



PROJETO DE UM SISTEMA DE DETECÇÃO DE BLOQUEIO DE FLUXO DE FERTILIZANTE SÓLIDO EM IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS

Edson Manoel da Silva¹, Fernando Pedro Henriques de Miranda²

Resumo: Este artigo apresenta o projeto de um sistema de detecção de bloqueio de fluxo de fertilizante sólido para utilização em implementos agrícolas.

No Brasil predomina como prática de agricultura de precisão o controle da quantidade de adubo aplicada nas lavouras, para melhorar a produtividade e diminuir custos. Para isso utiliza-se a aplicação de fertilizante em taxas variáveis. Neste contexto de aplicação em taxas variáveis, alguns problemas podem ser resolvidos por produtos eletrônicos, tais como: detecção de um bloqueio parcial ou total, ou congestionamento da linha de fertilização; medição ou estimativa da taxa ou massa de fertilizante sólido aplicado por segundo; medição ou estimativa da taxa ou massa de fertilizante sólido aplicado por hectare. Portanto, este trabalho busca resolver o problema da detecção do bloqueio parcial ou total, ou ainda congestionamento, em linhas de fertilização.

O projeto deste produto é realizado utilizando a metodologia de projeto de produto PRODIP. As etapas da metodologia abordadas no artigo são de Planejamento e Projetação. A etapa de Projetação contempla o Projeto Informacional, Projeto Conceitual e Projeto Preliminar.

Os testes com a tecnologia de transdutor escolhida mostraram uma boa precisão para detectar o bloqueio do fluxo de fertilizantes e também para estimar o fluxo de fertilizante em gramas por segundo. São apresentados como resultado do artigo os esboços da *Printed Circuit Board* (PCB) e do Gabinete do produto na etapa de Projeto Preliminar.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão, bloqueio de fluxo, fluxo de fertilizantes sólidos

Abstract: *This article presents the design of a solid fertilizer flow blockage detection system for use in agricultural implements. In Brazil, the control of the amount of fertilizer applied to crops predominates as the main practice of precision agriculture, to improve productivity and decrease costs. For this, variable rates are used for the application of fertilizer. In this context of application at variable rates, some problems can be solved by electronic products, such as detection of partial or total blockage, or congestion of the fertilization line; measuring or estimating the rate or mass of solid fertilizer applied per second; measuring or estimating the rate of solid fertilizer applied per hectare. Therefore, this project aims to solve the problem of blockage detection in solid fertilizer lines.*

The product design is done adapting the PRODIP product design methodology developed by UFSC's Integrated Product Development Center (nedip). The steps covered in the article are Planning and Designing. The Designing stage includes the Informational Project, Conceptual Project and Preliminary Project.

Tests with the chosen transducer technology showed good accuracy to detect the blockage of fertilizer flow and also to estimate the flow of fertilizer in grams per second. As a result of the article, the drafts of the PCB and the product enclosure are presented.

Keywords: *Precision Agriculture, flow blockage, solid fertilizer flow.*

¹ Engenheiro Eletrônico, IFSC/Florianópolis <Edson.eelen@gmail.com>

² Professor do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), IFSC/Florianópolis <fernando.miranda@ifsc.edu.br>

1. INTRODUÇÃO

A Agricultura de Precisão (AP) consiste de estratégias que podem ser utilizadas em atividades agrícolas para aumentar a produtividade e otimizar o uso de recursos (DE RESENDE, 2010). De maneira prática, envolve a coleta e processamento de informações buscando entender que a área de cultivo é heterogênea, onde a aplicação de insumos deve ser feita considerando taxas variáveis no espaço e no tempo (ARTUZO et al, 2017). Com a popularização de sistemas embarcados nos últimos anos, a tecnologia vem sendo um aliado na coleta e processamento de dados para a aplicação de AP.

No Brasil, a prática de AP predominantemente utilizada é o gerenciamento da adubação das lavouras (MOLIN, 2017). Isto é realizado, principalmente, através da técnica de AP conhecida como Aplicação de Taxa Variável (ATV). Utilizando a ATV é possível racionalizar os insumos aplicados no solo, aumentar a produtividade, explorar as características heterogêneas do terreno, causar uma menor agressão ao solo e, conseqüentemente, um menor impacto ambiental.

Nesse contexto da ATV de fertilizantes sólidos, alguns problemas podem ser resolvidos por produtos eletrônicos, tais como:

- Detecção de um bloqueio parcial ou total, ou congestionamento da linha de fertilização;
- Medição ou estimativa da taxa ou massa de fertilizante sólido aplicado por segundo;
- Medição ou estimativa da taxa ou massa de fertilizante sólido aplicado por hectare.

Portanto, este trabalho busca resolver o problema da detecção do bloqueio parcial ou total, ou ainda congestionamento, em linhas de fertilização. A resolução deste problema se dará através do projeto de um produto eletrônico utilizando metodologias e conhecimentos estudados no curso de Pós Graduação em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC).

1.1. Objetivos

Os objetivos do trabalho podem ser separados entre o Objetivo geral e os Objetivos Específicos, conforme descrito a seguir nos tópicos 1.1.1 e 1.1.2.

1.1.1. Objetivo geral

- O objetivo geral é de desenvolver um produto que será um sistema de detecção de bloqueio de fluxo de fertilizante sólidos.

1.1.2. Objetivos específicos

- Aplicar a metodologia de desenvolvimento de produto PRODIP, estudada na disciplina de Introdução ao Projeto de Desenvolvimento de Produto durante o curso de Pós Graduação de Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos no IFSC - Câmpus Florianópolis Mauro Ramos;
- Projetar uma versão preliminar do produto em no máximo 10 meses.

1.2. Justificativa

O desenvolvimento deste produto vai de encontro a uma demanda identificada enquanto trabalhando no setor de tecnologia para Agricultura de precisão. Percebeu-se essa demanda principalmente da área de Agricultura Florestal. Além disso, notou-se que algumas aplicações de ATV não possuem um sensor capaz de fornecer um *feedback* da taxa de fluxo de fertilizante, sendo necessária uma calibração para cada tipo de fertilizante utilizado. Por fim, a principal justificativa foram os problemas percebidos nas soluções comerciais disponíveis que serão discutidas a seguir.

1.2.1. Problemas das soluções atuais

Os produtos comerciais para detecção do bloqueio do fluxo de fertilizante sólidos utilizam em geral tecnologias como sensores ópticos, fluxômetros, sensores capacitivos, sensores de vibração ou microfones (YAN, 1996).

Como citado por Yan (1996), os sensores ópticos tem a exigência de que a janela de medição seja transparente. Por esse motivo apresentam a problemática de serem altamente influenciados por poeira e camadas de sujeira que podem se depositar no campo de visada do sensor óptico. Os fluxômetros por sua vez, são sensores invasivos, que podem aumentar a ocorrência de bloqueios e entupimentos no fluxo de fertilizantes sólidos, agravando o problema que se deseja resolver. No caso do sensor por vibração ou microfone, o problema é que esses sensores não conseguem diferenciar qual material está passando (pedra, sujeira, semente ou fertilizante). Além disso, com estes sensores a estimativa do fluxo de material é mais imprecisa e difícil de ser realizada (YAN, 1996). Por fim, esses sensores podem sofrer interferência de vibrações externas. Ainda segundo Yan (1996), os sensores capacitivos tem a única vantagem de serem mais baratos que as outras

tecnologias. Em contrapartida, possuem problemas de baixa sensibilidade, variações com a temperatura, erros devido a variações da permissividade do meio e umidade. Assim, faz-se necessário o desenvolvimento de um produto não invasivo e robusto ao ambiente hostil de funcionamento.

Além desses problemas de tecnologia citados, hoje os modelos mais simples de produto apenas geram como saída um sinal *pulse width modulation* (PWM) via cabo. Entretanto, o rompimento de cabos é o principal problema da falha destes sensores segundo técnicos de campo. Estes rompimentos se dão por erros de instalação ou corrosão causada por alguns tipos de fertilizantes sólidos. Portanto, faz-se necessário o desenvolvimento de um produto que também resolva estes problemas.

1.2.2. Impacto sócio-ambiental

O projeto deste produto irá proporcionar um melhor controle e aproveitamento dos insumos agrícolas utilizados em plantações de diferentes culturas, gerando uma economia para o produtor e otimizando a produção agrícola. A otimização por sua vez, permite aumentar a produtividade com um menor impacto ambiental.

1.3. Metodologia

A metodologia de desenvolvimento de produto utilizada é o modelo PRODIP do Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos (nedip) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), descrito por Carpes (2014) e trabalhado na disciplina de Introdução ao Projeto de Desenvolvimento de Produtos. Neste trabalho será feita a execução da fase "Projeção", conforme mostrado na Figura 1.



Figura 1: Fases de planejamento e projeção. Fonte: Adaptado de BACK et al., 2008

As etapas da fase de "Projeção" contempladas neste trabalho foram: o Projeto Informacional onde são levantados os requisitos; o Projeto Conceitual onde são avaliadas soluções para os requisitos; e o Projeto Preliminar onde se determina a configuração do produto utilizando as soluções escolhidas.

2. PROJETO INFORMACIONAL

O Projeto Informacional é a fase do desenvolvimento responsável por identificar as características desejadas do produto (CARPES JR, 2014). Neste trabalho, esta etapa foi dividida em: Definição do problema; Definição do produto; Estudo de mercado; Concorrentes; Requisitos e restrições do projeto; e Especificações do produto.

2.1. Definição do problema

Para que haja uma distribuição uniforme e sem deficiências de adubo na área do plantio, é preciso uma deposição eficiente de fertilizantes no solo (ARTUZO et al, 2017). Na aplicação de fertilizantes sólidos, devido ao acúmulo de sujeira e umidade nas tubulações, é comum o entupimento das linhas de adubo, ocasionando falhas indesejadas que atrapalham a distribuição uniforme do adubo no solo.

Dessa forma, o problema principal a ser resolvido é o da detecção do bloqueio ou congestionamento de fluxo de fertilizantes sólidos de forma não invasiva sem sofrer interferência de poeira, sujeira e vibrações externas.

Um problema secundário a ser resolvido, como mencionado na seção de justificativa, é o problema da falta de *feedback* em sistemas ATV. Assim, o produto resolve este problema fornecendo uma estimativa de quantas gramas de fertilizante que flui na tubulação por segundo. É possível então, a partir dessa grandeza estimada completar o *loop* de controle, permitindo uma aplicação variável de acordo com as necessidades do solo totalmente automatizada sem necessidade de calibração do sistema ATV.

2.2. Definição do produto

O produto a ser desenvolvido é um sistema eletrônico, que será composto por diferentes módulos operando em conjunto para resolver os problemas definidos em 2.1. Ele irá atender a necessidade encontrada em campo em operações de fertilização, sendo instalado em implementos agrícolas de fertilização, como mostrado nas Figura 2, 3 e 4.



Figura 2: Implemento agrícola arado. Fonte: <https://www.irrigat.com.br/implementos-agricolas-tipos/>



Figura 3: Implemento agrícola semeador.
Fonte: <https://saojoseindustrial.com.br/produtos>



Figura 4: Implemento agrícola adubador.
Fonte: <https://weekstractor.net/fertilizer-spreader-la/>

Como já mencionado na seção 1.2 e detalhado na seção 2.4 a seguir, embora já existam algumas soluções para essa necessidade, as atuais apresentam imprecisões, falhas, alto custo e problemas decorrentes da alta corrosividade dos fertilizantes sólidos utilizados na agricultura.

Mais que isso, os sensores atuais não são capazes de fornecer uma estimativa da taxa de adubo aplicado em quilogramas por segundo (kg/s), não sendo possível fazer um *loop* completo de controle em aplicações da taxa variável.

Portanto, a função global do produto é de detectar o bloqueio do fluxo de adubo, sabendo discernir entre o bloqueio de fato ou a ausência de fluxo quando a máquina não estiver em operação. Uma vez detectado o bloqueio do fluxo, o produto precisa transmitir essa informação ao computador de bordo da cabine utilizando alguma tecnologia de comunicação de dados, seja ela por fio ou sem fio. Além disso, o produto terá a função de estimar a taxa de adubo aplicado (kg/s) e transmitir essa informação ao computador de bordo.

O produto desenvolvido precisa ser totalmente automático, sem necessidade da intervenção humana para operação, de forma que o operador apenas receba o alerta no seu computador de bordo do bloqueio de fluxo. Finalmente, deve ser de fácil instalação, sem necessidade de manutenção frequente e, conseqüentemente, com um gabinete robusto ao ambiente severo de operação e a corrosão causada pelos fertilizantes.

2.3. Estudo do mercado

A excelência das atividades na agricultura é sempre uma busca incessante, pois a lucratividade deste setor depende diretamente da otimização da produtividade. A tecnologia é um grande aliado na otimização de processos e atividades no campo. Uma pesquisa realizada pela maior pesquisadora de mercados do mundo (RESEARCH AND MARKETS, 2019), apontou uma expectativa de crescimento do mercado de *Internet of Things* (IoT) para Agricultura de 12,7 Bilhões de dólares em 2019 para 20,9 bilhões em 2024, uma taxa média de crescimento anual de 10% para o setor no período. O estudo ainda aponta, que os mercados das Américas são esperados para serem os mercados dominantes dentre a expectativa de crescimento de IoT na agricultura. O Brasil é apontado (RESEARCH AND MARKETS, AGOSTO DE 2018) como um dos países que irá mostrar o crescimento mais rápido do mercado de Agricultura de Precisão. Isso é explicado devido ao imenso escopo para desenvolvimento, resultado da crescente penetração da internet nas áreas agrícolas e o espaço para melhoria de produtividade das atividades agrícolas brasileiras. Ou seja, a agricultura brasileira ainda utiliza pouco a tecnologia para otimizar sua produção. Um outro estudo prevê (RESEARCH AND MARKETS, MAIO DE 2018), que a ATV é a tecnologia que mais crescerá no mercado de Agricultura de Precisão durante o período de 2018 a 2023.

Estes estudos mostram não apenas o mercado disponível no Brasil e América do Sul, que é uma região carente e ainda em crescimento na utilização de tecnologias no campo, mas também o aumento da consciência de que o uso de técnicas de ATV são essenciais para melhorar a produtividade no campo. É nesse contexto e mercado que está inserido o produto a ser desenvolvido neste trabalho, que poderá otimizar as atividades no campo detectando bloqueios de fluxo, como também contribuir com sistemas ATV gerando estimativas do fluxo de fertilizante para uma melhor gestão dos insumos aplicados no solo.

Os potenciais clientes vão desde adeptos da agricultura familiar, comuns na região do estado de Santa Catarina, até grandes *players* do mercado

sucroenergético e de celulose do Brasil, tais como Usina São Martinho, Adecoagro, Raízen e Suzano.

2.4. Concorrentes

Os principais concorrentes atualmente se concentram no mercado norte americano, o pioneiro na utilização de tecnologia para agricultura de precisão. Dentre os concorrentes do mercado Norte Americano destaca-se a Dickey John, que aposta na tecnologia de sensores ópticos. No mercado nacional, o principal fabricante é a J.Assy, que desenvolveu um sensor sem fio com detecção sonora.

2.4.1. Mercado Nacional

2.4.1.1 Visum Adubo - J.Assy

A Figura 5 apresenta o sensor comercial Visum Adubo, da empresa brasileira J.Assy.



Figura 5: Sensor de detecção do bloqueio de fluxo de adubo Visum J.Assy. Fonte: <http://www.jassy.com.br/visum-adubo/>

Este produto tem como vantagens utilizar comunicação sem fio, autonomia de energia por bateria com duração de 8 anos, sem a necessidade de cabos para instalação, robusto a poeira, sujeira e água com grau de proteção IP68 (proteção a poeira e imersão em água), e detecção de início e fim de atividade da máquina. As principais desvantagens são o tempo de resposta lento para detectar o bloqueio do fluxo (de 5 a 7 segundos), as interferências que outros barulhos podem causar na correta detecção do bloqueio de fluxo e a falta de capacidade desse tipo de tecnologia para poder estimar a taxa de adubo fluindo pelo produto.

2.4.2. Mercado Internacional

2.4.2.1 Vigilense Blockage sensor - Dickey John

A Figura 6 mostra o sensor de Fluxo desenvolvido pela empresa dominante do mercado Dickey John.



Figura 6: Sensor de detecção do bloqueio de fluxo de adubo da Dickey John. Fonte: <http://www.dickey-john.com/product/vigilense-blockag-seed-sensor/>

Este modelo tem como vantagem o custo menor em relação às demais tecnologias, habilidade de detectar sementes e fertilizante e tem a capacidade de detectar uma porcentagem pré determinada de bloqueio do fluxo. Entretanto, apresenta diversas desvantagens como imprecisão do sistema óptico devido a exposição a sujeira, utilização de cabos que corroem devido a poeira corrosiva do fertilizante e incapacidade de estimar a taxa de adubo fluindo pelo produto.

2.4.2.2 Recon Wireless Blockage Sensor - Intelligent Ag

A Figura 7 mostra o sensor desenvolvido pela empresa Intelligent Ag.



Figura 7: Sensor de detecção do bloqueio de fluxo de adubo da Intelligent Ag. Fonte: <https://www.intelligentag.com/products/73/wireless-blockage-flow-monitor/>

Muito similar ao sensor desenvolvido pela J.Assy, utiliza a mesma tecnologia de detecção sonora e também faz a transmissão de forma *wireless*. Entretanto, em relação ao sensor da J.Assy, possui a desvantagem de necessitar de cabos em sua instalação para a alimentação de energia do produto.

2.4.2.3 Blockage Sensor - Mueller Elektronik

A Figura 8 mostra o produto desenvolvido pela empresa alemã Mueller Elektronik.



Figura 8: Sensor de detecção de bloqueio de fluxo de fertilizantes da Mueller Elektronik.

Fonte: <https://www.mueller-elektronik.de/en/products/blockage-sensor/>

Este sensor utiliza a tecnologia piezelétrica, que transforma pressão mecânica em sinal elétrico. A principal vantagem é também não ser um sensor invasivo e ser robusto a poeira e sujeira. Entretanto, assim como os produtos da tecnologia por detecção sonora, esse sensor não conseguiria diferenciar o tipo de material (fertilizante, semente, pedra, barro, etc) passando por dentro dele, sendo mais susceptível a interferências.

2.5. Requisitos e restrições de projeto

2.5.1. Requisitos mínimos e expectativas do usuário

Com o objetivo de traçar as necessidades e expectativas dos clientes, foi realizado uma entrevista com usuários deste tipo de produto em diferentes níveis de uso: do teste ao suporte em campo. A quantidade de entrevistados foi de 10 pessoas divididas nos seguintes grupos:

1. 5 técnicos de campo (assistência técnica) de uma empresa de tecnologia para agricultura de precisão;
2. 3 operadores (usuários finais do produto);
3. 1 testador de hardware (desenvolvimento) de uma empresa de tecnologia para agricultura de precisão;
4. 1 gerente do setor Florestal (gerência) de uma empresa de tecnologia para agricultura de precisão.

Apesar da quantidade pequena de entrevistados é importante levar em consideração que os técnicos de campo estão constantemente em contato com inúmeros clientes, o que lhes garante conhecimento suficiente sobre as dores dos usuários e dos problemas apresentados em campo pelos sensores comerciais atuais.

Para absorver os requisitos sem induzir os entrevistados à nenhum caminho, foram utilizadas as duas seguintes perguntas dando liberdade ao senso crítico:

1. Quais os requisitos mínimos que um sensor de adubo precisa ter na sua opinião?
2. Quais características que você gostaria que um sensor de adubo tivesse que os sensores atualmente utilizados não possuem hoje?

Dentre todas as respostas obtidas, foram filtradas e selecionadas as respostas que mais se repetiram e as que foram consideradas plausíveis de implementação. Estas são destacadas na tabela 1 abaixo:

Tabela 1: Necessidades do cliente.

	Resposta	% de entrevistados que deu essa resposta
Requisito básico	Detectar o bloqueio do fluxo	100%
	Fácil instalação	80%
	Pouca manutenção	90%
	Sem necessidade de ficar limpando	90%
	Diâmetro de 1 polegada para fluir melhor o adubo	50%
	Sensor robusto, resistente a vibração, poeira, sol, chuva, frio e calor	50%
	Aguentar trabalho do setor florestal de 8h por dia /365 dias por ano	30%
Requisito desejável	Estimar o fluxo de adubo	70%

2.5.2. Características do produto

Na tabela 2 são apresentadas as características do produto necessárias para atender os requisitos levantados.

Tabela 2: Características do produto.

Característica
Geometria compatível com as mangueiras de adubo e que garanta bom fluxo de fertilizante
Leve (< 1kg)
Vida útil > 5 anos
Robusto, resistente a água e poeira
Deteção em tempo real

2.5.3. Restrições do produto

Na tabela 3 são apresentadas as restrições do desenvolvimento do produto necessárias para atender os requisitos levantados ou normas vigentes.

Tabela 3: Restrições do produto.

Restrições	Valor
Instalação	Diâmetro compatível com os tubos de fertilizante; fixação resistente a vibração
Fonte de energia	Fonte de energia independente do veículo para diminuir o número de fios
Consumo de potência	Baixo consumo de potência para suportar vida útil mínima de 5 anos com baterias portáteis disponíveis no mercado
Normas a serem atendidas	Brasil: Ato nº 14448 e Resolução nº 680 Europa: ETSI EN 300 440, EN 300 328 e ISO 14982 US: FCC part 15.245 e 15.212

2.6. Especificações do produto

A partir da subjetividade dos requisitos e restrições são determinados valores quantitativos e mensuráveis. Esses valores são as especificações do produto. Na tabela 4 são apresentadas as especificações do produto necessárias para atender cada restrição e requisito citado na seção anterior.

Tabela 4: Especificações do produto.

Requisitos e restrições	Especificação	Unidade	Concorrente J.Assy	Valor alvo
Geometria e instalação	Diâmetro	cm	0,45	2,5
Leve	Massa	kg	0,145	0,1
Longa duração	Vida útil	anos	8	> 5
Robustez	Grau de proteção IP	<i>Ingress protection (IP)</i>	68 ³	66k ⁴
Resistente a água e poeira	Tipo de sensor	N/A	Sonoro ou vibração	Tecnologia não invasiva
Deteção em tempo real	Latência	Milissegundos	5000 a 7000	< 100

3. PROJETO CONCEITUAL

A fase de projeto conceitual tem como objetivo gerar um conjunto de princípios de soluções viáveis que atendam as especificações provenientes da fase anterior (CARPES, 2014). Para gerar esse conjunto de soluções, o produto será dividido em diferentes partes que serão solucionadas separadamente.

3.1. Parâmetros do produto

A divisão do produto através de parâmetros consiste em separá-lo em blocos ou subsistemas necessários para que o produto execute sua função global (CARPES, 2014). No caso deste produto, a função global é a de detectar o bloqueio do fluxo de fertilizantes sólidos em implementos agrícolas. Além disso, também são incluídos parâmetros que tornam o produto mais atrativo ao consumidor, relacionados a aspectos como forma, estética, manutenção e inovação (CARPES, 2014). Assim, a partir da função global, pode-se dividir o produto nos seguintes parâmetros apresentados na Figura 9 em forma de diagrama de blocos.

³ IP68: Totalmente protegido a poeira e submersão em água.

⁴ IP66k: Totalmente protegido a poeira e jatos de água laterais a 3m e 145 PSI.

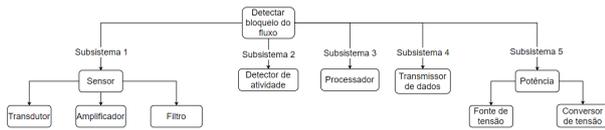


Figura 9 – Parâmetros do produto.

3.2. Matriz morfológica

A matriz morfológica é um quadro onde são apresentadas alternativas de soluções e princípios físicos aplicáveis para cada parâmetro do produto que se deseja buscar (CARPES, 2014). Na tabela 5 são apresentadas até 3 alternativas de soluções para cada parâmetro especificado na seção 3.1.

Tabela 5 – Alternativas para solução dos parâmetros levantados.

Parâmetro	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Transdutor	Óptico (foto diodo)	Ultrassom (baixo custo)	Radar (eletromagnético)
Amplificador	Circuito discreto	Amplificador semi-integrado	Condicionador de sinal totalmente integrado
Filtro	Filtro analógico discreto	Filtro analógico integrado	Filtro digital no processador
Detector de atividade	Acelerômetro	Sensor de vibração	Microfone
Processador	Microcontrolador	Field Programmable Gate Array (FPGA) de baixo custo	Microprocessador
Transmissor de dados	LoRaWAN	Bluetooth low energy (BLE)	Zigbee
Fonte de tensão	Bateria não-recarregável	Colheita de energia RF + bateria recarregável	Painel fotovoltaico embarcado + bateria recarregável
Conversor de tensão	Circuito discreto	Circuito semi-integrado	Circuito totalmente integrado

3.3. Avaliação das alternativas de solução

Nas tabelas 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 é feita a avaliação das alternativas de solução. Para cada alternativa é atribuída uma nota de 1 (pior) a 3 (melhor). Além disso é estipulado um peso a cada critério de 1 (menos importante) a 3 (mais

importante). Por fim, são somadas as notas de cada alternativa.

Tabela 6 – Avaliação das alternativas para o parâmetro “Transdutor”.

Alternativas	Custo @1k und	Pouco Invasivo	Consumo de corrente	Risco de falso positivo	Total
Peso dos critérios	3	3	2	2	N/A
Transdutor óptico	3 (~\$1)	1	1 (~100mA)	1	19
Transdutor ultrassom	2 (~\$3)	1	3 (~15mA)	2	20
Transdutor radar	1 (~\$5)	3	2 (~30mA)	3	25

Tabela 7 – Avaliação das alternativas para o parâmetro “Detector de atividade”.

Alternativas	Custo @1k und	Consumo de corrente	Risco de falso positivo	Total
Peso dos critérios	3	2	3	N/A
Acelerômetro	3 (~\$1)	2 (~150uA)	3	19
Sensor de vibração	1 (~\$5)	3 (N/A)	3	18
Microfone	2 (~\$2)	1 (~1,5mA)	1	11

Tabela 8 – Avaliação das alternativas para o parâmetro “Filtro”.

Alternativas	Custo@1k und	Complexidade de projeto	Consumo de corrente	Total
Peso dos critérios	3	2	2	N/A
Filtro analógico discreto	2 (~\$0,20)	2	3	16
Filtro analógico integrado	1 (~\$2)	3	2	13
Filtro digital	3	2	1	15

Tabela 9 – Avaliação das alternativas para o parâmetro “Amplificador”.

Alternativas	Custo @1k	CM RR	Rail to rail	Produto ganho-banda	Voltage offset	Ruído de entrada	Total
Peso dos critérios	3	2	1	1	2	2	N/A
Discreto	3 (~\$0,40)	1 (85dB)	1	1 (1MHz)	1 (2mV)	1 (a definir)	17
Semi-Integrado (ex.: MAX4466)	3 (~\$0,40)	3 (126dB)	2 (output)	1 (600kHz)	2 (1mV)	2 (80nV/√Hz)	26
Condicionador de sinal (ex: PGA305A RHHT)	1 (~\$4)	2 (110dB)	N/A	3 (10MHz)	3 (10uV)	3 (15nV/√Hz)	25

Como na avaliação das alternativas para o parâmetro “Filtro” foi escolhido a opção de circuito discreto, os amplificadores escolhidos no parâmetro “Amplificador” serão usados em combinação com o parâmetro filtro para que ambos os parâmetros sejam atendidos com um circuito único.

Tabela 10 – Avaliação das alternativas para o parâmetro “Processador”.

Alternativas	Custo @1k	Consumo	Flexibilidade de projeto	Latência	Conhecimento prévio do projetista	Total
Peso dos critérios	3	2	2	3	3	N/A
Microprocessador (ex: SAM5D3)	1 (~\$5)	1 (max 150mW)	2	1	1	15
Microcontrolador (ex: STM32)	3 (~\$1)	3 (max 50mW)	1	2	2	29
FPGA de baixo custo/consumo (ex: LCMXO3 LF-4300E-5)	1 (~\$4,7)	2 (max 65mW)	3	3	3	31

Tabela 11 – Avaliação das alternativas para o parâmetro “Transmissor de dados”.

Alternativas	Custo @1k	Consumo max Tx	Alcance min	Max no. nodes	Taxa de dados	Total
Peso dos critérios	3	3	1	1	1	N/A
LoRaWAN	2 (~\$10)	2 (100mA)	3 (5km)	3 (>50k)	3 (2Mb/s)	21
BLE	3 (~\$5)	3 (7mA)	1 (100m)	2 (32k)	1 (300Kb/s)	22
Zigbee	1 (\$15)	1 (135mA)	1 (60m)	1 (240)	1 (250Kb/s)	9

Tabela 12 – Avaliação das alternativas para o parâmetro “Fonte de tensão”.

Alternativas	Custo @1k	Mantenabilidade	Fabricabilidade	Total
Peso dos critérios	3	3	3	N/A
Bateria não recarregável	3 (~\$3)	2	3	24
Colheita RF + bateria recarregável	1 (~\$35)	3	2	18
Painel solar + bateria recarregável	2 (~\$7)	1	1	12

Tabela 13 – Avaliação das alternativas para o parâmetro “Conversor de tensão”.

Alternativas	Custo @1k	Tamanho (nº de componentes)	Complexidade de projeto	Fabricabilidade	Total
Peso dos critérios	3	2	1	2	N/A
Circuito discreto	3 (~\$0,1)	1	1	1	14
Circuito semi-discreto	3 (~\$0,50)	2	2	2	19
Circuito totalmente integrado	1 (~\$7)	3	3	3	18

Na tabela 14 é apresentado um resumo das opções de soluções escolhidas para o desenvolvimento do produto.

Tabela 14 – Sumário das alternativas de solução escolhidas.

Especificação	Alternativa escolhida
Transdutor	Transdutor radar
Amplificador	Circuito semi-integrado
Filtro	Filtro analógico discreto
Detector de atividade	Acelerômetro
Processador	FPGA de baixo custo/consumo
Transmissor de dados	BLE
Fonte de tensão	Bateria não recarregável
Conversor de tensão	Circuito semi-discreto

3.4. Validação da alternativa de transdutor escolhida

O componente chave deste projeto de produto é o transdutor que irá transformar para sinais elétricos as informações que se deseja medir, como o bloqueio do fluxo de adubo ou até mesmo a possibilidade de estimar o fluxo de adubo. Portanto, uma etapa adicionada no projeto conceitual foi de fazer uma prova de conceito da tecnologia de transdutor escolhida. Para isso, foi construído um *setup* de teste utilizando placas de desenvolvimento e um modelo da tecnologia de transdutor escolhida. A Figura 10 mostra o *setup* de teste utilizando fertilizante sólido NPK⁵, um transdutor de tecnologia radar e uma placa de desenvolvimento para coleta de dados para análise.

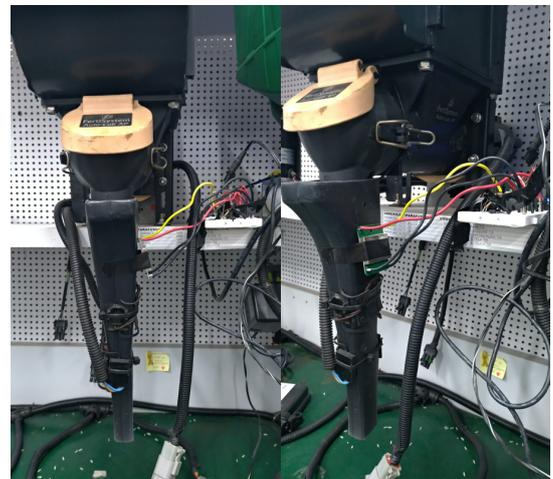


Figura 10: Setup para coleta de dados.

Na Figura 11, são mostrados capturas dos sinais de saída do sensor no momento em que há o fluxo de adubos sólidos.



Figura 11: Saída do transdutor radar no momento em que houve fluxo de adubo.

Na Figura 12, é apresentado um zoom do sinal formado quando há o fluxo de adubo.

⁵ NPK: Nitrogênio, Fósforo, Potássio



Figura 12: Zoom no sinal de saída do transdutor no momento em que há fluxo de adubo.

Neste teste, foram coletados dados do sensor para diferentes valores de fluxo de adubo, já utilizando para condicionamento de sinal o amplificador e o filtro que serão utilizados no produto final. A partir destes dados, foi desenvolvida e treinada em Python uma rede neural para inferir o fluxo de adubo a partir de dados medidos em tempo real. O funcionamento desta rede neural em tempo real é também um dos motivos que justificaram a escolha de um FPGA para ser o processador deste produto.

Na tabela 15 são apresentados alguns resultados do teste em Python da rede neural implementada com conjuntos de dados de teste (dados que não foram utilizados para o treinamento).

Tabela 15 – Parte dos resultados de inferência para um *dataset* de teste de 320 valores.

Fluxo esperado em g/s	Fluxo inferido em g/s	Erro em g/s	Erro %
0	0,68	0,68	-
10	10,43	0,43	4,3%
0	0,654	0,654	-
10	9,01	0,99	9,9%
100	83,18	16,82	16,82%
16	14,93	1,07	6,66%
100	83,15	16,85	16,85%
16	18,08	2,08	13%
30	26,11	3,89	12,96%
4	5,8	1,8	45%
30	37,5	7,5	25%
4	3,9	0,01	0,25%
55	41,6	13,4	24,36%
85	83,28	1,72	2,02%
55	53,66	1,34	2,43%
85	83,51	1,49	1,78%

O erro médio da rede neural para um *dataset* de teste de 320 entradas foi de 15,59 g/s, sendo este erro maior nos fluxos acima de 30 g/s. A rede neural mostrou uma boa precisão para distinguir fluxos baixos de adubo e o bloqueio total do fluxo de adubo (0 g/s)

4. PROJETO PRELIMINAR

No projeto preliminar busca-se determinar a configuração dos princípios de solução para que seja possível atender as especificações do produto. Portanto, é necessário determinar que tipo de arquitetura será utilizada: arquitetura de módulos ou integrada (CARPES, 2014).

4.1. Arquitetura do produto

Devido à vantagem da configuração modular de reduzir custos do processo de produção e dar uma flexibilidade maior ao produto com diferentes versões modulares, decidiu-se utilizar esse tipo de arquitetura. Abaixo são citadas as principais

vantagens da arquitetura modular (HUANG, 2000 por CARPES, 2014):

- Economia em larga escala de produção;
- Flexibilidade em configurações e variedades do produto;
- Redução do tempo de fabricação;
- Facilidade de manutenção.

4.2. Configuração do produto

Na Figura 13 são apresentados os módulos do produto e suas disposições. As disposições escolhidas são o resultado de um híbrido das diferentes possibilidades apresentadas na literatura. O módulo “Gabinete” engloba todos os outros módulos, constituindo uma disposição do tipo totalmente embutida. Dentro dele, o módulo “Sensor” possui uma disposição do tipo parcialmente embutida no módulo “PCB”, enquanto o módulo “Bateria” possui uma disposição lateral ao módulo “PCB”. Dentro do módulo “PCB”, optou-se por uma disposição lateral entre os diferentes módulos embutidos nele.

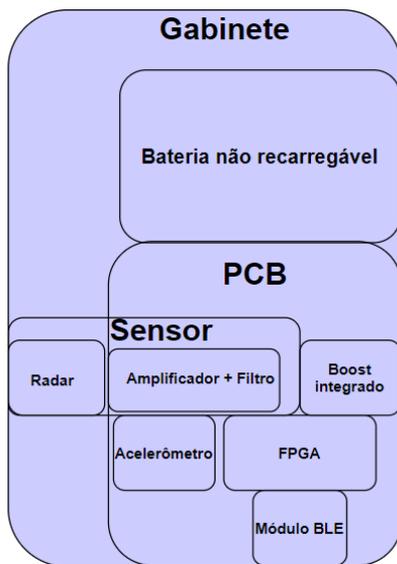


Figura 13: Configuração do produto.

4.3. Relacionamento entre as partes

Para a correta interface entre as partes é necessário que haja o relacionamento físico e o relacionamento funcional. O relacionamento físico entre as partes, trata da questão dimensional que determina o acoplamento físico entre os módulos, sua fixação na estrutura do produto ou em um outro módulo, as dimensões e formas (CARPES, 2014). É esse relacionamento que determina como será a montagem do produto. O relacionamento funcional, por outro lado, trata das entradas e saídas esperadas de cada módulo, para que eles se relacionem e o produto funcione como esperado.

Na Figura 14 abaixo, é apresentado o relacionamento físico entre os diferentes módulos da configuração apresentada anteriormente na Figura 13.

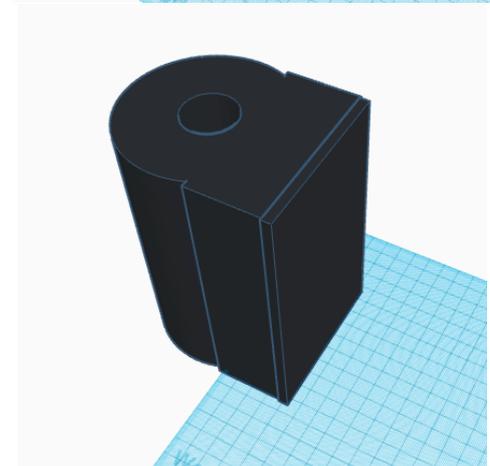
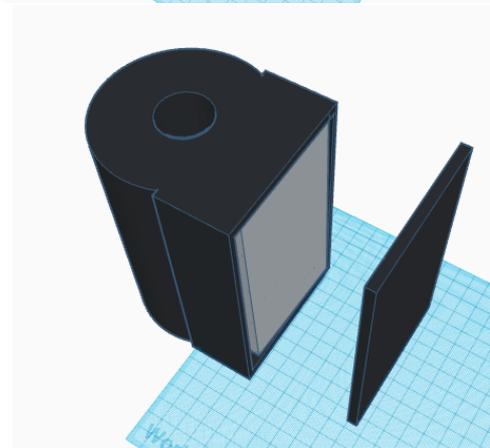
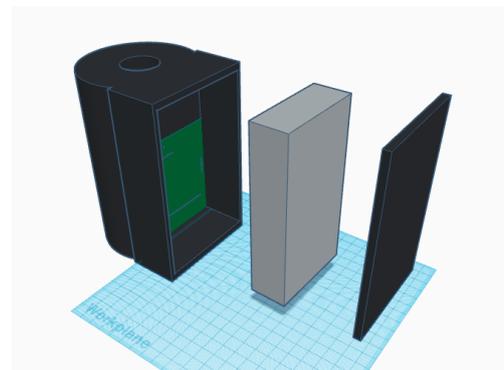
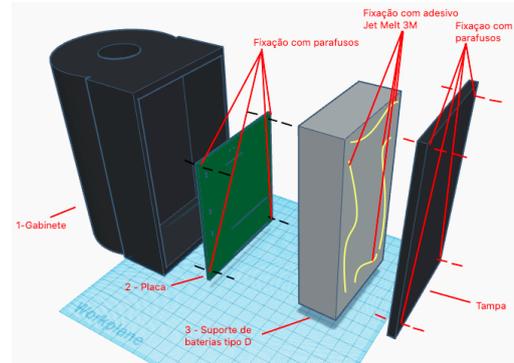


Figura 14: Relacionamento físico entre as partes.

4.4. Esboço

Na Figura 15 é apresentado um esboço das diferentes partes produto.

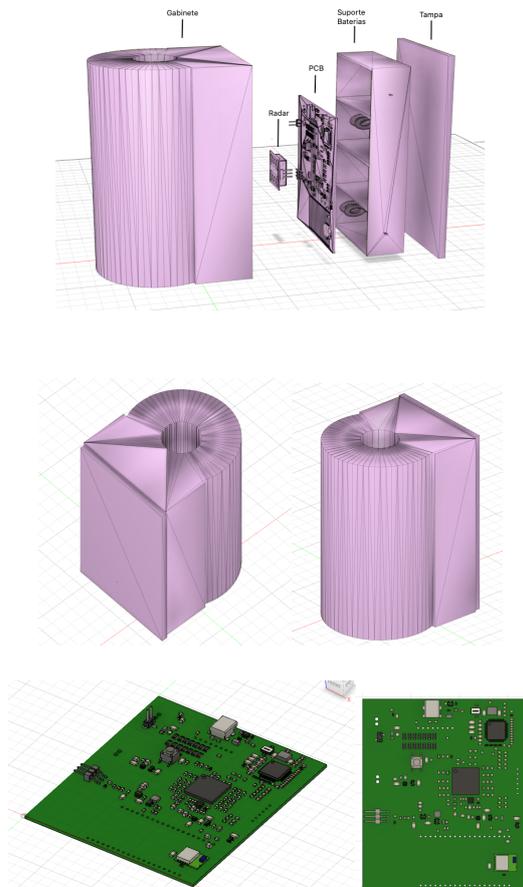


Figura 15: Esboço das partes do produto.

Na Figura 16 é apresentado a renderização do produto totalmente montado.

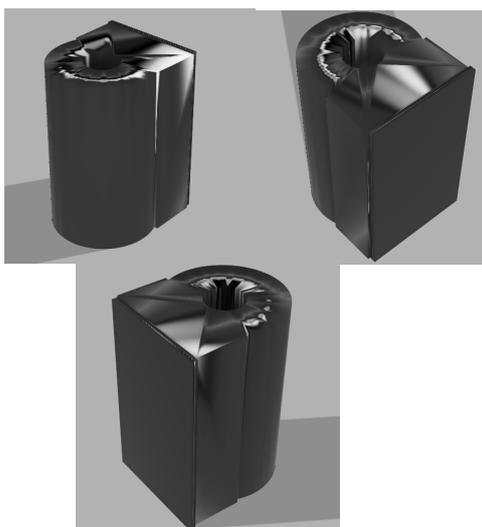


Figura 16: Renderização do produto.

4.5. Seleção dos materiais e processo de fabricação

4.5.1. Placa de circuito impresso

A placa de circuito impresso foi desenvolvida utilizando algumas técnicas de desenvolvimento para manufatura apresentadas na disciplina de Processos de Fabricação de Produtos Eletrônicos. Dentre as técnicas utilizadas, visando facilitar a manufatura da placa e diminuir o custo de produção pode-se citar os seguintes:

1. Utilização de apenas o *Top-Layer* da placa para montagem de componentes, visando diminuir o número de vezes que a placa passa pelo processo de montagem;
2. Utilização de todos os componentes montados como do tipo *Surface Mount Technology* (SMT) para que apenas o processo de *Pick and Place* seja utilizado na montagem da placa;
3. Utilização de no mínimo 3 pontos fiduciais para facilitar o processo de montagem *Pick and Place*;
4. Acabamento de superfícies do tipo *Electroless nickel immersion gold* (ENIG);
5. Componentes, solda e placa sem chumbo;
6. Adição de pontos de teste para facilitar e baratear o processo de teste através de cama de pregos.

Na Figura 17 é apresentado a imagem 3D da placa projetada.

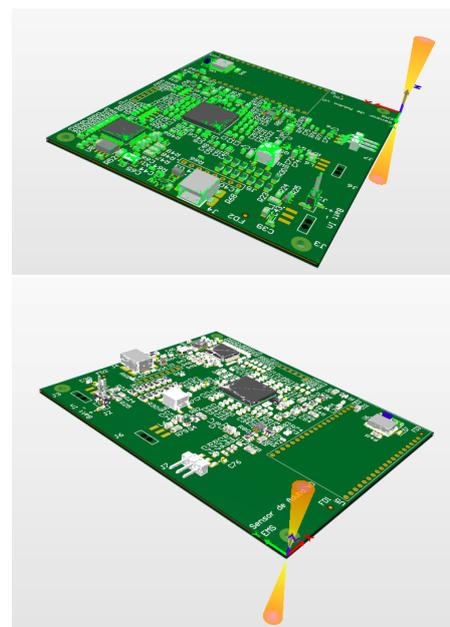


Figura 17: Placa eletrônica do produto.

Além dos conceitos desenvolvidos na disciplina de processos de fabricação, para definição do *stack-up* da placa foram usados os

conhecimentos adquiridos na disciplina de Compatibilidade Eletromagnética no Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos. Na Figura 18 é mostrado o *stack-up* definido para a placa.

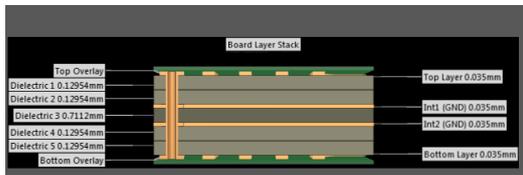


Figura 18: Stack-up da placa eletrônica projetada.

O *Stack-up* foi organizado para a seguinte utilização:

1. Camada 1 (*Top-Layer*) : Potência;
2. Camada 2: Plano de GND;
3. Camada 3: Plano de GND;
4. Camada 4: (*Bottom-Layer*) Sinais.

Utilizando essa organização dos planos é possível ter uma placa onde os sinais de maior frequência estão bem referenciados a um plano de terra que não se mistura com sinais de potência, evitando interferências e problemas de *cross-talk*.

4.5.2. Gabinete

O gabinete foi projetado considerando a utilização da manufatura aditiva como processo de fabricação. Na Figura 19 é apresentado o projeto do gabinete e suas medidas.

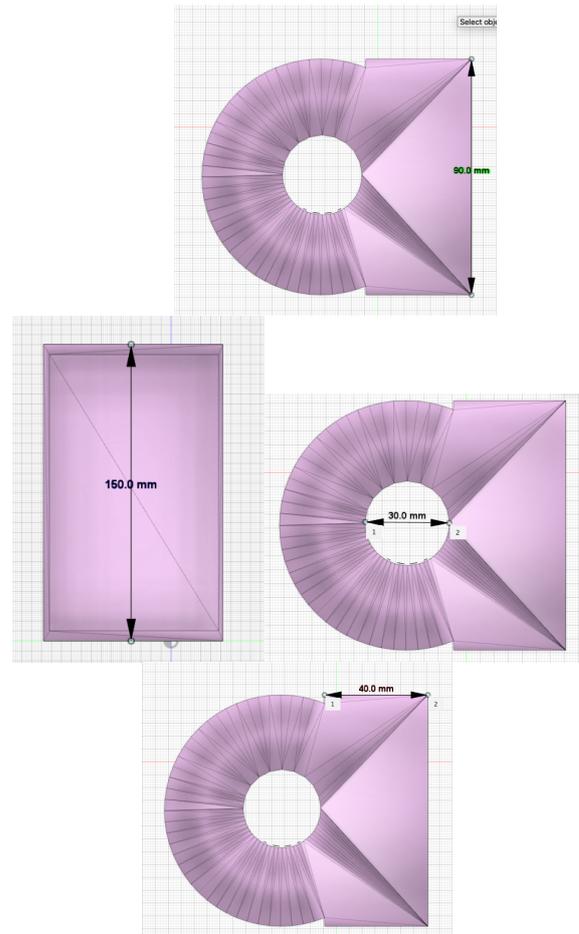


Figura 19: Projeto do gabinete.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresenta o fluxo de desenvolvimento de um produto eletrônico para detecção do bloqueio do fluxo de fertilizantes utilizando a metodologia PRODIP. Analisando produtos do mercado notou-se uma carência no mercado nacional de um produto que tenha precisão na detecção do fluxo de adubo, baixa manutenibilidade e que nenhum produto de mercado hoje é capaz de estimar o fluxo de adubo passando pelo sensor.

Como tecnologia para fazer a detecção do fluxo de adubo foi escolhido sensores eletromagnéticos radares, por terem uma maior velocidade de resposta, menor risco de falsos positivos e serem menos invasivos que outras tecnologias favorecendo a baixa manutenibilidade, pois não precisam de visada direta com o fluxo de adubo.

A tecnologia escolhida foi validada através de uma prova de conceito que mostrou que para diferentes fluxos de adubo é possível extrair características do sinal de saída do transdutor que variam com o fluxo de adubo. Para inferência do fluxo de adubo foi implementada uma rede neural. Os resultados mostraram um erro de 16,75 g/s para um *dataset* de 320 entradas de diferentes fluxos.

Posterior à prova de conceito, foi obtido a partir da etapa de projeto preliminar a configuração de montagem do produto, o projeto da PCB e o gabinete do produto. A PCB foi projetada utilizando técnicas de projeto para manufatura, tais como utilização de componentes de apenas um tipo (SMT), montagem de todos componentes no mesmo *layer* e reutilização de valores de componentes passivos. O gabinete foi projetado buscando atender os requisitos levantados na etapa de Projeto Informacional, onde foram levantados as especificações do produto.

Para a continuidade do trabalho e continuidade do desenvolvimento do produto listase:

- Seguir com a fabricação de um protótipo a partir do Projeto Preliminar para validação de que todos os requisitos e especificações da etapa de Projeto Informacional foram atendidos;
- Testar este protótipo fabricado em uma empresa parceira, em um ambiente de aplicação real;
- Aplicação de patente;
- Fazer teste de IP;
- Testes prévios de compatibilidade eletromagnética;
- Realizar a etapa de Projeto Detalhado, onde deve-se planejar também a produção do produto;
- Realizar novos testes com a versão final do produto;
- Testes ANATEL;
- Lançamento e validação do produto.

REFERÊNCIAS

DE RESENDE, A. V. et al. Agricultura de precisão no Brasil: avanços, dificuldades e impactos no manejo e conservação do solo, segurança alimentar e sustentabilidade. In: **Embrapa Pecuária Sudeste- Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 18., 2010, Novos caminhos para agricultura conservacionista no Brasil: anais. Teresina, PI: Embrapa Meio-Norte: Universidade Federal do Piauí, 2010, 2010.

ARTUZO, Felipe Dalzotto; SOARES, Caroline; WEISS, Claudete Rejane. Inovação de processo: O impacto ambiental e econômico da adoção da agricultura de precisão. **Espacios**, v. 38, n. 2, p. 1-6, 2017.

MOLIN, José P. Agricultura de precisão: Números do mercado Brasileiro. **Universidade de São**

Paulo, Departamento de Engenharia de Biosistemas. São Paulo: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Recuperado em, v. 27, 2017.

YAN, Yong. Mass flow measurement of bulk solids in pneumatic pipelines. **Measurement Science and Technology**, v. 7, n. 12, p. 1687, 1996.

CARPES JR, Widomar P. **Introdução ao projeto de produtos**. Bookman Editora, 2014.

BACK, Nelson et al. Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem. **Barueri: Malone**, p. 435-482, 2008.

RESEARCH AND MARKET. **Agriculture IoT Market by Offering (Hardware, Software, & Services), Application (Precision Farming, Precision Forestry, Livestock Monitoring, Fish Farm Monitoring and Smart Greenhouse), Application, and Geography - Global Forecast to 2024**. Publicado em Outubro de 2019. Disponível em: <https://www.researchandmarkets.com/reports/4849802/agriculture-iot-market-by-offering-hardware>. Acesso em: 30 de Janeiro de 2020.

RESEARCH AND MARKET. **Americas Smart Farming Market: Focus on Solutions (Hardware Systems, Software, Services) and Applications (Precision Crop Farming, Livestock Monitoring and Management, Indoor Farming and Aquaculture) - Analysis & Forecast 2018-2023**. Publicado em Agosto de 2018. Disponível em: <https://www.researchandmarkets.com/reports/4614541/americas-smart-farming-market-focus-on-solutions#pos-1>. Acesso em 30 de Janeiro de 2020.

RESEARCH AND MARKET. **Precision Farming Market by Technology (Guidance System, VRT, Remote Sensing), Application (Crop Scouting, Field Mapping, Irrigation), Offering (Hardware-Sensors, GPS/GNSS, Yield Monitors, Software, Services) & Geography - Global Forecast to 2023**. Publicado em Maio de 2018. Disponível em: <https://www.researchandmarkets.com/reports/4535715/precision-farming-market-by-technology-guidance#relb0-4603464>. Acesso em 30 de Janeiro de 2020.