como a Hexagon, fabricantes de tratores como a John Deere e fornecedores de implementos agrícolas como a MP Agro (AGRISHOW, 2024). Esses eventos são uma oportunidade estratégica para a Hexagon apresentar o Auto tuning ao público, destacando não apenas suas funcionalidades, mas também os resultados positivos alcançados por clientes que já adotaram a solução. Testemunhos de usuários e demonstrações práticas po-

dem ajudar a consolidar a percepção do mercado sobre o impacto do Auto tuning na agricultura de precisão.

Por meio dessas iniciativas, a Hexagon busca fortalecer sua marca no setor de agricultura de precisão, atrair novos clientes para seu portfólio de produtos e aumentar seu faturamento e lucro. Esses resultados financeiros, por sua vez, podem ser reinvestidos em pesquisa e desenvolvimento, fomentando a criação de novas tecnologias e mantendo a posição da empresa como líder em inovação no setor agrícola.

6 CONCLUSÃO

A agricultura contemporânea lida com desafios multifacetados, que englobam desde a crescente demanda por alimentos até questões ambientais e a limitação de recursos naturais. Dentro desse cenário, a agricultura de precisão se destaca como uma estratégia inovadora e eficaz, projetada para enfrentar tais desafios por meio da incorporação de tecnologias avançadas e da melhoria na eficiência dos processos. A Hexagon, como empresa que oferece soluções de agricultura de precisão, está sujeita a um mercado extremamente competitivo, e para conseguir prosperar neste, destina recursos consideráveis na inovação de seu portfólio. As deficiências na questão da configuração de controladores PID na solução de Controle de Fertilização da Hexagon representavam problemas sérios que impactavam diretamente o posicionamento da empresa neste mercado, colocando em risco a saúde financeira da empresa pelo fato de clientes deixarem de comprar a solução da Hexagon por preferir possíveis soluções mais completas de concorrentes. Diante deste cenário, a empresa investiu recursos na equipe de Gerenciamento de Produtos para solucionar os problemas que ainda persistiam na solução de Controle de Fertilização. Os membros da equipe de Gerenciamento de Produtos então utilizou de suas ferramentas de *Product Discovery* para propor uma nova funcionalidade que solucionaria os problemas existentes, uma nova ferramenta a ser integrada nas soluções atuais da Hexagon para sintonizar automaticamente os controladores PID utilizados nos produtos da empresa, que ficou conhecido como Auto tuning. O autor, atuando junto à equipe de Gerenciamento de Produto da empresa, definiu os requisitos funcionais do novo produto e, juntamente da equipe de design da empresa, criou o protótipo da nova funcionalidade, formalizando o conceito do produto a ser desenvolvido.

Este trabalho abordou as etapas necessárias para o lançamento do Auto tuning no mercado à partir do trabalho feito para a criação do conceito de produto elaborado pelo autor ao longo do estágio realizado anteriormente e descrito em Flesch Laforce (2023). O processo do desenvolvimento da funcionalidade nova pela equipe de engenharia, a primeira etapa deste trabalho, com apoio do autor mostrou-se de grande dificuldade e complexidade. Criar uma funcionalidade que ao mesmo tempo deve ser precisa e abrangente exigiu das partes envolvidas criatividade para solucionar os problemas encontrados e disciplina para garantir que os resultados da ferramenta fossem confiáveis, sendo necessário comprovar a confiabilidade para evitar retrabalhos futuros com problemas sendo encontrados pelos clientes. Após averiguar que o Auto tuning era confiável, o autor realizou testes e estudos para estimar o impacto financeiro que a nova funcionalidade teria para os clientes e para a empresa, e concluiu que os resultados seriam satisfatórios para ambos. O autor realizou treinamentos para a equipe técnica da Hexagon e criou os documentos necessários para que estes estivessem ap-

tos para utilizar a nova funcionalidade corretamente e sejam capazes de transmitir este conhecimento para terceiros, caso necessário. Por fim, o autor atuou junto da equipe de MarComm para criar o plano da campanha de divulgação da nova funcionalidade para que todas as partes do mercado, que foram julgadas necessárias, estivessem cientes do lançamento da nova funcionalidade. Através da completude destas etapas, o autor criou um cenário confortável para o lançamento do novo produto, garantindo que o Auto tuning será capaz de cumprir sua função como planejado, que ele trará bons resultados a todos, que a equipe técnica saberá utilizar e apoiar quem utilizar, e que os clientes entendam que esta funcionalidade existe. Com o lançamento do Auto tuning, espera-se que a Hexagon melhore sua posição no mercado altamente competitivo de agricultura de precisão, e que a solução de Controle de Fertilização tenha resultados financeiros ainda melhores, aumentando o faturamento e lucro da empresa, levando ela a ter mais orçamento para o investimento em novos projetos de inovação dentro dela.

Para trabalhos futuros, sugere-se o estudo mais aprofundado em outras técnicas matemáticas para a identificação do sistema dinâmico e cálculo de ganhos. Embora os métodos utilizados se mostraram efetivos, a grande variedade de métodos conhecidos no mundo acadêmico pode se mostrar positiva para a ampliação desta ferramenta. Também sugere-se expandir o uso do Auto tuning para outras soluções que utilizam controladores PID da Hexagon, e até mesmo o desenvolvimento de uma versão do Auto tuning para controladores diferentes do PID que também são utilizados pela empresa. Tal ampliação seria extremamente benéfica para a Hexagon, visto que os resultados descritos neste documento possivelmente se replicariam nos diversos outros cenários de soluções da empresa.

REFERÊNCIAS

123ECO. **Evolução da Agricultura: História e Desenvolvimento**. [S.l.: s.n.], n.d.

Acessado em: 01 dez. 2024. Disponível em:

<https://123ecos.com.br/docs/evolucao-da-agricultura-historia/>.

ACTIVECAMPAIGN. **O que é campanha de marketing?** Acessado em: 19 nov. 2024.

2024. Disponível em:

<https://www.activecampaign.com/br/glossary/campanha-de-marketing>.

AGRISHOW. **Agrishow - Feira Internacional de Tecnologia Agrícola em Ação**.

Acessado em: 19 nov. 2024. 2024. Disponível em:

<https://www.agrishow.com.br/pt/home.html>.

ARAKI, M. PID control. **Control Systems, Robotics and Automation: System Analysis and Control: Classical Approaches II**, EOLSS Publishers Co., Ltd. Oxford, UK, p. 58–79, 2009.

COELHO, Antônio Marcos. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005., 2005.

FLESCH LAFORCE, André. **Desenvolvimento de conceito de produto para um sintonizador automático dos parâmetros de controle de máquinas agrícolas de fertilização à lanço**. [S.l.], 2023. Relatório submetido à Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a aprovação na disciplina DAS 5501 Estágio em Controle e Automação Industrial do curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação. Orientador: Hector Bessa Silveira.

FRANKLIN, Gene F; POWELL, J David; EMAMI-NAEINI, Abbas. **Feedback control of dynamic systems**. [S.l.]: Pearson London, 2015. v. 33.

FREITAS ZUFFO, Matheus David de; SILVA, Edson Roberto da. ESTUDO DO DESGASTE EM COMPONENTES DE IMPLEMENTO AGRÍCOLA LANÇO.

HEXAGON. **HxGN AgrOn Auto Steering**. Acessado em: 19 nov. 2024. 2024.

Disponível em: <https://hexagon.com/products/hxgn-agron-auto-steering>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. [S.l.: s.n.], 2024. Acessado em: 01 dez. 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>.

INVESTIMENTOS, XP. **O agronegócio no desenvolvimento global e nos investimentos**. [S.l.: s.n.], 2024. Acessado em: 01 dez. 2024. Disponível em: <https://conteudos.xpi.com.br/>.

JOHNSON, Michael A; MORADI, Mohammad H. **PID control**. [S.l.]: Springer, 2005.

KOTLER, Philip; BURTON, Suzan; ADAM, Stewart; BROWN, Linden; ARMSTRONG, Gary. **Marketing**. 7th. [S.l.]: Pearson Education Australia, 2007.

MOLIN, José Paulo; AMARAL, Lucas Rios do; COLAÇO, André. **Agricultura de precisão**. [S.l.]: Oficina de textos, 2015.

MORAES, Cícero Couto de; LADRO CASTRUCCHI, Plínio de. **Engenharia de Automação Industrial**. [S.l.]: Editora Gen, 2007. P. 118–120.

MP AGRO. **Taurus 12 - Equipamento de Agricultura de Precisão**. [S.l.: s.n.], n.d. Acessado em: 01 dez. 2024. Disponível em: <https://mpagro.com.br/produto-taurus12/>.

MÜNCH, Jürgen; TRIEFLINGER, Stefan; HEISLER, Bernd. Product discovery—building the right things: Insights from a grey literature review. *In*: IEEE. 2020 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC). [S.l.: s.n.], 2020.

NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL. **Relatório da ONU pede mudanças na forma como o mundo produz e consome alimentos**. [S.l.: s.n.], 2024. Acessado em: 01 dez. 2024. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/>.

NORMEY-RICO, Julio E; CAMACHO, Eduardo F. ENSINO DO PROJETO DE COMPENSADORES PARA PROCESSOS COM ATRASO, 1998.

RURAL, Compre. **Quantas sacas de soja se produz por hectare?** Acessado em: 19 nov. 2024. 2024. Disponível em: <https://www.comprerural.com/quantas-sacas-de-soja-se-produz-por-hectare/>.

RURAL, Globo. **Pequenas propriedades concentram cultivo de soja no país.**

Acessado em: 19 nov. 2024. 2024a. Disponível em:

<https://globorural.globo.com/agricultura/soja/noticia/2024/06/pequenas-propriedades-concentram-cultivo-de-soja-no-pais.ghtml>.

RURAL, Globo. **Preço da soja no Brasil chega ao maior patamar de 2024.**

Acessado em: 19 nov. 2024. 2024b. Disponível em:

<https://globorural.globo.com/agricultura/soja/noticia/2024/11/preco-da-soja-no-brasil-chega-ao-maior-patamar-de-2024.ghtml>.

SARAIVA, Antonio Mauro; CUGNASCA, Carlos Eduardo; HIRAKAWA, André Riyuiti. Aplicação em taxa variável de fertilizantes e sementes. **BORÉM, A.; GIÚDICE, MP; QUEIROZ, DM; MANTOVANI, EC**, p. 109–145, 2000.

SAÚDE, iG. **Precisa dirigir muito? Veja como evitar danos à coluna e problemas de saúde.** Acessado em: 19 nov. 2024. 2019. Disponível em:

<https://saude.ig.com.br/2019-07-25/precisa-dirigir-muito-veja-como-evitar-danos-a-coluna-e-problemas-de-saude.html>.

SCHUELLER, John K.; WANG, Min-Wen. Spatially-variable fertilizer and pesticide application with GPS and DGPS. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 11, n. 1, p. 69–83, 1994. Global Positioning Systems in Agriculture.

SFREDO, Gedi Jorge. **Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral.** [S.l.]: Embrapa Soja Londrina, 2008.

SILVA, Ednaldo Cirino da; VEIGA, Lara Lorrana dos Santos;

ANTUNES, Milena Antunes Tupiná Vieira; NASCIMENTO, Vanessa Daiane Alves do. O uso de fertilizantes e seus impactos ambientais. 042, 2021.

STEFFENS, Guillaume. **Critérios SMART: Tornar-se mais bem sucedido através do estabelecimento de melhores objectivos.** [S.l.]: 50Minutos. es, 2023.

TOMŠE, Denis; SNOJ, Boris. Marketing communication on social networks: Solution in the times of crisis. **Marketing**, v. 45, n. 2, p. 131–138, 2014.