

ORIGINAL PAPER

Monitor de perda de grãos para colheitadeiras

Harvester Grain Loss Monitor

Felipe Zaffari¹ e Julio Cesar Dos Santos²

¹Universidade de Passo Fundo

*166382@upf.br; juliosantos@upf.br ...

Abstract

This work presents an embedded system developed to monitor, in real time, the amount of seeds that are lost in the sieve and remove straw from a harvester. This equipment allows the operator to work at a speed that makes the most of the harvesting capacity, avoiding overloading the cleaning systems. For this, the device makes use of an STM32 microcontroller, piezoelectric sensors and a touch-sensitive screen. To detect when a grain hit the loss sensors, an algorithm based on the dispersion principle was applied. A device for dropping seeds was developed in order to calibrate and test the sensors. In tests performed, it was possible to detect an average of 88.75% of the grains.

Keywords: Piezoelectric Sensors, STM32, Nextion, Precision Agriculture

Resumo

Este trabalho apresenta um sistema embarcado desenvolvido para monitorar em tempo real a quantidade de grãos que se perdem na peneira e saca palhas de uma colheitadeira. Este equipamento permite ao operador trabalhar em uma velocidade que aproveite ao máximo a capacidade de colheita, evitando sobrecargas nos sistemas de limpeza. Para isto, o dispositivo faz o uso de um microcontrolador STM32, sensores piezoeletricos e uma tela sensível ao toque. Para detectar quando um grão atingiu os sensores de perdas, aplicou-se um algoritmo baseado no princípio da dispersão. Foi elaborado um dispositivo para largar grãos com a finalidade de calibrar e testar os sensores. Nos testes realizados, foi possível detectar em média 88,75% dos grãos.

Palavras-Chave: Sensores piezoeletricos, STM32, Nextion, Agricultura de precisão.

1 Introdução

A agricultura de precisão consiste de um conjunto de princípios e tecnologias aplicados na produção agrícola, tendo assim como objetivo melhorar o desempenho das culturas produzidas e a qualidade ambiental. PIERCE and NOWAK (1999).

Devido a crescente demanda por alimentos, energia e demais produtos oriundos da agricultura, a agricultura de precisão se mostra cada vez mais essencial, principalmente pelos recursos naturais que estão cada vez mais escassos. Diante disso, a produção agrícola pre-

cisa ser otimizada e visar a sustentabilidade, buscando o máximo de rendimento das culturas com o menor consumo de insumos possível. MOLIN et al. (2015).

A colheitadeira é um equipamento agrícola destinado à colheita de lavouras, que tem capacidade de cortar, recolher, debulhar, separar os grãos da palha, limpar, armazenar e também de picar a palha e distribuí-la no solo. Tudo isso em variadas condições de terreno e em diferentes culturas e espécies de grãos. MORAES et al. (1999).

Mesmo com a alta tecnologia disponível nas colheitadeiras, perdas consideráveis são contabilizadas na

colheita mecanizada de grãos, diminuindo a produtividade e consequentemente o lucro dos produtores. Diversos fatores podem estar associados a este problema, como a velocidade de deslocamento, má regulagem da colhedora, tempo de uso da máquina, altura da plataforma de corte e umidade dos grãos no momento da colheita. [AMADEU \(2017\)](#)

A velocidade de deslocamento da colheitadeira tem um destaque especial entre os fatores que afetam as perdas na colheita. Se a velocidade for maior que a capacidade do sistema de trilha da colhedora, o sistema pode ficar sobrecarregado, aumentando a quantidade de grãos não trilhados e que serão perdidos. Segundo [CUNHA and ZANDBERGEN \(2005\)](#), a velocidade de trabalho recomendada para uma colhedora é determinada em função da produtividade da cultura do grão devido à capacidade admissível da colhedora em manusear toda a massa que é colhida junto com o grão. [MESQUITA et al. \(1998\)](#) diz que com velocidades de trabalho superiores a 7 km/h, as perdas de grãos tendem a aumentar de forma acentuada, e a quantidade de grãos quebrados se elevam com a redução da umidade dos mesmos.

Para que o operador possa monitorar os níveis de perda de grãos na parte de trilha, algumas colheitadeiras modernas possuem um dispositivo que é instalado na cabine, que registram em tempo real, através de sensores instalados na peneira e saca-palhas, a porcentagem de grãos que se perdem durante a colheita. Porém, este sistema fica limitado apenas para as colheitadeiras mais modernas que já o possuem de fábrica. Para as colheitadeiras mais antigas, existem poucos produtos disponíveis no mercado para serem instalados.

Visando a importância da agricultura de precisão e de um bom rendimento na colheita mecanizada, este projeto tem como objetivo desenvolver um equipamento capaz de mensurar os níveis de perda de grão que ocorrem nos sistemas internos de uma colheitadeira, para que o operador possa regular os dispositivos da máquina e trabalhar em uma velocidade que aproveite ao máximo a capacidade de colheita evitando, assim, sobrecargas.

2 Fundamentação

A fase da colheita é de grande importância e requer um ótimo planejamento para que todos os esforços desenvolvidos nas etapas anteriores da produção sejam compensados e não ocorram perdas que levem a um baixo rendimento econômico [IDO and OLIVEIRA \(2004\)](#)

Segundo [PORTELLA \(2000\)](#) 50% das perdas poderiam ser evitadas, desde que as colhedoras fossem reguladas adequadamente e as épocas de colheita respeitadas. Em média, perde-se na colheita 12% de grãos de soja, 15% de grãos de milho e 5% de grãos de trigo.

Diante disso, este trabalho apresenta como proposta o projeto de um sistema embarcado, fazendo o uso de um microcontrolador, sensores de perda e display, para monitorar em tempo real a quantidade de grãos que se perdem na peneira e saca palhas de uma colheitadeira. Este sistema auxilia o operador nas regulagens dos

dispositivos da máquina e o permite trabalhar em uma velocidade que aproveite ao máximo a capacidade de colheita, evitando sobrecargas nos sistemas de limpeza.

2.1 Colheitadeira

Todo o funcionamento de uma colheitadeira é realizado por cinco sistemas, sendo eles: sistema de corte e alimentação, sistema de trilha, sistema de separação, sistema de limpeza e sistema de transporte e armazenagem [COSTA and TAVARES \(1995\)](#). A Fig. 1 mostra onde ficam os cinco sistemas da colheitadeira.

O sistema de corte e alimentação da colheitadeira é constituído pela plataforma de corte, onde o produto é recolhido, cortado e conduzido até o canal elevador, o qual leva o produto até o sistema de trilha.

No sistema de trilha os grãos são destacados das partes que os fixam na planta, separando-os dos restos da cultura, como caule, espigas e vagens. Com isso é possível separar de 60% a 90% dos grãos da palha.

O sistema de separação complementa a operação realizada no sistema de trilha, fazendo a separação do restante dos grãos da palha mais grossa.

No sistema de limpeza os grãos são separados do palhço, palha curta, poeira e grãos não trilhados. Os grãos já limpos são conduzidos ao tanque graneleiro. A palha e a poeira são retiradas da máquina e os grãos não trilhados são recondicionados à unidade de trilha para que complete a operação.

O sistema de transporte e armazenagem direcionam os grãos limpos ao tanque graneleiro, por meio de elevadores ou transportadores do tipo caracol e de corrente. Estes ainda transportam os materiais a serem retrilhados.

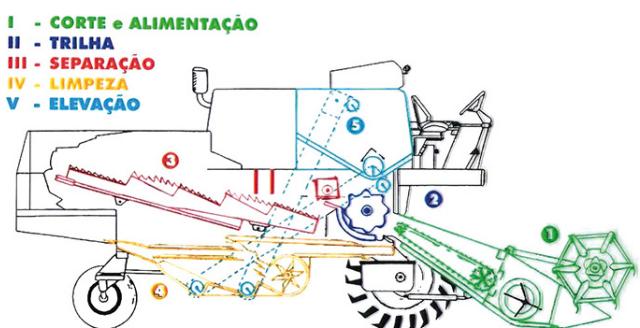


Figura 1: Sistemas da colheitadeira
Fonte: [Grupo Cultivar \(2020\)](#)

2.2 Perdas de grãos

Segundo [MOLIN \(2015\)](#) as perdas de grãos podem ser caracterizadas e divididas em vários estágios. Os principais são: as perdas naturais, perdas de plataforma e as perdas internas da máquina.

As perdas naturais da lavoura são regidas principalmente pelos efeitos climáticos, como vento forte, chuva

torrencial, tempestade, furacão, seca, etc.

As perdas de plataforma são causadas pela interface máquina-lavoura e se expressam de várias maneiras. Na colheita de culturas que utilizam plataforma segadora, a perda pode ser pelo molinete na altura incorreta, bem como a inclinação dos pentes que causam impacto com as vagens e a consequente debulha. A rotação do molinete acima da recomendada pelo manual do fabricante para uma dada velocidade da máquina faz centrifugar plantas que são arremessadas. A altura da plataforma, especialmente para a soja, também é um grande causador de perdas.

As perdas internas são provocadas pelos componentes internos da colheitadeira e são decorrentes de má regulagem e deficiências de projeto. As perdas de trilha são caracterizadas por grãos presos na palha e são causadas pela abertura excessiva entre côncavo e cilindro, ou velocidade inadequada do cilindro e da colhedora. Perdas na separação são designadas por grãos soltos na palha e normalmente causadas por abertura excessiva entre côncavo e cilindro e baixa velocidade do cilindro, sobrecarregando o saca-palhas.

[MOLIN \(2015\)](#) também aponta que no final de 1960 já eram disponibilizados os primeiros sensores de perdas nos mercados mais importantes da época. No Brasil, esses dispositivos só passaram a ser oferecidos como acessórios 20 anos depois. No momento presente, muitas colhedoras já saem de fábrica com monitor de perdas e os usuários estão aprendendo a utilizá-los e a tirar proveito deles. No entanto, é importante não atribuir a essa eletrônica embarcada toda a responsabilidade das perdas de grãos, visto que os sensores estão apenas nas peneiras e no saca-palhas, somente auxiliando a detectar os componentes de perdas internas da máquina, limpeza e separação. Mesmo assim, não deixam de ser um ótimo indicador de ritmo de colheita, taxa de alimentação e velocidade da máquina. Devem ser regulados para um nível de perdas aceitável e, a partir daí, sinalizarão quando o operador ultrapassar esse nível.

2.3 Quantificar perdas de grãos

Segundo [PORTELLA \(1999\)](#), para identificar onde as perdas de grãos estão ocorrendo, é preciso conhecer e aplicar um método eficiente de medição.

Para quantificar as perdas de grãos totais, ou seja, perdas naturais, perdas de plataforma e as perdas internas da máquina, [MESQUITA and GAUDÊNCIO \(1982\)](#) relata fazer uma armação com dois cabos ou ripas de madeiras e dois pedaços de barbante, colocando-o de forma transversal às linhas de semeadura, em uma área já colhida. Para soja e milho utiliza-se uma armação de 2 metros quadrados, empregando como constante a largura da plataforma da colheitadeira, como mostra a [Fig. 2](#). Após, deve ser coletado, dentro da área da armação, todos os grãos que estão soltos no solo e os grãos que estão nas vagens ou sabugos que não foram debulhados. Os grãos coletados devem ser pesados e as perdas determinadas de acordo com a equação 1.

$$\text{Perdas} = \frac{(N \times P)}{(S \times 600)} \quad \left[\frac{\text{sacas}}{\text{ha}} \right] \quad (1)$$

Onde: N: número de grãos coletadas no interior da armação.

P: peso médio de 100 grãos da cultivar colhida.

S: área de armação em metros quadrados .

No Brasil a [EMBRAPA \(2011\)](#) considera como tolerável a perda de até um saco (60kg) por hectare para o soja. Já para o milho, a Embrapa julga tolerável 1,5 sacos/ha.

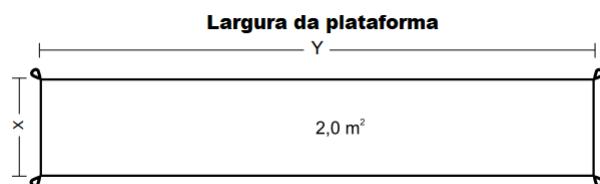


Figura 2: Armação para quantificar perdas

3 Trabalhos relacionados

Este capítulo apresenta produtos e trabalhos, que de certa forma apresentam alguma similaridade nas características do projeto apresentado neste artigo.

3.1 Monitor de perdas RENTAGRO

A empresa [RENTAGRO \(2015\)](#), voltada à proteção preventiva e proativa do negócio rural, desenvolve trabalhos de gestão em parceria com o produtor, com objetivo de redução de custos, aumento da rentabilidade e profissionalização das atividades. A partir disso, desenvolveu o Monitor de Perda de Grãos RENTAGRO.

O sistema monitora a quantidade de grãos que se perdem na peneira e saca palhas, fazendo o uso de sensores que separam de forma mecânica e eletrônica os impactos dos grãos, daqueles que são produzidos por palhadas e demais impurezas.

O equipamento possui um painel de controle, mostrado na [Fig. 3](#), onde as perdas aparecem quantificadas em forma proporcional, mediante uma escala de luzes nas cores verde, amarelo e vermelho, para as perdas aceitáveis, críticas e excessivas respectivamente.

O painel de controle também possui botões de regulagem, que são usados para dar maior ou menor sensibilidade na forma seletiva dos sensores de saca-palha e peneira, além de uma regulagem no tamanho de grãos.

3.2 Sensor para monitorar perdas de grãos de arroz na peneira de colheitadeiras

De acordo com [LIANG et al. \(2016\)](#), as perdas de grãos na peneira são parâmetros importantes para julgar o



Figura 3: Monitor de Perda de Grãos RENTAGRO
Fonte: [RENTAGRO \(2020\)](#)

desempenho do sistema de limpeza das colheitadeiras. Para manter a perda de grãos na peneira dentro de limites aceitáveis, foi utilizado, para o monitoramento em tempo real, um sensor do tipo piezoelétrico.

A influência da forma do grão, comprimento da pala, ângulo de impacto e variações de força foram analisados. Com isso, percebeu-se a ocorrência de diferentes níveis de força no sensor entre a colisão de grãos e palhas, o que levou a diferentes frequências do sinal e da amplitude da tensão.

Foi projetado para detectar os grãos inteiros, um circuito de processamento de sinal, que principalmente consistia em um circuito de filtro passa-banda, com frequência entre 5 e 20 KHz, e um circuito comparador de tensão com valor de *threshold* ajustável.

Foram realizados experimentos de bancada, a fim de calibrar e testar o sensor. Nos experimentos, grãos e palhas foram largados de uma altura de 250 mm por menos de 10 segundos, e o ângulo da montagem do sensor foi de 45 graus. Cada teste de calibração foi repetido três vezes e valores médios obtidos. Com isso, observou-se que as palhas não atrapalharam na precisão da detecção de grãos, mostrando que os sinais gerados por essas colisões foram filtrados. O sensor teve um ótimo desempenho para detectar os grãos, apresentando um erro de apenas 3,3% quando grãos e palhas foram largados.

Após os testes, o sistema foi montado em uma colheitadeira e experimentos de campo foram feitos. Os resultados indicaram que os erros de medição foram menores do que 4,48%.

4 Materiais e Métodos

Esta seção apresenta os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento do monitor de perdas de grãos.

4.1 Microcontrolador

O microcontrolador utilizado foi o STM32F103C8T6, desenvolvidos pela empresa STMicroelectronics. A placa de prototipagem STM32 dispõe de um processador de 32 bits com arquitetura Cortex-M3 ARM, operando até 72Mhz, com duas configurações de núcleo, sendo como padrão comum 64 Kb de memória Flash, e 128 Kb em versões C8. O microcontrolador atua com 3,3V. Analisando a pinagem de um STM32, podemos encontrar 33 portas GPIO, além 3 canais SPI e I2S, 10 leitores ADC de 12 bits, 3 USART e 15 pinos PWM [STMICROELECTRONICS \(2015\)](#). A placa e gravador custam apro-

ximadamente R\$70,00. A Fig. 4 mostra a placa de prototipagem STM32.

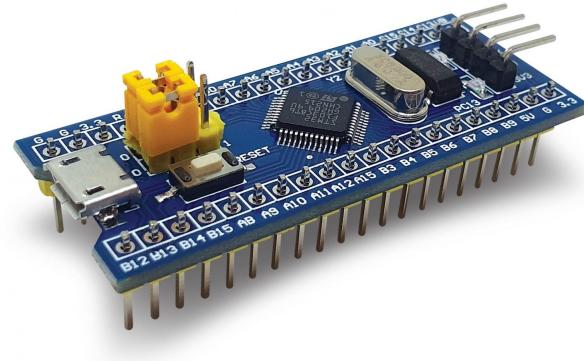


Figura 4: STM32f103c8t6
Fonte: [STMicroelectronics \(2019\)](#)

4.2 Interface Homem Maquina

Para exibir as informações ao operador da colheitadeira, foi utilizado um *display* Nextion com 4,3 polegadas, cujo fabricante é a empresa ITEAD.

O objetivo deste *display* é reduzir a carga de trabalho no desenvolvimento de soluções com IHM (Interface Homem Máquina). Para isso, o produto combina processador integrado, *display* e membrana *touch screen*, além do próprio ambiente de desenvolvimento Nextion Editor [NEXTION \(2020\)](#).

A IHM da Nextion se conecta ao microcontrolador utilizando comunicação serial TTL através dos pinos disponíveis em seu terminal externo, TX, RX.

A grande vantagem de trabalhar com esse *display*, além da facilidade de desenvolvimento, é que ele possui memória flash interna, e toda a carga gráfica fica no *display*, deixando o microcontrolador utilizado livre para executar as rotinas do programa. A Fig. 5 mostra o *display* Nextion utilizado no projeto.

Para o desenvolvimento da Inteface Homen Máquina, foi utilizada a ferramenta de desenvolvimento Nextion Editor, a qual é disponibilizada gratuitamente pelo próprio fabricante ITEAD.

Com o uso do Nextion Editor, é possível desenvolver de maneira relativamente rápida e simples telas, menus, botões e gráficos. O software usa o conceito de arrastar e soltar os componentes e também instruções de programação baseadas em texto ASCII. A Fig. 6 mostra a interface do software Nextion Editor.

4.3 Sensores

Para medir a perda de grãos em tempo real, existem dois tipos de sensores que podem ser utilizados: sensores piezoelétricos e células de carga.

Os sensores piezoelétricos são feitos de um material que tem a capacidade de converter energia mecâ-



Figura 5: Display Nextion 4,3"
Fonte: [Nexxtion \(2021\)](#)



Figura 6: Software Nextion Editor

nica, como pressão ou vibração, em energia elétrica. Quando esse tipo de material sofre uma pressão mecânica, ocorre um fenômeno de polarização provocado em determinados cristais através de contrações mecânicas. Os efeitos de dipolos somados resultam em uma diferença de potencial no material. [STEVAN and SILVA \(2015\)](#)

Outro sensor que pode ser utilizado é o de célula de carga, que segundo [STEVAN and SILVA \(2015\)](#) é uma estrutura mecânica, planejada para receber cargas e deformar-se dentro do esperado. Mesmo uma pequena deformação já é suficiente para gerar um sinal de saída linear e compatível com a carga aplicada. O princípio de funcionamento é baseado na variação da resistência ôhmica, que quando submetida a uma deformação, a célula de carga mede a variação da peça e traduz em variação de resistência ôhmica.

As células de carga são indicadas para aplicações em que a carga destinada é constante. Neste projeto, os grãos atingirão os sensores por apenas um pequeno instante, o que acaba deixando as células de carga menos sensíveis. Em função disso, os sensores piezoelétricos têm uma melhor aplicabilidade.

Neste projeto foram utilizados 3 sensores piezoelétricos ligados em série. Os sensores foram instalados em uma chapa de metal rígida, com a finalidade de aumentar a superfície de contato entre o sensor e os grãos que o atingirão. A [Fig. 7](#) mostra a parte inferior do sensor desenvolvido.

A separação de grãos das palhas é feita de forma mecânica. Para isso, deve ser utilizado pedaços de barra de ferro da largura do sensor, colocados a uma altura de 5 centímetros em toda a extensão do mesmo. Como a palha é geralmente comprida, ela acabará batendo nas barras de ferro e não atingirá o sensor. A [Fig. 16](#) mostra um sensor comercial, da marca RENTAGRO, que utiliza este sistema de separação.



Figura 7: Parte inferior do sensor de perda de grãos desenvolvido

4.4 Testes com sensores piezoelétricos

Foram testados dois modelos de sensores piezoelétricos. O primeiro mostrado na [Fig. 8](#) possui 35mm de diâmetro e custa aproximadamente R\$ 3,50 a unidade. A [Fig. 9](#) mostra a resposta do sensor conectado a um osciloscópio, e sendo atingido por grãos de milho. Pode-se observar que ele tem uma boa sensibilidade, porém, ele é muito frágil e tem uma superfície de contato pequena.

O segundo modelo testado, é o mostrado na [Fig. 10](#). O sensor possui 50mm e custa aproximadamente R\$ 50,00. Este sensor é bem mais resistente e pesado que o modelo anterior, e também possui uma superfície de contato maior. Como pode ser observado na [Fig. 11](#), ele não possui uma boa sensibilidade ao ser atingido pelos mesmos grãos de milho, comparado com o sensor anterior. Devido ao preço e a má sensibilidade para esta finalidade, este sensor não foi viável para o projeto.



Figura 8: Sensor piezoelétrico 35mm

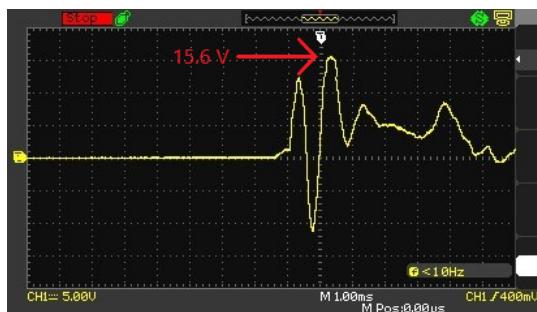


Figura 9: Sinal osciloscópio sensor piezoelétrico 35mm



Figura 10: Sensor piezoelétrico 50mm

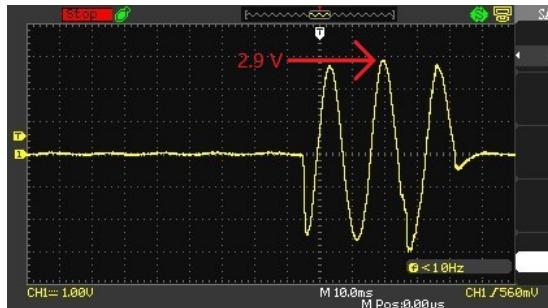


Figura 11: Sinal osciloscópio sensor piezoelétrico 50mm

4.5 Implementação do protótipo

O STM32 tem a função de ler os sinais vindo dos sensores de perda e calcular a quantidade de grãos que foram atingidos em um determinado tempo. Os dados são enviados via protocolo UART para o *display* Nextion, onde são exibidas as informações. O microcontrolador também tem a função de receber dados via UART, quando é feita alguma alteração na calibração dos sensores na tela de ajustes do *display*. Quando isso ocorre, o *display* faz a aquisição destes dados e envia para o STM32 salvar na sua memória flash, para que quando o microcontrolador for desligado, não venha a perder os ajustes de calibração dos sensores feito pelo usuário. A Fig. 13 mostra o protótipo desenvolvido.

Para a medição dos sinais dos sensores piezoelétricos, foi empregado um resistor de 1M Ohms em paralelo com os sensores. O valor da tensão gerada entre estes dois componentes são lidos pelo canal analógico do microcontrolador STM32. Todos os itens são mostrados no esquemático apresentado na Fig. 12.

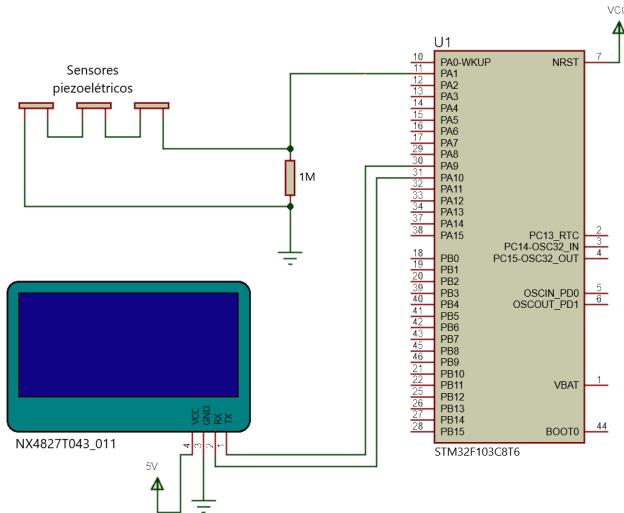


Figura 12: Esquemático hardware

4.6 Algoritmo Detector de Picos

Para detectar quando um grão atingiu os sensores de perdas, foi aplicado um algoritmo baseado no princípio da dispersão, que consiste em determinar o grau de variação das amostras em relação à média. Se um novo dado está a um determinado número x de desvios-padrão de uma média móvel, o algoritmo detecta um pico. O algoritmo tem 3 entradas: *lag*, que é a quantidade de amostras do filtro média móvel, *threshold* que são os números de desvios-padrões acima da média para detectar, e *influence*, que é a influência de novos sinais na média e desvio padrão (entre 0 e 1) BRAKEL (2014).

Para ajustar as entradas do algoritmo para a aplicação dos sensores piezoelétricos, com o microcon-

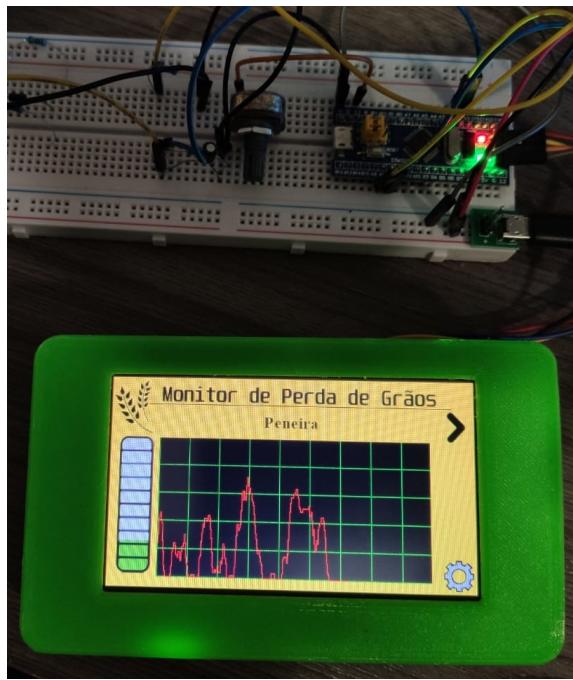


Figura 13: Protótipo do hardware

trolador STM32, foi feita a captura de 200 amostras, enquanto os sensores recebiam os impactos dos grãos. Após, os dados foram transferidos para a linguagem de programação R. Na Fig. 14 pode-se observar que quando o valor da amostra ultrapassa o valor do *threshold*, é detectado um pico, ou seja, o sensor foi atingido por um grão. Depois de alguns testes, as entradas ficaram *lag* 6, *threshold* 4 e *influence* 0.6.

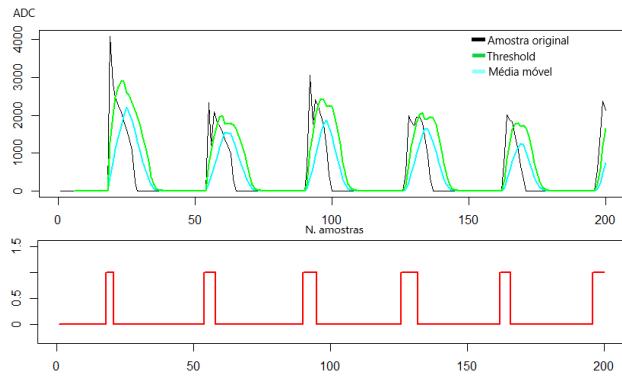


Figura 14: Algoritmo Detector de Picos

4.7 Calibrar sensores de perda

Para calibrar os sensores de perda, primeiramente deve ser feita a quantificação de grãos como mostrado na seção 2.3.

A partir da quantificação, se os níveis de perdas es-

tiverem em um nível aceitável, com a colheitadeira em movimento e realizando a colheita, as configurações de sensibilidade devem ser ajustadas no monitor de perdas para que a barra de progresso fique em um nível de 50%.

Assim, quando ocorrer um aumento nos níveis de perda, o operador da máquina conseguirá identificar um aumento da porcentagem da barra de progresso. Ao perceber uma diminuição do nível da barra, os níveis de perda da colheita terão diminuído. A partir disso, o operador poderá decidir entre aumentar ou diminuir a velocidade de colheita, para sempre manter a barra de progresso em 50%, que é quantidade de perdas de grãos toleráveis. Desse modo, usa-se a capacidade máxima da colheitadeira evitando sobrecargas nos sistemas da mesma.

4.8 Desenvolvimento do Firmware

O desenvolvimento do *firmware* foi realizado no STM32CubeIDE, que é uma ferramenta de desenvolvimento que faz parte do ecossistema de *software* STM32Cube. A ferramenta é disponibilizada gratuitamente e é compatível com Windows, Linux e Mac. A mesma se apresenta como uma plataforma de desenvolvimento avançada C e C++ com configuração periférica, geração de código, compilação de código e recursos de depuração para microcontroladores e microprocessadores STM32.

Para o desenvolvimento, o STM32CubeIDE usa como estrutura o Eclipse/CDT, assim como o conjunto de ferramentas GCC. Já para a depuração, é utilizado o GDB.

O STM32CubeIDE engloba analisadores de pilha que fornecem ao usuário informações úteis sobre o status do projeto e os requisitos de memória. Também contém recursos de depuração padrão e avançados, incluindo a visualização de registradores da CPU, memórias e de periféricos, bem como observação de variáveis em tempo real, interface Serial Wire Viewer e analisador de falhas STMICROELECTRONICS (2021). A Fig. 15 mostra a interface da IDE



Figura 15: IDE de desenvolvimento STM32CubeIDE

5 Aplicação e Principais Funcionalidades

O monitor de perdas de grãos tem como principal objetivo monitorar a quantidade de grãos que se perdem na peneira e saca palhas de uma colheitadeira. Com isso, o operador da máquina pode trabalhar em uma velocidade que aproveite ao máximo a capacidade da colheitadeira, evitando sobrecargas nos sistemas internos.

Para exibir as informações ao operador da colheitadeira, e para que os ajustes como a calibração dos sensores possam ser feitas a qualquer momento, o *display* Nextion é instalado na cabine da máquina em um local de fácil visualização. O hardware contendo o microcontrolador é acoplado juntamente com o *display*, na parte traseira do mesmo. O espaço requerido para a instalação do *display* e hardware é de aproximadamente 15cm X 9cm X 3 cm.

Já os sensores de perdas são instalados no final da peneira e no saca-palha da colheitadeira, como é mostrado na Fig. 16 e na Fig. 17 respectivamente. Assim, quando a máquina estiver com a capacidade de processamento acima do seu limite, aumentará a quantidade de grãos que não são processados e que acabaram atingindo os sensores de perdas.



Figura 16: Sensor de perda de grãos RENTAGRO, instalado no final da peneira da colheitadeira
Fonte: [Video Youtube \(2016\)](#)

5.1 Monitoramento de perdas e ajustes de calibração

Para o monitoramento das perdas, o sistema possui 4 telas.

Na primeira tela são exibidas as informações de perda dos sensores instalados na peneira da colheitadeira. Como é mostrado na Fig. 18 a barra de progresso na vertical, indica em tempo real a porcentagem de perdas. Já no gráfico, ao lado da barra é registrado cada porcentagem de perdas, gerando um histórico destas informações, o que permite o operador observar como está variando as perdas no pedaço onde ele está colhendo. Ao clicar na seta para a direita, o sistema é



Figura 17: Sensor de perda de grãos RENTAGRO, instalado no final do saca-palha da colheitadeira
Fonte: [Video Youtube \(2016\)](#)

redirecionado para tela seguinte, e ao clicar no ícone de engrenagem, é redirecionado para a tela de ajustes.

A segunda tela, mostrada na Fig. 19, possui as mesmas informações da primeira tela, porém referente aos sensores instalados no saca-palha.

A terceira tela, Fig. 20, possui duas barras de progresso e dois gráficos, exibindo as informações dos sensores das peneiras e os sensores do saca-palha ao mesmo tempo.

Na tela de ajustes, Fig. 21, é possível calibrar os sensores de perda. O primeiro *slider* é referente à sensibilidade do sensor, nele é possível regular a quantidade de grãos que precisam atingir o sensor para que a barra de progresso atinja seu valor máximo. O segundo *slider* é relacionado ao tamanho do grão, aumentar o valor dele significa que o sensor precisará de um impacto mais forte para começar a detectar as mesmas. Já no terceiro *slider*, é ajustado o valor do filtro média móvel das barras de progressos e dos gráficos, isso significa que o valor exibido nos mesmos será uma media de N amostras, ajustado pelo *slider*, dos últimos valores que foram exibidos.



Figura 18: Tela de monitoramento dos sensores peneira



Figura 19: Tela de monitoramento dos sensores saca palha

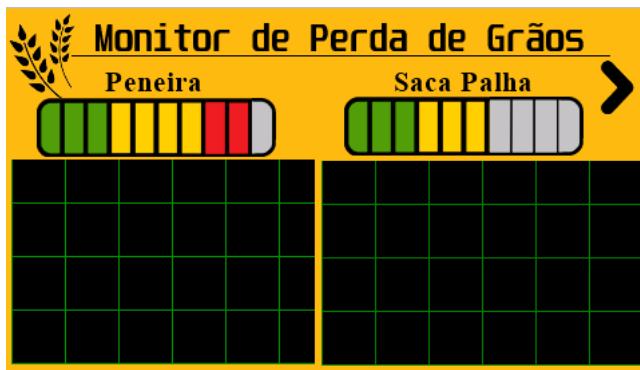


Figura 20: Tela de monitoramento dos sensores da peneira e saca-palha

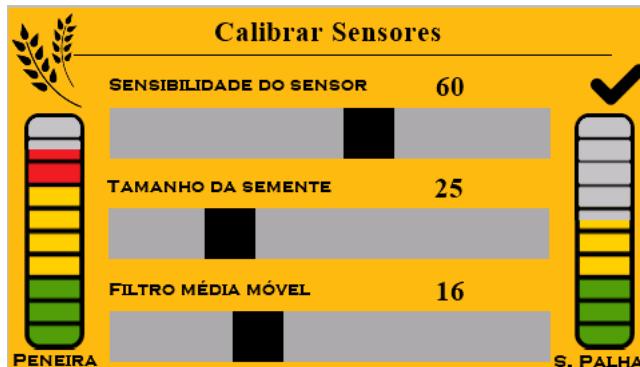


Figura 21: Tela de ajustes

5.2 Fluxo do Firmware

Inicialmente, são inicializadas as variáveis do sistema e os GPIOs são configurados. A partir disso, é feita a leitura da memória flash do microcontrolador, para recuperar os ajustes feitos anteriormente. Em seguida, executa-se uma rotina de auto-calibração do ADC, a fim de obter uma maior precisão no mesmo. Além disso, são feitas as aquisições de amostras, e após é executado o algoritmo para detectar os picos nas amostras. Os picos

são contabilizados e depois mostrados no display. Se o monitor está na tela de ajustes, os valores dos sliders são gravados na memória flash do microcontrolador. A Fig. 22 representa o fluxo de trabalho do firmware.

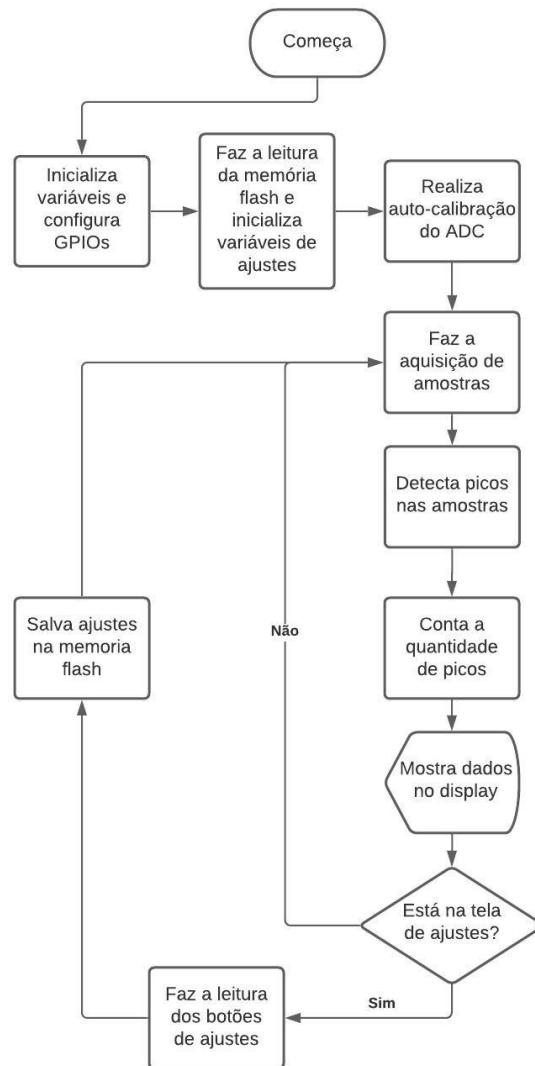


Figura 22: Fluxo do firmware

6 Resultados

Para testar a detecção de grãos no sensor de perda, foi desenvolvido um dispositivo para largar os grãos em cima do sensor de perda. O mecanismo é constituído por um motor de passo, o qual é conectado a um eixo. Na extremidade do eixo, é acoplado um disco de sementes para plantadeiras. Com este dispositivo, é possível controlar a velocidade que os grãos são largadas em cima do sensor. Assim, pode-se simular situações de colheita com diferentes quantidades de grãos sendo

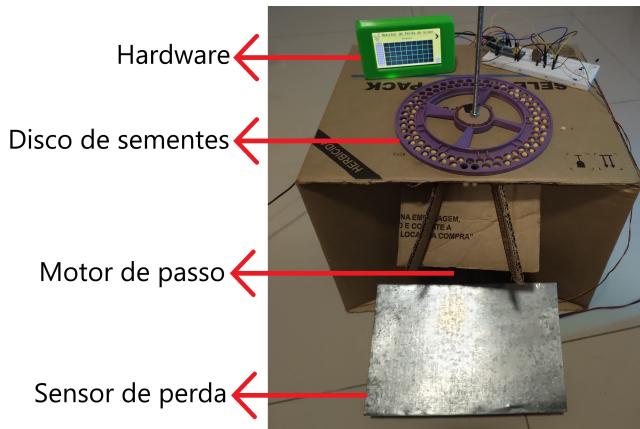


Figura 23: Dispositivo para testar o Monitor de perda de grãos

Tempo de despejo de 20 sementes	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Teste 6	% Erro médio
10,5 segundos	20	17	18	17	18	17	10,83
8,3 segundos	18	17	19	18	18	16	11,67
6,8 segundos	17	18	18	16	19	17	12,50
4,7 segundos	18	19	16	17	19	18	10,83
Erro médio total							11,25

Tabela 1: Tabela de resultados

perdidos. A Fig. 23 mostra o dispositivo usado para a realização dos testes.

Inicialmente, 20 grãos de soja foram colocadas no disco. Foram testadas 4 velocidades diferentes em que os grãos são largados. Para cada velocidade, 6 ensaios foram realizados. A altura entre a superfície do sensor para o dispositivo que larga os grãos, foi de aproximadamente 30 centímetros, e o sensor foi montado em um ângulo de 45 graus. Os resultados são mostrados na Seção 6. O erro médio mostrou-se satisfatório, com um percentual de 11,25.

Analizando os dados, pôde-se perceber que a velocidade de despejo dos grãos tiveram pouca influencia na detecção dos mesmos.

Outro experimento realizado, foi preencher o disco com grãos de soja e elaborar dois ensaios em diferentes velocidades, fazendo com que os grãos atinjam o sensor em diferentes ritmos. Quando o sensor é tocado em um ritmo lento, a barra de progresso no display indicou que poucos grãos estavam chocando-se no sensor. Já quando acertado rapidamente, a barra indicou um grande número de grãos atingindo-o. Os resultados obtidos mostraram um funcionamento do sistema como o esperado.

Como estamos fora da época de colheita das culturas de soja, milho e trigo no Rio Grande do Sul, não foi possível testar o sistema em uma situação real de colheita.

7 Trabalhos futuros

A presente seção apresenta algumas ideias de funcionalidades e ajustes que podem ser implementados ao sistema.

7.1 Filtro de ruído nos sensores de perda

As colheitadeiras possuem diversos sistemas mecânicos que trabalham ao mesmo tempo, como polias, correias, elevador de grãos, saca-palha, peneira, etc. Isto acaba gerando um enorme nível de vibração na mesma.

Como os sensores piezoeletétricos são muito sensíveis, estes níveis de vibração podem acabar gerando ruídos, o que dificulta a identificação quando os grãos atingi-los. Em casos mais graves, a vibração pode ser confundida com grãos que atingiram os sensores, e isto acabará gerando dados errados ao monitor de perdas.

7.2 Medir velocidade da colheitadeira

Como visto no presente trabalho, a velocidade de deslocamento da colheitadeira tem grande influência na quantidade de grãos perdidos, então seria importante que o monitor de perdas mostrasse a velocidade atual da máquina. Dispondo desta informação, juntamente com o peso médio de cada grão, também seria possível quantificar as perdas em sacas por hectare.

Para medir a velocidade, pode ser utilizado um sensor indutivo conectado à roda da colheitadeira. Com isso, pode-se saber quantas voltas a roda deu em determinado tempo. Sabendo a circunferência da roda, é possível saber a distância que a máquina anda a cada volta que a roda realiza e, desse modo, é capaz de calcular a velocidade da mesma.

8 Conclusão

Com base no que foi apresentado, percebe-se que a agricultura de precisão se mostra cada vez mais essencial devido a crescente demanda por alimentos e produtos oriundos da agricultura. Diante disso, a produção agrícola precisa ser otimizada para buscar o máximo de rendimento das culturas. O sistema desenvolvido neste trabalho teve como objetivo mensurar a quantidade de grãos que se perdem nos sistemas internos da colheitadeira, auxiliando o operador nas regulagens dos dispositivos da máquina e permitindo trabalhar em uma velocidade que aproveite ao máximo a capacidade de colheita.

O uso do microcontrolador STM32 juntamente com os sensores piezoeletétricos, mostraram um funcionamento satisfatório para detectar as perdas de grãos. Usando o algoritmo de detecção de picos, foi possível detectar em média 88,75% dos grãos nos experimentos realizados. Devido a época em que este artigo foi escrito, não foi possível testar o sistema em uma situação real de colheita, já que não há soja, milho ou trigo para serem colhidos.

No decorrer do tempo, novas funcionalidades poderão ser implementadas, com o intuito de melhorar o sistema, deixando-o mais preciso. Também podem ser adicionadas mais telas, mostrando outras informações da colheitadeira, como a velocidade.

O projeto mostrou-se financeiramente viável. Os principais componentes, microcontrolador e sensor piezoeletétrico, são de baixo custo. O kit de prototipagem

do STM32f103c8t6 custa aproximadamente R\$40,00, e somente o microcontrolador custa \$5,95. Cada sensor piezoelétrico custa cerca de R\$3,50. A tela tem a parte mais significativa, mas pode ser substituída por algum outro tipo mais barato.

Referências

- AMADEU, F. (2017). Perdas na colheita mecanizada de grãos: Quais são as causas?, *Rural Centro*, Acesso em: 7 de jun. de 2021 .
URL: <https://www.ruralcentro.com.br/analises/perdas-na-colheita-mecanizada-de-graos-quais-sao-as-causas-4017>
- BRAKEL, J. (2014). Robust peak detection algorithm using z-scores, Acesso em: 5 de mai. de 2021 .
URL: <https://stackoverflow.com/questions/22583391/peak-signal-detection-in-realtime-timeseries-data/22640362#22640362>
- COSTA, N. and TAVARES, L. (1995). Fatores responsáveis pelos elevados percentuais de perdas de grãos durante a colheita mecânica da soja., *Informativo ABRA-TES*, Acesso em: 19 de fev. de 2021 .
- CUNHA, J. and ZANDBERGEN, H. (2005). Perdas na colheita mecanizada da soja na região do triângulo mineiro e alto paranaíba, brasil, *Universidade Federal de Uberlândia*, Acesso em: 14 de mar. de 2021 .
- EMBRAPA (2011). Copo medidor para a determinação da perda e do desperdício de grãos na colheita mecanizada de soja., *Embrapa Soja* .
- Grupo Cultivar (2020). Acesso em: 19 de mai. de 2021 .
URL: <https://www.grupocultivar.com.br/noticias/quais-os-sistemas-e-tecnologias-presentes-nas-colhedoras-de-graos>
- IDO, O. and OLIVEIRA, R. (2004). Apostila 8 – aula 8 tratos culturais., *Universidade do Paraná*, Acesso em: 4 de mar. de 2021 .
URL: <http://www.agriculturageral.ufpr.br/bibliografia/apostila8.pdf>
- LIANG, Z., LI, Y., XU, L. and ZHAO, Z. (2016). Sensor for monitoring rice grain sieve losses in combine harvesters, *Elsevier Ltd*, Acesso em: 9 de mar. de 2021 .
URL: http://www.isenso.cn/attachments/file/20171006145551_673.pdf
- MESQUITA., C., COSTA, N., MANTOVANI, E., ANDRADE, J., NETO, J. F., SILVA, J., FONSECA, J., PORTUGAL, F. and SOBRINHO, J. G. (1998). Manual do produtor: como evitar desperdício nas colheitas de soja, do milho e do arroz, *Londrina: EMBRAPA-CNPSO*, Acesso em: 21 de fev. de 2021 .
- MESQUITA, C. and GAUDENCIO, C. (1982). Medidor de perdas na colheita de soja e trigo., *EMBRAPA-CNPSO*, Acesso em: 28 de mar. de 2021 .
URL: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/445502/1/15.pdf>
- MOLIN, J. (2015). Colhedoras de grãos, *USP*, Acesso em: 20 de mar. de 2021 .
URL: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4453313/mod_resource/content/1/Colhedoras%20de%20gros.pdf
- MOLIN, J., AMARAL, L. and COLAÇO, A. (2015). Agro-cultura de precisão.
- MORAES, M., REIS, A. and REIS, A. (1999). *Máquinas para colheita e processamento dos Grãos*.
- NEXTION (2020). What's nextion, Acesso em: 17 de mai. de 2021 .
URL: <https://nextion.tech/>
- Nextion (2021). Acesso em: 16 de nov. de 2020 .
URL: <https://nextion.tech/basic-series-introduction/>
- PIERCE, F. and NOWAK, P. (1999). Aspects of precision agriculture, *Adv. Agronomy*, Acesso em: 4 de nov. de 2020 .
- PORTELLA, J. (1999). Tecnologia de colheita de trigo., *Embrapa trigo*, Acesso em: 16 de jan. de 2021 .
URL: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/820194/1/CNPTIDo8425.pdf>
- PORTELLA, J. (2000). Colheita de grãos mecanizada: implementos, manutenção e regulagem., *Vizinha: Aprenda Fácil*, Acesso em: 22 de fev. de 2021 .
- RENTAGRO (2015). Com rentagro você pode reduzir até 20% as perdas de grãos da parte traseira de sua colheitadeira, Acesso em: 24 de mai. de 2021 .
- RENTAGRO (2020). Acesso em: 23 de mar. de 2021 .
URL: <https://colvenbrasil.com.br/products/rentagro-monitor-de-perda-de-graos>:text=0%20 Monitor%20de%20Perda%20de,palhada%20junto%20com%20os%20desperdícios.
- STEVAN, S. and SILVA, R. (2015). Automação e Instrumentação Industrial com Arduino: Teoria e Projetos.
URL: <https://books.google.com.br/books?id=g4diDwAAQBAJ>
- STMICROELECTRONICS (2015). Datasheet stm32f103x8, stm32f103xb, Acesso em: 10 de jan. de 2021 .
URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103c8.pdf>
- STMICROELECTRONICS (2021). Integrated development environment for stm32 products, Acesso em: 10 de jan. de 2021 .
URL: <https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeide.html>
- STMicroelectronics (2019). Acesso em: 5 de dez. de 2020 .
URL: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f103c8.html>
- Video Youtube (2016). Acesso em: 10 de fev. de 2021 .
URL: <https://www.youtube.com/watch?v=NpABBoosPLct=153s>