

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELETRÔNICA

MATHEUS AUGUSTO GRUENEWALD FIORENTIN

**SISTEMA DE DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE FITAS
TRANSPORTADORAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO
2019

MATHEUS AUGUSTO GRUENEWALD FIORENTIN

**SISTEMA DE DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE FITAS
TRANSPORTADORAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Orientador: Prof. Dr. Evandro Marcos Kolling

TOLEDO
2019

TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso Nº 86

Sistema de determinação da velocidade de fitas transportadoras

por

Matheus Augusto Gruenewald Fiorentin

Esse Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 15h do dia 26 de junho de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título Bacharel em Engenharia Eletrônica. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado APROVADO.

Gerson Filippini
COELE/UTFPR-TD

Jaqueline Vargas
COELE/UTFPR-TD

Evandro Marcos Kolling
COELE/UTFPR-TD
Orientador (a)

Fabio Rizental Coutinho
Coordenador(a) da COELE

RESUMO

FIORENTIN, Matheus Augusto Gruenewald. **Sistema de determinação da velocidade de fitas transportadoras**. 2019. 41f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Eletrônica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2019.

O controle e a medição da velocidade de equipamentos de transportes agrícolas possuem grande relevância para um sistema de monitoramento da capacidade de transporte, permitindo conhecer com precisão a quantidade total e instantânea de produto movimentado. Assim, desenvolveu-se um sistema de medição de velocidade para uma fita transportadora de grãos, amplamente utilizada em Unidades de Beneficiamento e Armazenamento de produtos agrícolas (UBPA). O sistema utilizou dois sensores, um resistor dependente de luz e um sensor óptico, para medir a distância percorrida pela fita. Com base nos dados levantados, um microcontrolador foi empregado para medir um intervalo de tempo e, com a distância adquirida pelos sensores, calcular a velocidade instantânea da fita. O mesmo microcontrolador também fez a interface com um computador para apresentação e aquisição de dados. Os dados obtidos aproximam-se dos valores estimados, com erro máximo de 2,31% em relação à velocidade estimada sem carga e -5,13% em relação à velocidade calculada por meio do inversor de frequência, mostrando que é possível uma atualização na precisão do sistema de cálculo de rendimento. O erro pode ser minimizado com algumas melhorias na implementação do sistema de medição de velocidade, indicando que pode ser aplicado no cálculo do volume total transportado visando a utilização comercial.

Palavras-chave: Transportadores, Rendimento, Automação.

ABSTRACT

FIORENTIN, Matheus Augusto Gruenewald. **Speed determining system for conveyor belts**. 2019. 41p. Final Project Report (Bachelor's Degree in Electronics Engineering). Federal University of Technology – Paraná. Toledo, 2019.

The control and measurement of speed for agricultural transport equipment have great relevance for a transport capacity monitoring system, allowing to know with precision the total and instantaneous quantity of total product moved by the system. Thus, a speed measurement system was developed for a grain conveyor belt, widely used in Processing and Storage Units for agricultural products (UBPA). The system used two sensors, a light dependent resistor and an optical sensor to measure the distance traveled by the belt. Based on the collected data, a microcontroller was used to measure a time interval and, with the distance acquired by the sensors, calculate the instantaneous speed of the tape. The same microcontroller also interfaced with a computer for data presentation and acquisition. The obtained data is close to the estimated values, with a maximum error of 2.31% relative to the estimated unloaded speed and -5.13% relative to the speed calculated using data from the frequency inverter, showing that an upgrade to the precision of the current real-time monitoring system is possible. The error can be minimized with some better implementation in the speed measurement system, indicating that it could be applied in the total volume transported calculation for commercial use.

Keywords: Transporters, Efficiency, Automation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de transportadores.....	8
Figura 2. Sistema individual.....	9
Figura 3. Fita transportadora de curta distância.....	10
Figura 4. Fita transportadora de longa distância.....	10
Figura 5. Roletes de carga vertical e triplo.....	11
Figura 6. Triplo rolete de impacto.....	11
Figura 7. Rolete vertical único de retorno.....	12
Figura 8. Roletes de transição que permitem o ajuste do ângulo da fita.....	12
Figura 9. Medição realizada diretamente na correia por meio de tacômetro.....	13
Figura 10. Medição de velocidade por correia.....	14
Figura 11. Medidor comercial de velocidade de correias transportadoras.....	14
Figura 12. Protótipo de fita transportadora.....	17
Figura 13. Resistor Dependente de Luz.....	18
Figura 14. Esquema elétrico desenvolvido para a utilização do RDL....	18
Figura 15. Sensor fixado sobre a fita e marcações brancas ao fundo...	19
Figura 16. Valor digital de luminosidade em função do tempo com a fita em velocidade máxima.....	20
Figura 17. Sensor Pixart PAN3402.....	20
Figura 18. Diagrama de ligações do sensor PAN3402.....	21
Figura 19. Sensor óptico posicionado em contato direto com a fita.....	22
Figura 20. Fluxograma do sistema de medição da velocidade.....	23
Figura 21. <i>Boxplot</i> dos testes sem carga.....	29
Figura 22. Histograma das medições de velocidade sem carga.....	31
Figura 23. Velocidade com carga medida em função do tempo.....	32
Figura 24. <i>Boxplot</i> das velocidades capturadas, fita com carga.....	34
Figura 25. Histograma das medições de velocidade com carga.....	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	6
1.1	JUSTIFICATIVA.....	6
1.2	OBJETIVOS.....	7
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	8
2.1	TRANSPORTADORES DE GRÃOS.....	8
2.1.1	FITAS TRANSPORTADORAS.....	9
2.2	VELOCIDADE DAS FITAS TRANSPORTADORAS.....	12
2.3	OUTROS MÉTODOS PARA MEDIÇÃO DA VELOCIDADE.....	15
3	METODOLOGIA.....	17
3.1	OBJETO DE CASO.....	17
3.2	SENSORES.....	17
3.2.1	Resistor Dependente de Luz.....	18
3.2.2	Sensor Óptico.....	20
3.3	OBTENÇÃO DA VELOCIDADE.....	22
3.4	TRATOS ESTATÍSTICOS.....	25
3.4.1	Média.....	25
3.4.2	Variância amostral.....	25
3.4.3	Desvio padrão amostral.....	25
3.4.4	Coeficiente de variação (CV)	26
3.4.5	Erro relativo.....	26
4	RESULTADOS.....	27
4.1	MEDIÇÕES DE VELOCIDADE DA FITA SEM CARGA.....	27
4.2	MEDIÇÕES DE VELOCIDADE DA FITA COM CARGA.....	32
5	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36
6	REFERÊNCIAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

A necessidade da medição e controle de velocidade em equipamentos de transporte é de fundamental importância para a indústria. Em meio à crescente expansão dos mais diversos setores, também cresce a demanda por volumes de cargas e descargas, assim, o controle preciso dessa grandeza permite maximizar a quantidade de produtos transportados em um menor intervalo de tempo, além de possibilitar a supervisão de falhas, garantindo que uma rápida manutenção solucione o problema.

Em uma Unidade Beneficiadora de Produtos Agrícolas (UBPA) é necessário realizar o transporte diário de diversos tipos de grãos entre as principais etapas de processamento e armazenagem. Iniciando com o recebimento, caminhões descarregam os produtos em transportadores que os levam para equipamentos de limpeza e secagem. Após essas etapas, os produtos são novamente movidos aos silos e ou armazéns, onde são estocados até o momento em que são retirados e movidos aos caminhões responsáveis pelo escoamento dos grãos para as indústrias. Desta forma, o conhecimento acerca da velocidade dos transportadores pode contribuir para o gerenciamento produtivo da unidade, também como na avaliação operacional dos transportadores.

Assim, este trabalho utilizou um Sensor Óptico e um Resistor Dependente de Luz (RDL) posicionados sobre a fita transportadora e conectados a um microcontrolador responsável pelos cálculos necessários para a determinação da velocidade de operação do equipamento.

1.1 JUSTIFICATIVA

A proposta se baseia no aprimoramento de um protótipo de fita transportadora empregado para estudos de automação agrícola, permitindo a criação de sistemas eletrônicos de medição, controle e supervisão dos parâmetros operacionais, como volume transportado, velocidade, concavidade da fita entre outros. Com dimensões reduzidas e construção simples em madeira, permite o rápido entendimento de sua operação e uma visualização prática dos equipamentos que a compõem.

Entretanto, o atual sistema de leitura e cálculo do rendimento de fitas transportadoras a granel não possui método de medição da velocidade baseado no

movimento da esteira. A velocidade dessa é estimada a partir da frequência de saída entregue ao motor de indução trifásico, gerando erros ao ignorar as perdas elétricas tanto no inversor, condutores e motor e também as perdas mecânicas dos mancais e rolamentos do motor, do redutor e do atrito da esteira com a base de madeira.

O aprimoramento do sistema já existente é o próximo passo em direção à utilização comercial do que pode se tornar um produto de engenharia, produzido e aprimorado para melhor atender a demanda por excelência requisitada pelo setor agrícola, sempre em busca de maior precisão e controle dos sistemas eletromecânicos envolvidos nos processos.

A medição da velocidade da fita permite reduzir o erro envolvido no cálculo do volume total transportado pela fita, que atualmente pode chegar em até 8,17% no atual sistema supervisorio, responsável pelo cálculo do volume total e do ângulo de repouso do produto em transporte (GIZA, 2017). Também pode ser feita uma análise operacional do transportador, visto que estes são comercializados com uma dada capacidade de carga e sua subutilização pode acarretar problemas de natureza elétrica e gerar multas junto à concessionária de energia elétrica.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo avaliar sistemas de medição de velocidade para uma fita transportadora e buscar a melhoria do sistema atual. Para tal foi necessário cumprir etapas específicas, como:

- Buscar possibilidades de medição da velocidade da fita;
- Montar os equipamentos necessários e os instalar no protótipo;
- Realizar testes e coletar diversos dados de velocidade;
- Confrontar dados para validar o estudo da precisão.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são apresentados os referencias teóricos, equipamentos e componentes necessários ao estudo do caso.

2.1 TRANSPORTADORES DE GRÃOS

São equipamentos eletromecânicos utilizados para o transporte de grãos sólidos de um ponto ao outro e em qualquer direção, interligando máquinas e estruturas, visando o menor dano possível ao produto, continuamente, de forma individual ou integrada com outros transportadores (OCHÔA, 2011).

Os transportadores possuem elevada importância em UBS e seu uso inadequado pode ocasionar grandes danos mecânicos aos grãos em movimento (SILVA, 1994). Podem ser empregados sozinhos ou em conjunto com outros transportadores, constituindo partes de um sistema integrado de transporte, com rapidez e eficiência. A Figura 1 apresenta um sistema integrado, com alguns dos transportadores mais empregados em uma unidade UBS.

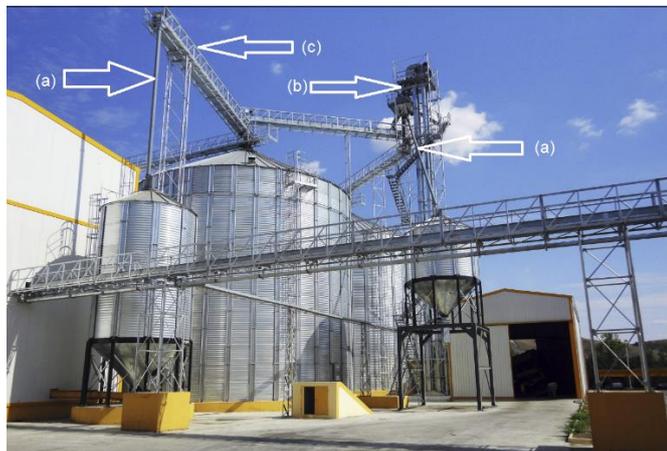


Figura 1. Sistema de transportadores. (a) Transportador de deslizamento. (b) Elevador de caçambas.
(c) Fita transportadora.

Fonte: www.agriexpo.online

Na Figura 2 vemos um sistema individual constituído por um elevador de caçambas, movimentando o produto até o topo do silo para depois despejá-lo no seu interior.



Figura 2. Sistema individual.

Fonte: www.componente.ind.br

Os transportadores podem ser caracterizados de acordo com o tipo de movimento, sendo este horizontal, vertical ou por deslizamento. Os modelos mais utilizados em instalações industriais agrícolas são o transportador helicoidal, elevador de caçambas, fita transportadora e corrente transportadora (SILVA, 2005).

2.1.1 FITAS TRANSPORTADORAS

Projetada para movimentar produtos no sentido horizontal, uma fita ou correia transportadora é uma estrutura em que um motor, geralmente acoplado a um redutor, fornece um torque para movimentar uma correia sem fim constituída de borracha disposta em torno da polia-motora e da polia-movida, disposta sobre roletes que giram em seu próprio eixo por meio de mancais de forma a permitir um movimento livre. Ambas as polias estão presas em um sistema de contrapeso que permite o tensionamento adequado da correia.

Esse tipo de transporte apresenta alta eficiência em comparação aos demais transportadores, pode conduzir produtos em elevadas distâncias, ocasiona baixos danos mecânicos aos grãos, possui elevada capacidade de transporte, permite a carga e descarga em quaisquer pontos do trajeto e emitem baixa poluição sonora (OCHÔA, 2011).

As principais características que esse transportador deve possuir são: (a) flexibilidade – a fita deve ser capaz de adaptar-se a qualquer diâmetro da polia motor e também moldar-se de forma contínua sobre os roletes; (b) resistência à tensão – capacidade da fita de resistir ao esforço de tensão em que estará submetida durante toda sua operação; (c) resistência à corrosão – capacidade da fita de resistir aos

agentes químicos utilizados nos tratamentos dos grãos transportados (DOBIE e CURLEY, 1963).

Segundo Silva (2005) esses equipamentos são encontrados em diversas configurações:

- Simples: único sentido de transporte;
- Reversível: duplo sentido de transporte vindo da capacidade de reversão de torque da polia-motriz;
- Dupla: permite transporte de produtos em ambos os sentidos simultaneamente;
- Blindada: a fita é envolvida por uma caixa metálica com intuito de proteger os produtos.

A Figuras 3 e Figura 4 abaixo mostram dois exemplos de modelos comerciais de fitas transportadoras utilizadas em instalações industriais.



Figura 3. Fita transportadora de curta distância.

Fonte: www.terranovadistribuidora.com.br



Figura 4. Fita transportadora de longa distância.

Fonte: www.viga.ind.br

Os roletes das fitas transportadoras podem ser dispostos de diferentes formas, dependendo da capacidade de transporte projetada e do produto a ser transportado, variando de roletes únicos verticais utilizados no transporte de pequenas quantidades até sistemas com seis a sete roletes em correias com centenas de toneladas por hora (t/h) (CARNIZELLO, 2011). Também variam em sua construção, sendo do tipo:

- Roletes de carga: dispostos ao longo da correia para suportar o peso dessa e do produto transportado, conforme mostra a Figura 5;



Figura 5. Roletes de carga vertical e triplo.

Fonte: www.equipecon.com.br

- Roletes de impacto: instalados na seção de alimentação da correia com intuito de suportar o impacto da queda do produto na fita e podem ser observados na Figura 6;



Figura 6. Triplo rolete de impacto.

Fonte: www.logismarket.ind.br

- Roletes de retorno: semelhante ao rolete de carga, geralmente de tipo único e vertical, instalado na parte inferior da estrutura, projetado para suportar apenas o peso da fita. Em casos de fitas extremamente pesadas podem ser utilizados roletes duplos com pequena angulação entre si. A Figura 7 mostra um exemplo desse tipo de rolete.



Figura 7. Rolete vertical único de retorno.

Fonte: www.salesgama.com.br

- Roletes de transição: vistos na figura 8, são roletes de carga onde seus apoios laterais possuem ajuste de ângulo para diminuir a curvatura da correia conforme essa aproxima-se da polia-motora ou da polia-retorno;



Figura 8. Roletes de transição que permitem o ajuste do ângulo da fita.

Fonte: www.vulmax-vr.com.br

2.2 VELOCIDADE DAS FITAS TRANSPORTADORAS

A escolha da velocidade operacional de uma fita transportadora depende da largura da correia, do comprimento do transportador e das características dos materiais transportados (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1995). Em transportadores com fins agrícolas, a Tabela 1 abaixo lista a velocidade máxima recomendada. Velocidades maiores podem ser utilizadas, desde que o transportador seja projetado de forma cuidadosa para essa finalidade.

Tabela 1 – Velocidades máximas recomendadas para uma fita transportadora.

Material transportado	Largura da correia (mm)	Velocidade (m/s)
Cereais ou outros materiais de muito fácil acomodação	400 – 500	2,5
	600 – 650	3,5
	800 – 1000	4
	1200 – 3000	5

Fonte: Adaptado NBR 8011/1995.

A determinação da velocidade de operação da fita pode ser de forma pontual ou de forma contínua. Na primeira, não há um sistema de medição instalado na transportadora, sendo necessário que um operador utilize um tacômetro (ou algum outro dispositivo de medição de velocidade) diretamente sobre a correia para realizar a medição, e então insira essa velocidade como parâmetro manual no sistema. Esta medição é instantânea e novas medições deverão ser realizadas caso algum parâmetro operacional seja alterado. Na figura 9 pode ser observado um tipo de medição pontual.

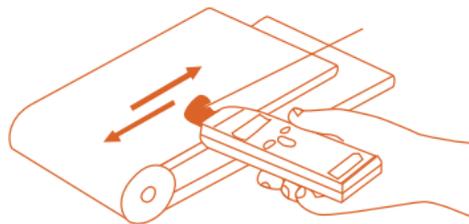


Figura 9. Medição realizada diretamente na correia por meio de tacômetro.

Fonte: www.metso.com

Uma medição pontual não irá atualizar-se periodicamente, portanto não contabiliza perdas que possam ocorrer após sua realização, como a mudança no carregamento, por exemplo.

No caso de medição contínua de velocidade, são utilizados sensores e sistemas eletroeletrônicos instalados em pontos chave do transportador, como no eixo do motor, na polia-retorno ou diretamente sobre a correia, e seus dados de leitura (RPM ou deslocamento) podem ser processados para obter a velocidade da correia. Essa velocidade instantânea pode ser exibida em uma Interface Humano-Máquina (IHM) ou utilizada em conjunto com outros sistemas, caso outros maquinários necessitam do sincronismo de velocidade com o transportador. A Figura 10 mostra

um sistema de medição contínua, transmitindo o movimento dos roletes para o sensor por meio de uma correia.



Figura 10. Medidor de velocidade por correia.

Fonte: www.sick.com

Um medidor de velocidade que utiliza a rotação dos roletes é inaplicável no protótipo utilizado em laboratório, pois tal estrutura não possui roletes de sustentação e a fita desliza sobre a superfície de madeira. A Figura 11 mostra um medidor comercial que pode ser utilizado no protótipo de laboratório, utilizando a movimentação da fita para realização a medição de velocidade.



Figura 11. Medidor comercial de velocidade de correias transportadoras. Código MVCT-DI01721.

Fonte: dieletrons.com

Para o medidor apresentado, ao posicionar a roda laranja diretamente sobre a fita, o movimento retilíneo é convertido para um movimento rotativo que então é medido, e após o devido processamento do sinal, informa no display a velocidade de deslocamento da fita e o dispositivo possui uma saída de corrente de 4-20 mA proporcional a essa velocidade, podendo ser utilizada em outros equipamentos de controle e supervisão. Esse medidor, apesar de utilizável no protótipo de laboratório,

pode tornar-se uma despesa muito grande em caso de comercialização do sistema de cálculo de rendimento, portanto são investigados sensores de baixo custo.

2.3 OUTROS MÉTODOS PARA MEDIÇÃO DA VELOCIDADE

Após conhecido os medidores de velocidade atuais é possível levantar novos métodos que podem ser aplicados no protótipo de fita transportadora. Uma proposta de medição pode ser desenvolvida para fitas transportadoras em que os eixos rotativos possuam difícil acesso. Com pequenos pontos brancos pintados ao longo de toda a fita e um sensor de luminosidade apontado nessa direção, é possível conhecer o instante em que cada ponto branco se desloca em frente ao sensor. Utilizando um microcontrolador para cronometrar o tempo necessário para que a fita desloque do próximo ponto até o sensor, e conhecendo previamente essa distância, é possível calcular a velocidade média durante o intervalo de tempo medido. Quanto menor a distância entre os pontos e mais preciso o sensor de luminosidade, maior será a precisão da medição.

Quando não utilizadas marcações de tinta, podem ser feitos pequenos furos na extensão da fita, e nesse caso utilizar um sensor de barreira. Quando o furo alinha-se com a fonte de luz, sabe-se a posição atual da correia. Medindo o tempo até o sensor atingir o próximo furo e conhecendo a distância entre os furos, calcula-se a velocidade da fita. Esse método pode se tornar inviável em fitas de grande porte com centenas de metros devido à dificuldade de realizar esta enorme quantidade de furos igualmente espaçados entre si, e os furos ao longo da correia podem enfraquecer sua estrutura física, que estará sempre tensionada em sua operação. É necessário um estudo prévio de viabilidade para determinar se a correia pode continuar sua operação mesmo com os furos.

Para realizar a medição de velocidade sem alterar características da fita, é possível medir a distância deslocada utilizando um sensor óptico, similar aos encontrados em mouses recentes. Esse sensor não necessita da referência dos pontos brancos ou furos para medir o deslocamento da fita. Seu funcionamento é análogo ao de uma câmera fotográfica de baixa qualidade, capturando várias imagens por segundo e por meio de processamento digital de imagens fornece uma saída digital proporcional à distância percorrida desde a última leitura.

Nesse trabalho foi utilizado o método de marcações brancas, pois criar dezenas de furos subsequentes pode vir a danificar a estrutura física da fita, além da dificuldade de realizar tais furos com a correia montada e tracionada. Também foi utilizado o método do sensor ótico a fim de comparar ambos os sensores, e verificar qual metodologia possui maior precisão de medição.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados os materiais e métodos empregados na montagem da bancada de ensaios e no decorrer dos testes.

3.1 OBJETO DE CASO

O objeto de estudo (protótipo de fita transportadora visto na Figura 12) para o qual foi implementado o sistema desenvolvido possui algumas características não-convencionais em relação as fitas comerciais.



Figura 12. Protótipo de fita transportadora. (a) Visão geral. (b) Perfil da fita.

Fonte: Autor.

O protótipo de laboratório não utiliza roletes de sustentação, portanto a fita desliza sob uma superfície de madeira e fica sujeita a um atrito maior, necessitando mais torque do motor.

A medição da velocidade da fita foi realizada conforme dois métodos previamente discutidos, por meio de marcações na fita e juntamente com um sensor de luminosidade e um sensor óptico, comumente usado em *mouses* de computadores.

3.2 SENSORES

A próxima seção aborda os sensores utilizados, os métodos empregados para sua utilização e as devidas ligações elétricas.

3.2.1 Resistor Dependente de Luz

Um dos sistemas de determinação empregados no estudo de caso foi composto por um Resistor Dependente de Luz (LDR), um tipo de resistor variável controlado pela quantidade de luz incidente sobre ele visto na Figura 13.



Figura 13. Resistor Dependente de Luz

Fonte: www.cytron.io/

Neste resistor sua resistência elétrica varia de alguns milhões de ohms para um local escuro até algumas centenas de ohms para um local claro. Dessa maneira, conforme Figura 14, utilizou-se de um divisor de tensão para obter-se um valor de tensão em função da luminosidade incidente, juntamente com um LED (*Light Emissor Diode* – Diodo Emissor de Luz) vermelho de forma obter uma maior reflexão da luz quando centrado em um ponto branco. Essa tensão é definida como entrada analógica e convertida para um valor digital pelo microcontrolador, sendo uma maior luminosidade lida como um menor valor, variando de 0 a 1023.

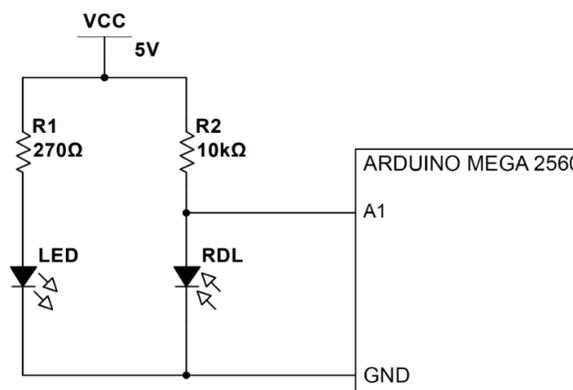


Figura 14. Esquema elétrico desenvolvido para a utilização do RDL.

Fonte: Autor.

Para realizar a medição da velocidade por meio desse sensor inicialmente mediu-se o comprimento total da correia, totalizando 627 cm. Após isso, a borda da

fita foi lixada e pintada com tinta preta para maior precisão do sensor. Foi utilizado fita adesiva branca na correia para dividi-la em 11 partes iguais de 57 cm e fixou-se o sensor sobre a correia, conforme visto na Figura 15.



Figura 15. Sensor fixado sobre a fita e marcações brancas ao fundo.

Fonte: Autor

Um maior número de divisões da fita significa maior amostragem da velocidade, tornando a medição mais próxima de um monitoramento em tempo real. Ao mesmo tempo, também significa um maior volume de dados enviados ao microcontrolador e um menor tempo de recuperação para o LDR. Considerando o sistema isolado, o microcontrolador é capaz de realizar os cálculos necessários, porém considerando o caso do sistema cálculo do rendimento, onde o número de operações é significativamente maior, a inclusão de mais divisões pode atingir o limite de processamento do microcontrolador.

Para testar o funcionamento do sensor de luminosidade, a fita transportadora foi acionada em velocidade máxima e foi capturado o valor digital de luminosidade lido pelo microcontrolador, conforme visto na Figura 16.

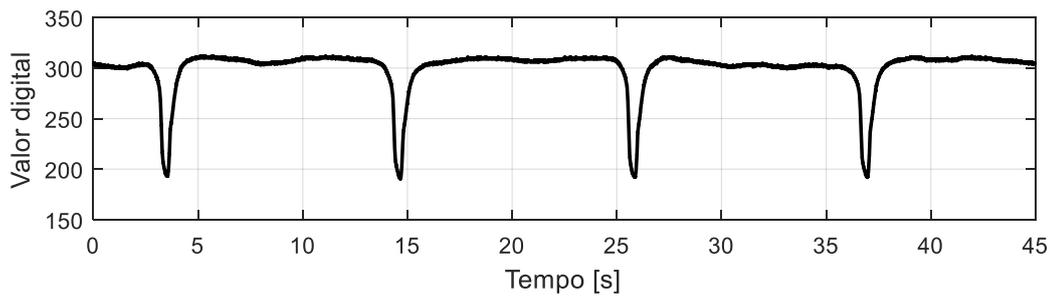


Figura 16. Valor digital de luminosidade em função do tempo com a fita em velocidade máxima.

Fonte: Autor.

Verificou-se um padrão recorrente de aumento da luminosidade devido a reflexão da luz do LED nas marcações brancas, o que permite a escolha de um valor limite que fará o disparo do cronômetro para a medição da velocidade.

3.2.2 Sensor Óptico

O segundo sistema de determinação de velocidade utilizou um sensor PAN3402. Esse sensor foi escolhido por sua simplicidade, por suas características se adequarem ao protótipo da fita transportadora e por ser um sensor óptico de baixo custo. (Figura 17).

Neste caso, o circuito integrado funciona como uma câmera de baixa resolução, tirando fotos da superfície abaixo a cada certo intervalo de tempo, comparando as duas imagens e por fim enviando um sinal digital em função da distância percorrida relativa à última imagem. Possui resolução de até 1000 pontos por polegada, significando reconhecer um deslocamento mínimo de $25.4 \mu\text{m}$, ou seja, a cada $25.4 \mu\text{m}$ percorridos pelo sensor, o valor digital da saída foi incrementado por 1.

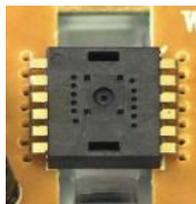


Figura 17. Sensor Pixart PAN3402.

Fonte: www.club.dns-shop.ru

A velocidade máxima da fita para que o sensor mantenha sua precisão é de 28 polegadas por segundo, ou aproximadamente 71 cm/s, segundo as especificações do fabricante.

Para o emprego do sensor em questão foi utilizada uma pequena placa de circuito impresso, a fim de facilitar suas ligações elétricas (Figura 18).

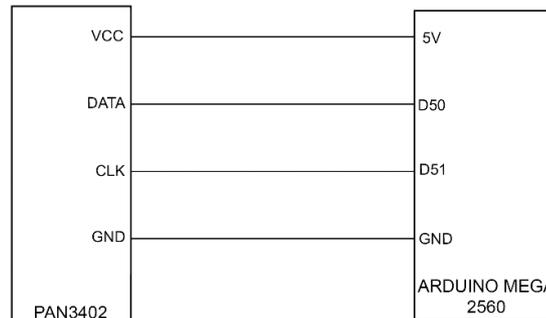


Figura 18. Diagrama de ligações do sensor PAN3402.

Fonte: Autor

Deste modo, o sensor comunicou-se com o microcontrolador por meio do protocolo PS/2, interface de comunicação com código aberto e fácil utilização. Os dados de movimento foram enviados na direção X e Y utilizando valores digitais que variam de -128 a 127, assim, fez-se necessário a conversão para uma grandeza de distância para realizar o cálculo da velocidade. Utilizando a resolução padrão de 1000 pontos por polegada, cada valor unitário enviado pelo sensor corresponde à 2,54 cm dividido por 1000 pontos (KAMPHUIS, 2007). Assim, multiplicou-se o valor total recebido por essa constante de distância, conforme a equação 3.

$$D = \frac{2,54N_d}{R} = \frac{2,54N_d}{1000} = 0,00254N_d \quad 3$$

onde:

D = distância percorrida relativa à última medição [cm];

N_d = valor digital recebido do sensor;

R = resolução do sensor, em pontos/polegada.

A placa de circuito impresso foi colada em uma caixa de proteção e fixada sobre a fita para permanecer em contato direto com a superfície, conforme mostra a Figura 19, visto que, a folha de dados do fabricante especifica uma distância máxima de 7,5 mm entre a superfície e o sensor para funcionamento ideal.



Figura 19. Sensor óptico posicionado em contato direto com a fita.

Fonte: Autor

3.3 OBTENÇÃO DA VELOCIDADE

Para obtenção da velocidade operacional da fita utilizou-se o Arduino MEGA 2560, que possui o microcontrolador Atmega2560, devido a sua disponibilidade de já ter sido utilizado no sistema de cálculo do rendimento (GIZA, 2017). Os fluxogramas apresentados na Figura 20 representam os algoritmos desenvolvidos para o cálculo da velocidade utilizando cada sensor separadamente.

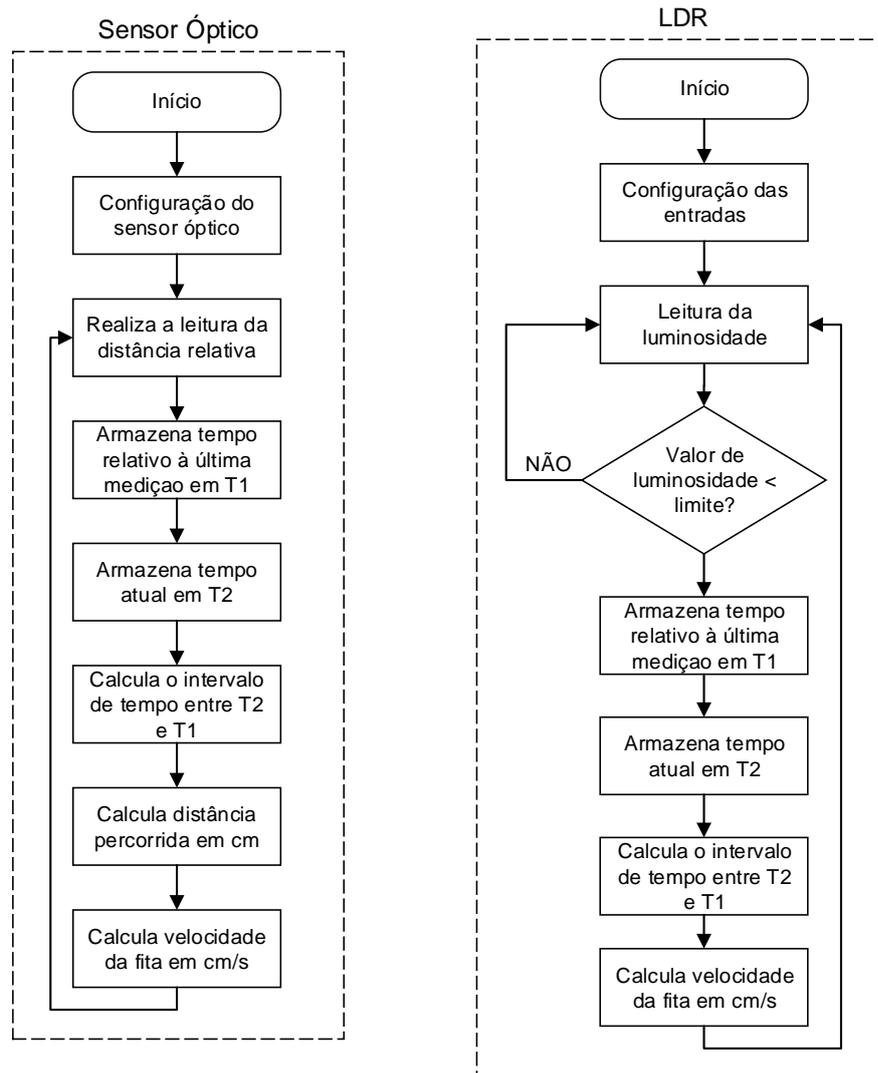


Figura 20. Fluxograma do sistema de medição da velocidade.

Fonte: Autor.

O cálculo da velocidade representado no fluxograma foi realizado seguindo a equação de velocidade média expressa pela equação 4:

$$v = \frac{\Delta d}{\Delta t}$$

4

sendo v = velocidade média em cm/s;

Δd = distância fixa entre as marcações na fita ou o resultado do cálculo da distância percorrida, no algoritmo do RDL ou do sensor óptico, respectivamente;

Δt = intervalo de tempo percorrido desde a última medição.

Os algoritmos foram desenvolvidos em linguagem de programação C, utilizando a interface de programação própria da empresa Arduino. Posteriormente, conectou-se os sensores de forma adequada com a placa de desenvolvimento, os códigos foram executados e o valor da velocidade capturado utilizando o computador.

Os procedimentos de tomada de dados de velocidade (Tabela 2), se deu inicialmente com a fita operando sem carga, com frequências controladas pelo inversor de frequência de 30 a 60 Hz, em intervalos de 5 Hz. A fim de confronto de dados, além das velocidades fornecidas e calculadas pelos sistemas descritos anteriormente, foram tomados dados da velocidade proveniente do inversor de frequência conforme utilizada no sistema de cálculo de rendimento (GIZA, 2017) e, a partir da leitura direta do tempo por um espaço de 57 cm, por meio de cronômetro, foi estimada a velocidade de operação da fita. Após finalizados os testes a vazio, a caixa de contenção foi abastecida com 30 kg de milho seco e foi utilizada metade da abertura total, com frequências controladas pelo inversor de 30 e 60 Hz.

Tabela 2 – Descrição dos testes realizados

Sensor utilizado	Grupo	Frequência ajustada [Hz]	Produto utilizado	Quantidade de amostras
LDR	A	30	Vazio	50
	B	35	Vazio	50
	C	40	Vazio	50
	D	45	Vazio	50
	E	50	Vazio	50
	F	55	Vazio	50
	G	60	Vazio	50
	H	30	Milho	11
	I	60	Milho	21
Óptico	J	30	Vazio	100
	K	35	Vazio	100
	L	40	Vazio	100
	M	45	Vazio	100
	N	50	Vazio	100
	O	55	Vazio	100
	P	60	Vazio	100
	Q	30	Milho	2700
	R	60	Milho	5000

Fonte: Autor

3.4 TRATOS ESTATÍSTICOS

Com os dados coletados, foram realizados os cálculos dos indicadores estatísticos para apresentação e comparação dos dados.

3.4.1 Média

É a medida que representa o ponto de equilíbrio ou ponto central do conjunto de dados, definida pela equação

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad 5$$

sendo \bar{x} a média, x_i o x -ésimo dado e n o número total de dados.

3.4.2 Variância amostral

É a medida que representa o desvio quadrático médio da média dos dados. Quando é conhecida apenas uma amostra de todos os dados, utiliza-se a variância amostral, definida pela equação

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad 6$$

sendo s^2 a variância amostral.

Possui unidade quadrática em relação aos dados originais, ou seja, se a unidade dos dados for cm/s, a variância é da forma cm²/s².

3.4.3 Desvio padrão amostral

Definido pela raiz quadrada da variância amostral, representa a dispersão dos dados em torno da média, neste caso com a mesma unidade dos dados. Um baixo valor de desvio padrão indica que os dados tendem a estar próximos do valor médio. É calculado pela fórmula

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad 7$$

sendo s o desvio padrão amostral.

3.4.4 Coeficiente de variação (CV)

O coeficiente de variação, também conhecido como desvio padrão relativo, indica quão grande é a dispersão dos dados em relação à média, e comumente é expresso em porcentagem. É definido por

$$CV(\%) = 100 \times \frac{s}{\bar{x}}, \quad 8$$

com $CV(\%)$ sendo o coeficiente de variação em porcentagem.

3.4.5 Erro relativo

Utilizado na análise de exatidão, o erro relativo representa em porcentagem quão grande é a diferença entre um valor medido em relação à um valor esperado. É calculado pela equação

$$e_r = \frac{100(V_{medido} - V_{esperado})}{V_{esperado}} \quad 9,$$

Onde e_r representa o erro relativo em porcentagem, V_{medido} sendo o valor medido e $V_{esperado}$ como o valor esperado.

4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos e as discussões acerca do estudo de caso.

4.1 MEDIÇÕES DE VELOCIDADE DA FITA SEM CARGA

Na análise da velocidade da fita sem carga foram avaliados os dois sistemas por meio de parâmetros estatísticos dos dados e cálculos de erro relativo. Inicialmente, a Tabela 3 exibe os seguintes dados:

- grupos de medição conforme a frequência de operação;
- velocidade da fita estimada por meio de um cronômetro externo;
- a velocidade do inversor, ou seja, aquela estimada com base no sinal analógico proporcional à frequência de operação do motor;
- velocidade medida, sendo a média de todos os dados coletados conforme descrito na Tabela 2;
- s^2 sendo a variância amostral;
- s sendo o desvio padrão amostral;
- CV(%) sendo o coeficiente de variação em porcentagem.

Tabela 3 – Dados de velocidade e parâmetros estatísticos para a fita operando sem carga.

Sensor	Grupo	Velocidade cronometrada [cm/s]	Velocidade do inversor [cm/s]	Velocidade medida [cm/s]	s^2	s	CV(%)
LDR	A	2,60	2,68	2,6042	0,0001	0,0078	0,3014
	B	3,02	3,14	3,0226	0,0001	0,0103	0,3396
	C	3,44	3,58	3,4402	0,0001	0,0104	0,3023
	D	3,85	4,05	3,8558	0,0001	0,0120	0,3104
	E	4,28	4,51	4,2832	0,0001	0,0122	0,2847
	F	4,70	4,95	4,6964	0,0002	0,0155	0,3298
	G	5,13	5,23	5,1202	0,0002	0,0146	0,2859
Óptico	J	2,60	2,68	2,6554	0,0015	0,0391	1,4724
	K	3,02	3,14	3,0265	0,1236	0,3516	1,1617
	L	3,44	3,58	3,4499	0,0212	0,1456	4,2204
	M	3,85	4,05	3,9256	0,0158	0,1258	3,2046
	N	4,28	4,51	4,3319	0,0065	0,0809	1,8675
	O	4,70	4,95	4,7616	0,0267	0,1633	3,4295
	P	5,13	5,23	5,1575	0,004	0,0636	1,2331

Fonte: Autor.

Com base nos dados coletados e representados na Tabela 3, verifica-se que o sensor de luminosidade apresenta menor variação na medição da velocidade, com um CV máximo de aproximadamente 0,34%, ao mesmo tempo que o sensor óptico apresenta uma variação de até 4,3%, indicando que este sensor apresenta maior disparidade de dados coletados.

Vale notar que um *mouse* é um dispositivo utilizado com uma certa realimentação visual, ou seja, nós vemos em tempo real seu movimento na tela e corrigimos a movimentação desejada. Por isso, nestes dispositivos, a busca pela precisão se dá em detectar a menor movimentação possível, não sendo necessário que o menor movimento detectado seja de fato 25.4 μm , conforme especificado na folha de dados. Assim, quando utilizado de maneira fixa para realizar uma medição de distância, a natureza da sua precisão promove grande variação nos dados coletados.

Também há o erro inserido pelo fato do sensor medir o deslocamento no eixo X e no eixo Y, podendo ocorrer pequenas movimentações na sua posição que modifiquem o resultando, pois o sensor não estará totalmente paralelo ao eixo desejado. Uma parte do movimento da fita pode ser registrado no eixo perpendicular, neste caso ignorado pelos cálculos e introduzindo um pequeno erro.

Segundo Ng (2003), a altura do sensor em relação à superfície de medição é um importante fator para sua precisão. Erros de até 25% foram encontrados quando a altura do sensor foi superior a 1,25 mm, enquanto na altura de 0 a 0,25 mm os erros não ultrapassaram a faixa de 3%. Como a fita não possui movimento totalmente estável e seu nível pode variar conforme o movimento, é compreensivo um erro maior nesse sensor.

O gráfico de caixas, conforme Figura 21, também conhecido por *boxplot*, permite uma rápida compreensão visual de como o conjunto de dados comporta-se. É possível visualizar o valor máximo e mínimo, representados aqui pela linha preta; a média, representada pela linha vermelha; o primeiro e terceiro quartil, representados pelas bordas do retângulo; por fim, os valores muito discrepantes do conjunto (*outliers*), representados pelo ponto vermelho.

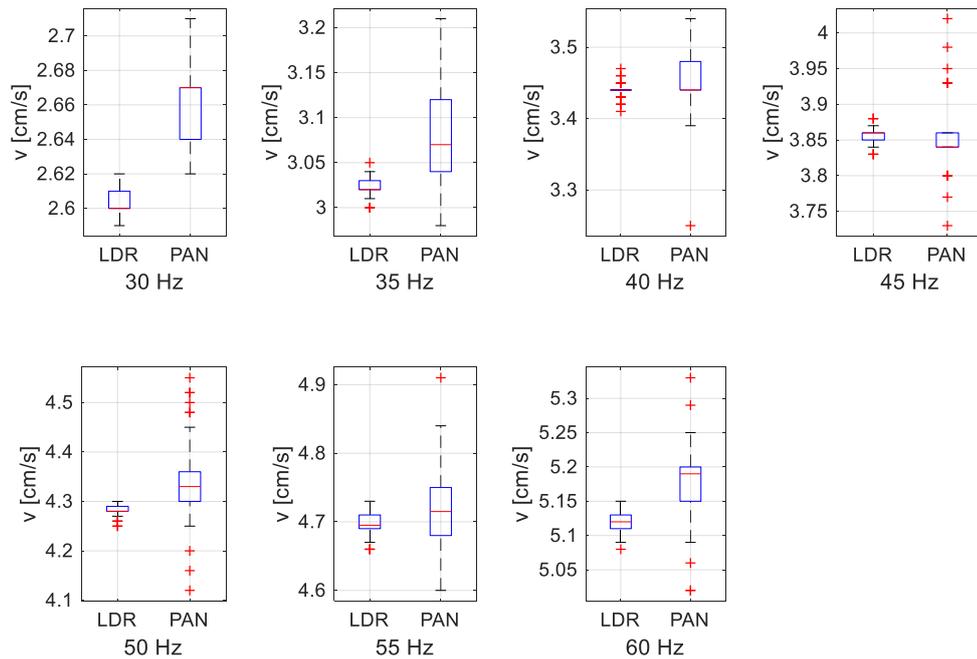


Figura 21. *Boxplot* dos testes sem carga.

Fonte: Autor.

Assim como os dados estatísticos anteriores, o *boxplot* também confirma o fato de que o sensor óptico possui uma variação de captura maior do que o sensor de luminosidade, com significativamente mais valores discrepantes. Também é visível uma considerável diferença em relação à média dos dados coletados, seguindo com a explicação de que a precisão da medida de deslocamento não é foco principal deste sensor, além de outras peculiaridades já discutidas.

Já no caso do LDR, a medição é algo praticamente uniforme, sem grandes variações. No caso de 40 Hz, por exemplo, sua variação é tão pequena que 6 valores são considerados valores discrepantes do resto do conjunto, mesmo com um CV de apenas 0,3%. Isso vem do fato de que o sensor de luminosidade não apresenta contato direto com a fita, não sofrendo interferências diretas do movimento.

A Tabela 4 apresenta novamente os grupos de medição, a velocidade medida pelo cronômetro, a velocidade de controle e a média dos dados capturados. Também mostra o erro relativo à velocidade cronometrada e_{V_C} e o erro relativo à velocidade do inversor e_{V_I} , calculados por meio da equação 9.

Tabela 4 – Erros relativos das medições com a fita sem carga.

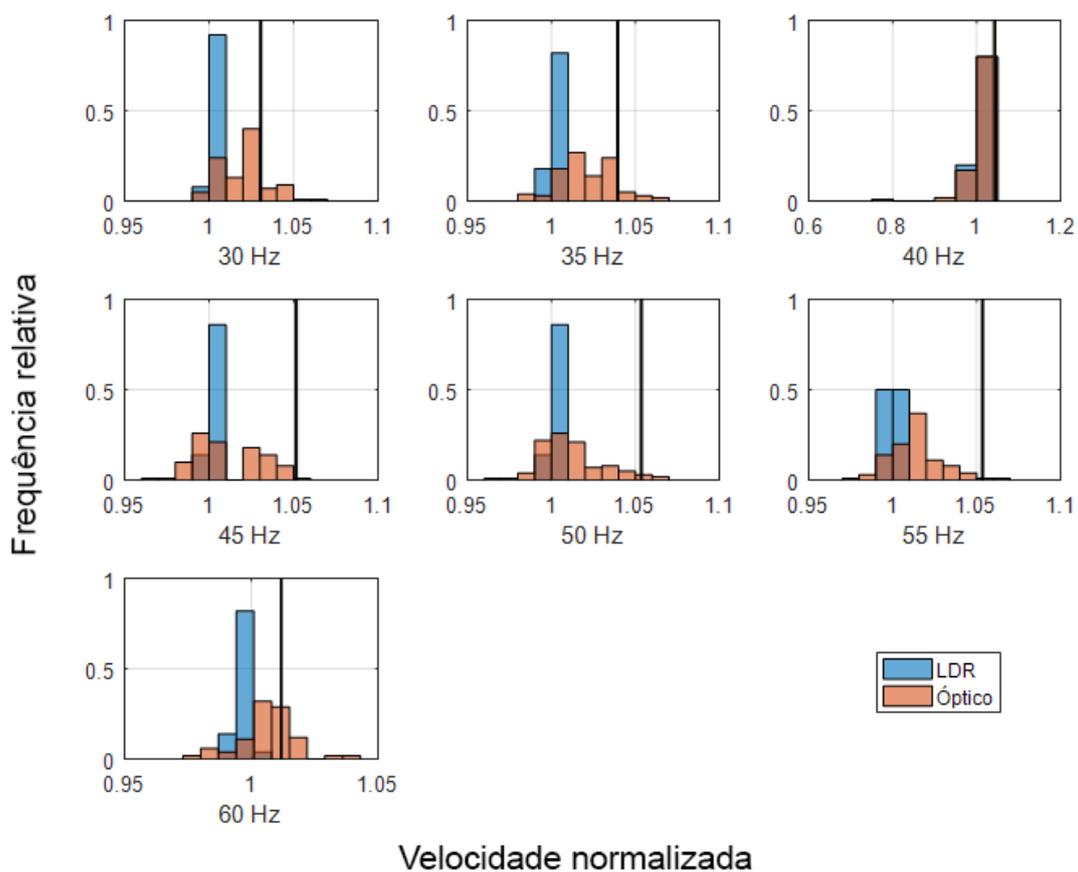
Sensor	Grupo	Velocidade cronometrada [cm/s]	Velocidade do inversor [cm/s]	Velocidade medida [cm/s]	e_{Vc}	e_{Vi}
LDR	A	2,60	2,68	2,6042	0,16%	-2,83%
	B	3,02	3,14	3,0226	0,09%	-3,74%
	C	3,44	3,58	3,4402	0,01%	-3,91%
	D	3,85	4,05	3,8558	0,15%	-4,80%
	E	4,28	4,51	4,2832	0,07%	-5,03%
	F	4,70	4,95	4,6964	-0,08%	-5,12%
	G	5,13	5,23	5,1202	-0,19%	-2,10%
Óptico	J	2,60	2,68	2,6554	2,13%	-0,92%
	K	3,02	3,14	3,0265	0,21%	-3,62%
	L	3,44	3,58	3,4499	0,29%	-3,63%
	M	3,85	4,05	3,9256	1,96%	-3,07%
	N	4,28	4,51	4,3319	1,21%	-3,95%
	O	4,70	4,95	4,7616	1,31%	-3,81%
	P	5,13	5,23	5,1575	0,54%	-1,39%

Fonte: Autor.

Novamente, conforme Tabela 4, os dados coletados juntamente com a análise de erro permitem observar um erro menor em relação à velocidade da fita nos dados capturados pelo sensor de luminosidade, com erro máximo de -0,19% obtido no grupo G, ao mesmo tempo que o sensor óptico apresenta erro máximo de 2,31% no grupo J. Já em relação ao erro relativo à velocidade de controle, notou-se que tal grandeza difere da velocidade obtida por meio do cronômetro externo, portanto um erro maior de e_{Vc} mostra o sensor medindo velocidades diferentes do que aquela utilizada pelo sistema de cálculo de rendimento, sendo aberta a possibilidade de uma possível melhora em sua precisão. Todos os erros relativos à velocidade de controle são negativos, ou seja, a velocidade da fita é menor do que a estimada por meio da frequência de saída do inversor. Tal informação condiz com a realidade, pois há diversas perdas por atrito no protótipo de fita transportadora.

O erro relativo calculado utilizando o sensor óptico condiz com outros estudos similares. Kamphuis (2007) utilizou um sensor com resolução de 1600 pontos por polegada para medir o tamanho de uma folha de papel A4, padronizada em 297 mm. O erro relativo médio deste estudo foi de 3,16%, com CV de 2,25%, sendo ambos os valores de magnitude similares aos apresentados na Tabela 4.

A Figura 22 apresenta um histograma de todos os dados coletados, divididos por frequência. O eixo vertical representa a frequência relativa das classes de dados, o eixo horizontal representa a velocidade normalizada em relação à velocidade de operação, e a barra vertical representa a velocidade de controle, obtida a partir do inversor de frequência. Por exemplo, em uma breve análise do caso de 30 Hz, verifica-se que o valor 1 no eixo x significa a velocidade de operação da fita e a barra vertical, que representa a velocidade estimada pelo inversor de frequência, sendo aproximadamente 3% maior do que a velocidade de operação.



O histograma da Figura 22 mostra graficamente como as medidas feitas pelo LDR são centradas em torno da velocidade de operação, enquanto as medidas do sensor óptico são espalhadas mais próximas da velocidade de controle. Este fato indica que o LDR pode ser uma opção mais viável de medição comercial, apresentando menor dispersão dos dados e com a grande maioria dos dados centrados com a velocidade de operação, sendo esse o objetivo principal do sistema.

4.2 MEDIÇÕES DE VELOCIDADE DA FITA COM CARGA

Nesta subseção será analisada a velocidade da fita com carga. A caixa de contenção foi carregada com 30 kg de milho seco, a fita foi ligada com a frequência ajustada desejada, esperou-se o devido tempo para sua velocidade estabilizar e então a comporta foi aberta com metade de sua capacidade máxima. A velocidade foi capturada do momento da abertura até o momento em que todos os grãos fossem esvaziados da fita.

A Figura 23 mostra o gráfico da velocidade medida pelo LDR em função do tempo percorrido até escoar todo o produto, em ambas as frequências ajustadas de 60 e 30 Hz.

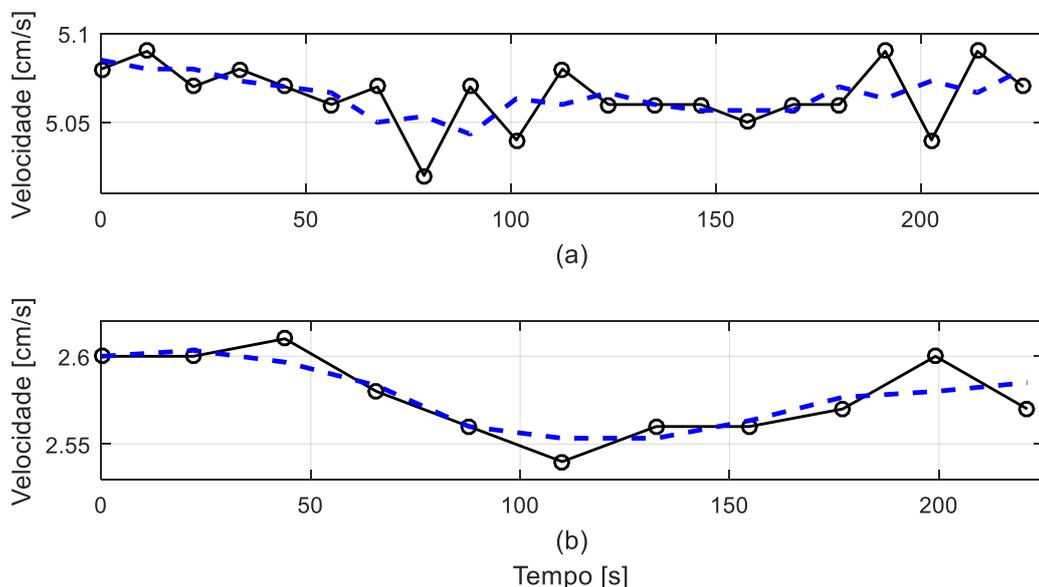


Figura 23. Velocidade com carga medida em função do tempo. (a) Frequência ajustada em 60 Hz. (b) Frequência ajustada em 30 Hz. (Linha preta) Velocidade capturada. (Linha azul tracejada) Média móvel da velocidade com tamanho igual a 3.

Fonte: Autor.

A velocidade em função do tempo mostra um importante efeito a ser considerado no sistema de cálculo de rendimento. A fita perde velocidade conforme é carregada. Tal efeito, completamente desconsiderado caso seja utilizado a medição pelo inversor de frequência, pode vir a ser o maior causador de erros de todo o sistema do cálculo de volume total transportado. Nota-se então a velocidade estabilizando-se e aumentando novamente quando descarregada.

A Tabela 5 apresenta a descrição dos dados capturados utilizando conceitos estatísticos análogos aos utilizados nos testes sem carga.

Tabela 5 – Descrição dos resultados, fita com carga.

Sensor	Grupo	Velocidade cronometrada sem carga	Velocidade do inversor	Velocidade medida	s^2	s	CV
LDR	H	2,60	2,68	2,5773	0,0005	0,0224	0,8692%
	I	5,14	5,23	5,0652	0,0003	0,0178	0,3511%
Óptico	Q	2,60	2,68	2,5966	0,0149	0,1222	4,7052%
	R	5,14	5,23	5,0118	0,0320	0,1789	3,5692%

Fonte: Autor.

Devido ao efeito da carga diminuir a velocidade da fita, a média da velocidade medida é menor quando comparada à velocidade sem carga ou a velocidade do inversor. Também observou-se que o sensor óptico manteve sua maior variação de medição, chegando a 4,71% contra 0,87% do LDR.

A Tabela 6 mostra os grupos de medição, a média dos dados coletados, o erro relativo à velocidade sem carga $e_{V_{sc}}$ e o erro relativo à velocidade do inversor e_{Vi} .

Tabela 6 – Erros relativos das medições com a fita carregada

Sensor	Grupo	Velocidade cronometrada sem carga	Velocidade do inversor	Velocidade medida	$e_{V_{sc}}$	e_{Vi}
LDR	H	2,60	2,68	2,5773	-0,87%	-3,83%
	I	5,14	5,23	5,0652	-1,45%	-3,15%
Óptico	Q	2,60	2,68	2,5966	-0,13%	-3,11%
	R	5,14	5,23	5,0118	-2,49%	-4,17%

Fonte: Autor.

Como pode ser observado na Tabela 6, a tendência de obter-se uma velocidade medida menor em relação àquela calculada por meio do inversor de frequência manteve-se também nos testes com carga, mostrando um erro máximo de -4,17%. Também existe um maior erro percentual quando a fita é utilizada com maior velocidade, pois a potência do motor é um valor fixo e a fita carregada exige maior torque, portanto a velocidade tende a diminuir mais.

A Figura 24 apresenta o *boxplot* dos dados coletados com a fita carregada. São apresentados os valores máximos e mínimos, o primeiro e terceiro quartil, a média e os valores *outliers* como o símbolo '+' em vermelho.

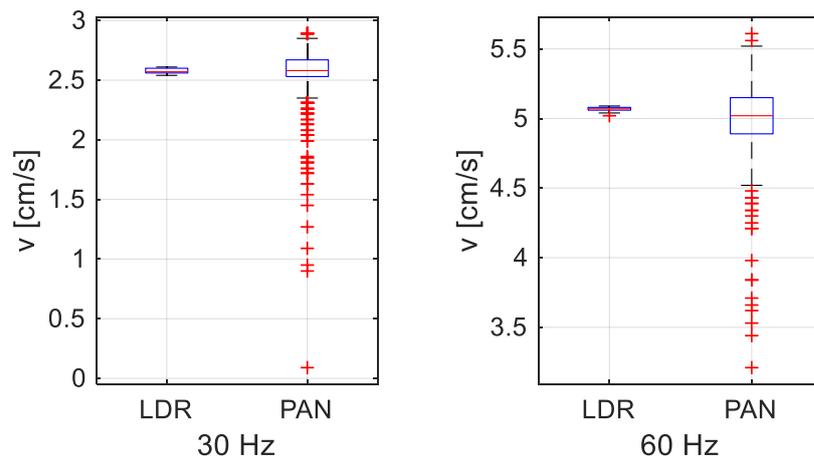


Figura 24. Boxplot das velocidades capturadas, fita com carga.

Fonte: Autor.

Com base na Figura 24, é possível verificar que as velocidades obtidas com carga, apesar de possuírem médias próximas, diferem grandemente em como são distribuídas. Nota-se grande dispersão de dados utilizando o sensor óptico, fator agravado pela quantidade de amostras coletadas e também pela possibilidade do produto transportado afetar o sensor ou a superfície preta da fita.

O sensor óptico captura dados aproximadamente a cada 10 ou 50 ms, dependendo da velocidade da fita, enquanto o sensor de luminosidade necessita que a fita percorra 57 cm, fato que acontece a cada 10 ou 23 segundos, aproximadamente, variando com a velocidade da fita. Como o tempo de esvaziar a fita é praticamente o mesmo não importando qual sensor está sendo utilizado, é fato que o sensor óptico gera um volume imenso de dados com mais valores discrepantes, seja por algum tipo de mal contato, interferências físicas ou elétricas no sensor ou falha em código. Tais valores discrepantes, se utilizados para o cálculo do volume transportado geram dados pontuais absurdos, podendo disparar alarmes e introduzindo erros de cálculo ao longo do tempo.

A Figura 25 apresenta um histograma análogo ao descrito anteriormente, com a frequência relativa no eixo horizontal, a velocidade normalizada em função da velocidade cronometrada para aquela frequência no eixo vertical e com a barra vertical representando a velocidade do inversor. Desta vez foram utilizados os dados coletados com a fita carregada.

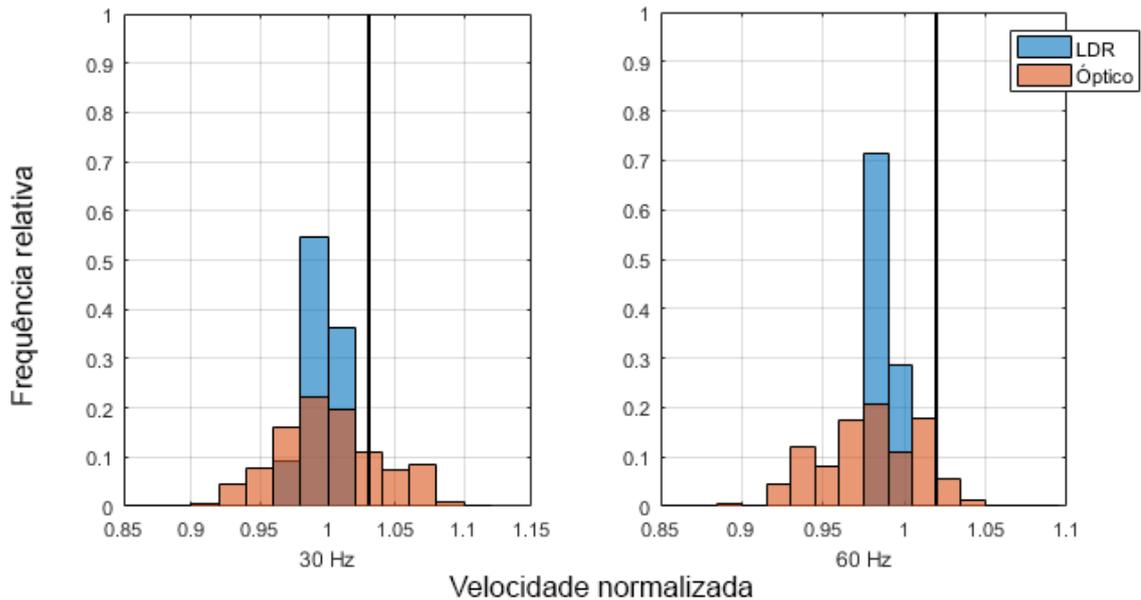


Figura 25. Histograma das medições de velocidade com carga.

Fonte: Autor.

De acordo com a Figura 25, é possível notar ambas as medições sendo mais dispersas do que no caso sem carga e também levemente à esquerda do ponto 1. Isso vem do fato de a fita perder velocidade conforme é carregada, deslocando as medições para uma velocidade menor. Tal efeito é agravado quando as medições são comparadas à velocidade do inversor, mostrando grande disparidade entre a velocidade de operação da fita e o que seria considerado no sistema de cálculo de rendimento. Também há o fato do sensor óptico ser mais propenso à interferências físicas das vibrações da fita, colisões com o produto e variações na altura da esteira, fatores que diminuem a precisão do sensor.

5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados obtidos pelo sistema de medição de velocidade desenvolvido aproximam-se dos valores reais, com erro máximo de 2,31% em relação à velocidade estimada sem carga, quando utilizado o sensor óptico. Quando comparado à velocidade calculada por meio do inversor frequência, esta que é utilizada no sistema de cálculo de rendimento, observou-se erro máximo de -5,13% utilizando o sensor de luminosidade, indicando que existe a possibilidade de uma atualização para a melhoria da precisão do sistema atual.

Além disso, os valores de velocidade sem carga medidos por meio do sensor óptico apresentaram coeficiente de variação máximo de 4,22%, enquanto os dados do sensor de luminosidade apresentaram uma variação máxima de 0,34%. Esse efeito é decorrente de diversos fatores discutidos, como precisão do sensor óptico utilizado, interferência dos grãos e do movimento da fita com o sensor, mudanças na altura do sensor em relação à superfície conforme a fita movimentada-se, interferências elétricas nos fios e cabos e outras não-idealidades do sistema. Assim, por realizar uma medição mais robusta e sem necessidade de contato direto do sensor com a fita, o LDR é o tipo de medição preferível para uma aplicação comercial.

Há melhorias a serem consideradas para o sistema de medição de velocidade, visto que, para uso comercial, o erro deve ser desprezível e os valores discrepantes não podem acontecer.

Inicialmente há a proposta de realizar um controle de velocidade em malha fechada, utilizando uma entrada de velocidade desejada por meio da interface gráfica do sistema de cálculo de rendimento. Assim, a medição de velocidade é realizada e utilizando algum método de controle escolhido, a frequência do inversor é ajustada para que seja atingida e mantida a velocidade desejada, corrigindo as perdas elétricas e mecânicas do sistema.

Em relação aos sensores, uma primeira sugestão de melhoria é a utilização de um sensor óptico com maior precisão. Sensores atuais podem chegar até 16000 pontos por polegada, registrando um deslocamento mínimo de aproximadamente 1,59 μm . Após escolhido o novo sensor, é necessário criar uma nova estrutura de fixação com maior qualidade e com ajuste de altura desejado, possibilitando escolher a melhor altura possível para a medição, sem que o sensor sofra interferências físicas devido ao movimento da fita. Também pode ser feito o estudo com um sensor de tecnologia

laser. Essa tecnologia utiliza um laser infravermelho para realizar a captura de imagens, provendo maior resolução e precisão na medida realizada.

No caso do sensor de luminosidade, pode ser relevante um estudo sobre tintas resistentes ao uso diário de uma fita transportadora. Assim, pintando a fita totalmente de preto e utilizando uma tinta branca de alta qualidade e reflexão, a precisão deste sensor pode vir a ser melhorada. Vale notar que esse sensor irá criar uma necessidade maior de manutenção da fita em relação ao sensor óptico, pois mesmo com uma tinta mais resistente a tendência é da tinta ser removida com o tempo, enquanto o sensor óptico, uma vez firmemente fixado em lugar estratégico para que o produto não interfira, tende a permanecer em funcionamento por um maior período de tempo. Também em relação ao sensor de luminosidade, pode ser feita a adição de mais marcações brancas, aumentando o número de medições por segundo para obter-se dados mais próximos de uma medição em tempo real.

Em ambos os casos há também a sugestão de melhora do código utilizado no microcontrolador, com filtros de dados discrepantes ou melhoria direta na implementação do algoritmo. Para o caso do sensor óptico, ao invés de calcular a velocidade a cada ponto de deslocamento recebido, é possível acumular diversos pontos e então calcular a velocidade média, impedindo que pontos muito discrepantes afetem o valor efetivo de velocidade. Já para o sensor de velocidade pode ser implementado um sistema que analisa a luminosidade ambiente e determina um melhor valor de disparo do cronômetro, visto que foi necessário manualmente alterar este parâmetro dependendo das condições de luminosidade do horário da coleta de dados. Um sistema automático impede que a luz ambiente interfira no sistema de medição de velocidade.

Observou-se, em geral, um melhor desempenho do sensor de luminosidade quando comparado ao sensor óptico, que apresentou maior variação na coleta de dados, sendo o primeiro uma melhor escolha para futuros estudos em relação ao sistema de cálculo de rendimento.

Por fim, o sistema desenvolvido atingiu as expectativas, mostrando que a velocidade obtida pelo inversor de frequência difere da velocidade de operação e comprovando que a velocidade da fita diminui conforme é carregada, abrindo a possibilidade de atualizações futuras visando a melhoria da precisão, buscando o nível de confiabilidade necessário para seu uso comercial.

6 REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8011: Cálculo da capacidade de transportadores contínuos - Transportadores de correia**. Rio de Janeiro, 1995.
- CARNIZELLO, D. C. **Transportador de correia: componentes e cálculos básicos para seu dimensionamento**. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá. Guaratinguetá, São Paulo, 2011. 64p.
- DOBIE, J.B. & CURLEY, R.G. **Materials handling for livestock feeding**, circular n. 517, University of California, 1963. 40p.
- GIZA, F. J. **Desenvolvimento de um sistema de leitura e cálculo do rendimento para fitas transportadoras a granel**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Departamento de Engenharia Eletrônica. Toledo, Paraná, 2017. 59p.
- HICKMANN, G. S. **Dimensionamento de um transportador de correia para o transporte de britagem**. Universidade do Vale do Taquari – Curso de Engenharia Mecânica. Lajeado, Rio Grande do Sul, 2017. 88p.
- KAMPHUIS, W. P. H. **Using optical mouse sensors for sheet position measurement**. Technische Universiteit Eindhoven. Department of Mechanical Engineering. Dynamics and Control Technology Group. Eindhoven. Fevereiro, 2007. 75p.
- MANE, S. P. et. al.. Trials and Analysis on Belt Conveyor System used for Cooling of Casting Mould. **International Journal of Current Engineering and Technology**. Índia, v. 5, n. 2, 2015.
- NG, T. W. The optical mouse as a two-dimensional displacement sensor. **Sensors and Actuators A: Physical**. Holanda. v. 107, n 1. 2003. p21-25.
- OCHÔA, A. L. S. **Avaliação do Índice de quebra de grãos em transportadores agrícolas**. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Panambi-RS, 2011. 48p.
- PixArt Imaging Inc., **PAN3402 PS/2 OPTICAL MOUSE SOC**, Data Sheet, Jan. 2008.
- RAY, S. **Introduction to Material Handling**. 1ª ed. Nova Delhi, Índia. New Age International (P) Ltd., Publishers, 2008. 244p.
- SILVA, J. S. e. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa-MG: Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa, 1994. 502p.

SILVA, L. C. da. **Armazenagem: Transporte de Grãos**. Universidade Federal do Espírito Santo. Departamento de Engenharia de Alimentos. Boletim Técnico. 2005. 6p.

TURCHETTI, V. A. **Estudo de Encoders Ópticos Baseados no Efeito Moiré e Projeto de um Kit de Encoder Didático**. Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Mecânica. Campinas, São Paulo, 2007. 152p.