

SISTEMA DE CONTAGEM EM MALHA FECHADA COM FIBRA ÓPTICA PARA REALIMENTAÇÃO DE CAVILHAS

Patrik Andrey Branco (SENAI) E-mail: patrikb@edu.sc.senai.br

Richard Elias Teijeiro (Univille) E-mail: richard.teijeiro@univille.br

Diego Alves de Miranda (Univille) E-mail: diegoalves_klx@hotmail.com

Resumo: Este artigo tem por objetivo principal apresentar a importância de um sistema de contagem em malha fechada com realimentação, através do sensoriamento de fibra óptica por barreira, aplicado nas ferragens do tipo cavilhas. E como objetivo secundário, identificar e eliminar as falhas do sistema de contagem em malha aberta, existente na aplicação anterior da empresa estudada. Trata-se da correção das possíveis falhas que ocorrem, como a contagem errada tanto para mais como para menos, o monitoramento da saída do processo comparando com entrada, através de um controle de realimentação. O instrumento de coleta de dados foram amostras e receitas retiradas na própria empresa estudada que possui este processo. Com base nos dados reais e práticos, juntamente com pesquisas bibliográficas, sites e fabricantes, constatou-se o impacto negativo que estes erros citados podem causar na aplicação das receitas e processos. Os resultados obtidos foram alcançados de acordo com objetivo proposto, através de análises de simulações e aplicação prática em laboratório. O conjunto de todo processo não será apresentado devido o sigilo da empresa, focando totalmente no processo de sensoriamento na realimentação. Com esta pesquisa, simulação e aplicação prática, chegamos a uma definição da importância do sistema de malha fechada, ou seja, controle com realimentação, e constatou-se a atenção para alguns itens como: variável a ser controlada, análise da planta, entendimento do processo, distúrbios e interferência que ocorrem somente na aplicação, coleta e análise de dados através de software específico.

Palavras-chave: Controle com Realimentação, Sensor Fibra Óptica, Software de Simulação.

CLOSED-LOOP COUNTING SYSTEM WITH OPTICAL FIBER FOR DOWEL FEEDBACK

Abstract: This paper's main objective is to present the importance of a closed-loop counting system with feedback, through optical fiber sensing via a barrier, applied to dowel-type hardware. And as a secondary objective, identify and eliminate flaws in the open-loop counting system, existing in the previous application of the studied company. This involves correcting possible failures that occur, such as incorrect counting for both plus and minus, monitoring the process output compared to the input, through feedback control. The data collection instrument was samples and recipes taken from the company studied that has this process. Based on real and practical data, together with bibliographical research, websites and manufacturers, it was verified the negative impact that these errors can cause in the application of recipes and processes. The results obtained were achieved in accordance with the proposed objective, through simulation analysis and practical application in the laboratory. The entire process will not be presented due to the company's confidentiality, focusing entirely on the feedback sensing process. With this research, simulation and practical application, we arrived at a definition of the importance of the closed-loop system, that is, control with feedback, and attention was paid to some items such as: variable to be controlled, plant analysis, understanding of the process, disturbances and interference that occur only in the application, collection and analysis of data through specific software.

Keywords: Control with Feedback, Fiber Optic Sensor, Simulation Software.

1. Introdução

Nos últimos anos a indústria vem sofrendo grandes desafios, como a quarta revolução industrial (indústria 4.0), diante deste avanço aborda-se o sistema de controle que refletirá diretamente na confiabilidade e repetibilidade da configuração desejada. A partir da necessidade de efetuar a contagem de ferragens, foi estabelecida a implementação de um controle em malha fechada, objetivando a redução de erro observado atualmente no sistema em malha aberta. ─

Este artigo visa abordar a adequação de um sistema de sensoriamento com realimentação através de sensores de fibra óptica. O dispositivo de contagem de ferragens contava com algoritmo inadequado e suscetível a erros.

Segundo Thomazini (2007, p22) a exatidão é a aptidão de um instrumento de medição em efetuar sua leitura e transformar em resultados verdadeiros. A precisão refere-se ao grau de repetibilidade do valor medido pelo transdutor, que possui um erro já embutido em sua construção, com uma variação de dois (2) à dez (10) por cento.

Este estudo foi elaborado utilizando, pesquisa descritiva, levantamentos bibliográficos, atribuições de artigos, análise do problema real, testes e coletas de dados práticos. Tema principal, “Sistema de contagem em malha fechada, aplicado em cavilhas, através de Fibra Óptica”, trata-se do valor desejado (set-point) ser confiável, repetitivo e sem a impactar a velocidade de produção, e disponibiliza a relocação ou redução de mão de obra.

2. Sistema de controle em malha fechada

Conforme Ogata (2010, p.6) algumas abordagens para se modelar o sistema de controle de malha fechada foram realizadas, com intuito de identificar o comportamento e controle das peças, durante a sua contagem no sistema. Nosso processo é dinâmico e possui somente uma variável (em sua saída), o sistema de controle se identifica como memorável, o sistema abordado refere-se a SISO, que significa Single-Input-Single-Output, quais estão relacionadas com o número de entradas e saídas do processo.

Conforme Ogata (2010, p.6-7), um sistema de controle pode ter vários componentes, e para engenharia de controle demonstrar estes componentes atuando, aplica-se um diagrama de blocos, e se adquire através de técnicas de simplificação desses diagramas. O diagrama de blocos é representado graficamente, destacando-se suas funções e seu fluxo de sinais entre eles, o bloco funcional ou simplesmente o bloco é um símbolo de operação matemática, que é aplicado ao sinal de entrada do bloco que produz o sinal de saída. Na Figura 1 pode-se analisar um diagrama de blocos e suas sinalizações.

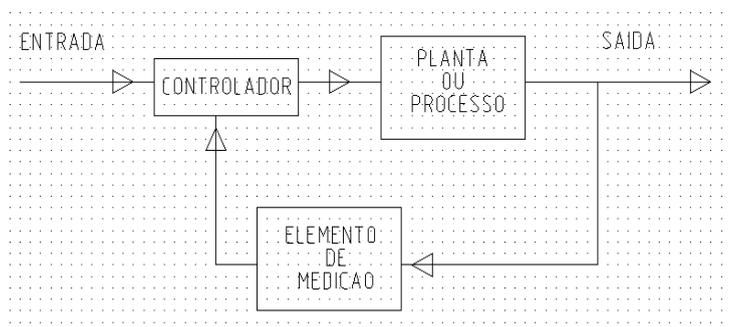


Figura 1 – Diagrama de bloco de um controle em malha fechada.

2.1 Planta

Ogata (2010, p.2), refere-se a planta como uma parte de um equipamento, e opera conjuntamente com demais componentes da máquina, cuja finalidade é controlar e desenvolver uma dada operação. Exemplos práticos de uma planta, como fornos, um reator químico ou uma espaçonave, sua localização no diagrama de blocos pode ser

visualizada na Figura 1.

2.2 Processo

Ogata (2010, p.3) contextualiza que o processo é uma operação natural, contínuo que avança em uma escala gradual até chegar ao seu resultado esperado. Esta sequência de operação pode-se mudar de estado, composição, dimensão, ou outras propriedades que possam definir um padrão.

2.3 Sistemas

Ogata (2010, p.3), refere-se a uma combinação de componentes que atuam conjuntamente e realizam um certo objetivo no controle. O sistema não está circunscrito apenas ao aspecto físico, pode-se aplicar em fenômenos abstratos dinâmicos, como encontrados na economia, referindo-se a sistemas físicos, biológicos, econômicos e outros.

2.4 Variável do processo (PV)

Ogata (2010, p.2), define-se como qualquer quantidade, propriedade ou condição física medida a fim de que se possa efetuar a indicação, ou controle do processo, neste caso chamado variável controlada que, normalmente a variável controlada é a saída do sistema, deve-se ser medida ou contada, esta variável recebe um sinal de correção do processo através da receita desejada.

2.5 Variável Manipulada (MV)

Ogata (2010, p.3) define que a grandeza que é operada com a finalidade de manter a variável controlada no valor desejado, variável manipulada ou sinal de controle, é enviada ou controladora que tem a função de tratar este sinal, aferindo o valor da variável controlada.

2.6 Distúrbios

Cita Ogata (2010, p.3), que encontram-se dois tipos de distúrbios em um sistema, e devem ser tratados. Distúrbio interno, este é gerado dentro do sistema, entre seus componentes. Distúrbio externo, são gerados por componentes que não fazem parte do sistema de controle e interferem diretamente no sinal de entrada do sistema, pode-se definir como um ruído.

2.7 Controle com Realimentação

É a característica do sistema de malha fechada que permite a saída ser comparada com a entrada.

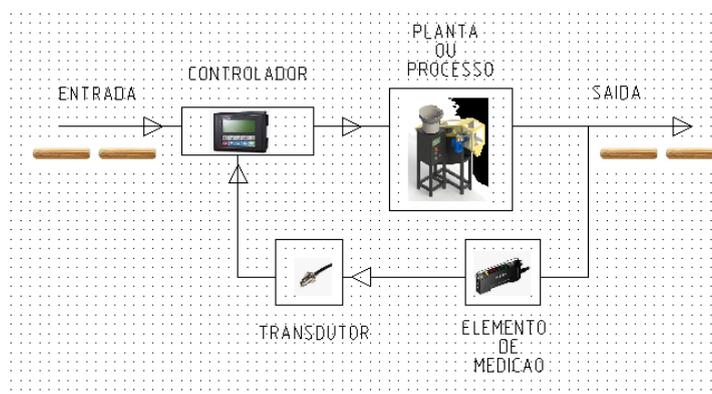


Figura 2 – Sistema de malha fechada, por realimentação.

Já Ogata (2010, p.3-6), define que na presença de distúrbios ou ruídos, há uma tendência a diminuir a diferença entre a saída de um sistema, com a entrada desejada.

Relata ainda que esses distúrbios são os não previstos, uma vez que no caso de constatação do distúrbio, já se eliminaria no sistema de controle. A Figura 2 pode-se visualizar um sistema de malha fechada com realimentação, a qual refere-se a este artigo.

2.8 Atraso no Processo

Conforme FIESC/SC, (2016, p. 15) todo processo que envolve componentes, possui atrasos, na transfêrencia de massas, velocidade, contagem dificultando seu controle, mas devem ser previstas e inerentes ao processo, conforme a seguir:

- Tempo morto, que é o intervalo (conhecido como scan) de tempo entre o instante em que o sistema sofre uma variação qualquer que refere-se no momento que é detectado pelo elemento sensor.

- Capacitância é a medida das características próprias do processo para manter ou transferir uma quantidade de energia ou de material com relação a um valor desejado de referência.

- Resistência é uma oposição total ou parcial à transferência de energia ou de material entre as capacitâncias.

2.9 Sensores óptico ou fotoelétricos

Segundo Thomazini (2007, p. 30), são componentes eletrônicos de sinalização e comando que detectam qualquer material sem que ocorra o contato mecânico, ou seja, de acordo com sua distância nominal (Sn). Sua estrutura de funcionamento baseia-se em um emissor e um receptor, o emissor recebe luz refletindo para o receptor, está por sua vez deverá chegar com uma intensidade mínima de atuação, para que comute o estado do sensor, de modo falso para verdadeiro. Conhecidos também como sensores fotoelétricos, manipulam a luz de forma a detectar a presença do acionador, o produto ou peça que se deseja detectar, baseiam-se através de luz infravermelha (invisível ao ser humano), o transmissor envia o feixe de luz através de um fotodiodo, que emite flashes, com alta potência e curta duração, para que o receptor não confunda com a luz ambiente. Na Figura 3 exemplifica-se a estrutura de um sensor óptico.

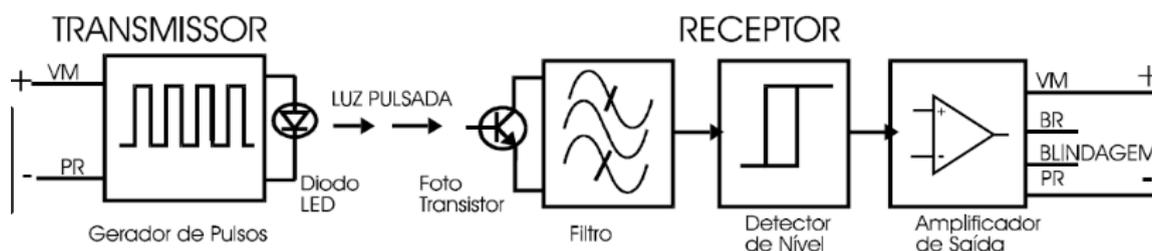


Figura 3 – Princípio de funcionamento dos sensores ópticos. Fonte: SENAI/SC (2016).

2.10 Transmissão com Cabos de Fibra Óptica

Cita Thomazini (2007, p. 33) que o sensor óptico transmissivo (barreira de luz), possui sua estrutura em relação ao emissor e receptor, montados separadamente, ou seja, o produto em um lado fica emissor e outro lado o transmissor, o produto irá passar entre a barreira de luz atuando o sensor. Na figura nº 04 demonstra-se sistema de barreira, os

cabos de fibra óptica, que tem a função de trazer a transmissão do sinal luminoso do emissor ao local onde se deseja detectar o objeto, no caso sistema de barreira.



Figura 4 – Sistema por barreira. Fonte: Keyence (2018).

Conforme Capelli (2008, p. 161), os transmissores de fibra óptica é a reflexão total do raio de luz dentro do cabo, a luz fica dentro do tubo, que pode ser produzida com fibra de vidro ou polimérica (plástica) envolvida com uma proteção plástica maleável. Existem três tipos básicos de fibras ópticas, conforme descrição abaixo:

- Step index multimode, tem uma capa fina permitindo que em uma única vez um grande feixe de luz percorra seu meio de uma única vez, modo refletivo com aproximadamente raios entre paredes de 45°.
- Step index monomode, tem uma grande proteção externa em relação ao seu núcleo, apenas uma parte da luz passa pela fibra, mantendo sinal de saída íntegra.
- Gratient index, seu núcleo é largo e é parecido com o index multimode, mas tem propriedades que permitem boa propagação sem atenuação.

2.11 Controlador Lógico Programável (CLP)

Conforme Capelli (2008, p. 23-70), a muitos equipamentos que envolvem uma automação ou controle de forma direta ou indiretamente, mas o controlador lógica programável (do inglês, *Programmable Logic Controller* - PLC) é um dos mais importantes no tratamento das variáveis. O primeiro CLP foi desenvolvido no final de 1960, antes desta data eram estruturados por grandes armários à relés eletromagnéticos, com vários quilômetros de fios e seus comandos fixos, que somente poderiam ser alterados fisicamente. Hoje dentro da nova IEC 61131-1, podemos programar o CLP de quatro modos:

- Diagrama de blocos;
- Lista de instruções;
- Ladder;
- Texto estruturado.

Moraes, Cícero Couto (2001, p. 29-79) define, controlador lógico programável é um computador como o computador pessoal, mas com sua utilização para processos industriais e automação das manufaturas. De acordo com o autor GEORGINI (p. 79-167), o controlador lógico programável, é capaz de armazenar funções de controle como, acionamento de uma sequência lógica, de temporizadores, contadores, além de realizarem lógicas e aritméticas, comunicação em rede sendo utilizados em sistemas automatizados. Os blocos que compõem um PLC são, CPU, circuitos e módulos de I/O, fonte de alimentação e base ou rack. CPU, (*Central Processing Unit*) Unidade Central de Processamento, que compreende o processador (microprocessador, microcontrolador ou processador dedicado), que possui sistema de memória e circuitos auxiliares de controle.

2.12 Blocos Especial, Contador Rápido

Conforme Natale (2009, p. 217-228), os blocos contadores foram desenvolvidos através de lógicas do tipo flip-flops, que recebe uma sequência de pulsos em suas entradas e geram uma sequência específica de pulsos de saída, principal aplicação é de contagem, divisor de frequência e tempo. Torna-se difícil a solução de tarefas como contador de peças, rotação, impulsos utilizando sistemas a relés, com a programação em blocos dos contadores de acordo com a norma IEC1131-1, devem conter funções crescente, decrescente individuais e no mesmo bloco, contadores rápidos para leituras especiais de alta velocidade. Na Figura 5 visualiza-se um bloco de contagem rápido.

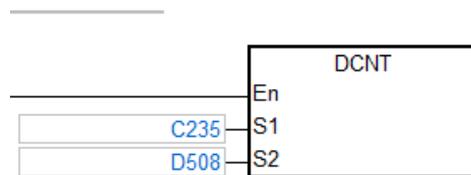


Figura 5 – Bloco contador rápido.

3. Metodologia

Este capítulo é dedicado ao desenvolvimento do trabalho, seus passos, etapas e procedimentos realizados. Foram abordados os componentes utilizados, softwares e realização de simulação e aplicação. Para entendimento da importância do sistema de malha fechada com realimentação, necessitou-se uma pesquisa ampla, para após direcionar como aplicar ao software da máquina de ferragens. Foram consultadas literaturas, tais como livros, artigos e sites, além de testes práticos que foram aplicados e comparados com o sistema anterior. Foram utilizadas pesquisas com concorrentes, fornecedores e clientes potenciais.

3.1 Método Escolhido

Conforme Ogata (2010p. 3-10), como procedimento de realimentação em malha fechada, pode-se utilizar sensores para a transmissão e correção da contagem. O sensor atual tratava-se de um sensor óptico com emissor e receptor no mesmo corpo (difusão) conforme a Figura 6, foi substituído no sistema por dois sensores ópticos com transmissor de fibra óptica. Este novo sensor responde de forma eficiente, rápida, sem intervenções de ruídos, sua estrutura física é compacta, garantindo as informações ao controlador. Como o sinal deste modelo de sensor opera através da velocidade da luz (299.792.458 m/s), permitindo maior eficiência na varredura (scan) do controlador.



Figura 6 – Posição do sensor fotoelétrico por difusão no dispositivo.

O fabricante Keyence, refere-se aos cuidados com instalação, fixação e distância a qual a ponta de fibra intérprete (Sn) a passagem de peças, conforme a Figura 7 pode-se analisar qual posição oferece uma detecção e distância mais confiável, lembrando-se que o ângulo de abertura da fibra é de 60° .

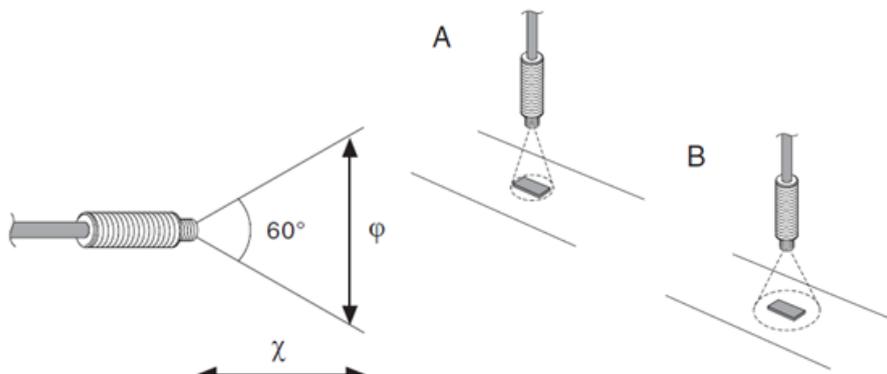


Figura 7 - Dados sensor de fibra óptica. Fonte: *Digital Fibreoptic Sensor Training Guide FS-neo* (2018).

Lembre-se que ao utilizar um sensor de fibra óptica, deve-se calcular o diâmetro de abertura (φ) da ponta da fibra, até a leitura da peça (x), para chegar no ângulo da fibra para aplicação, a seguir analisa-se a equação.

$$\varphi = 1.15\chi + (\text{diâmetro do fio da fibra}) \quad (1)$$

3.2 Materiais Utilizados

Para aplicação e simulação dos dados, utilizou-se os seguintes componentes:

- Controlador lógico programável, para tratar do processamento das informações;
- Sensor de fibra óptica, para enviar informações ao processamento.
- Software de programação e simulação ISPSOft.
- Software projeto elétrico SEE Electrical..

3.3 Etapas de Aplicação

Primeiro passo que se aplica, é a escolha do sistema de controle, seguido avalia-se

os componentes que compõem o sistema, com precisão e exatidão desejada. Na sequência define-se a escolha do CLP e tipo do software, que disponibilizará de funções como adições, contadores e comparadores rápidos, em seguida a escolha do tipo do sensor e sua configuração e instalação. Por final aplica-se a simulação e comparar os dados e todo algoritmo ou programa lógico desenvolvido para o sistema. Utilizou-se a linguagem de programação Ladder e blocos lógicos no controlador.

4. Resultados e Discussões

Este capítulo abordará os resultados obtidos durante e ao final da aplicação, e a metodologia abordada. A aplicação da engenharia de controle foi realizada no dispositivo de contagem de ferragem do tipo cavilhas. Na Figura 8 pode-se analisar o dispositivo como um todo, e na Figura 9 pode-se visualizar a cavilha e seu armazenamento.



Figura 8 – Dispositivo de contagem de cavilhas.



Figura 9 – Cavilha, material madeira tipo pinus.

4.1 Execução

Foi realizado um upgrade no sistema de contagem das cavilhas, através de uma lógica de programação de controle via CLP, hardware dos sensores de modo que resultasse em um sistema de malha fechada com realimentação.

Foi realizada toda lógica de controle, que monitora cada sinal dos sensores em sua

memória através de dois contadores rápidos (C235, C236). Na Figura 10 pode-se analisar imagem do contador (DCNT), S1 é a entrada do sinal do sensor, que recebe no máximo quatro ciclos por segundo durante a operação, resultando em 4 Hz de frequência de chaveamento de comutação.

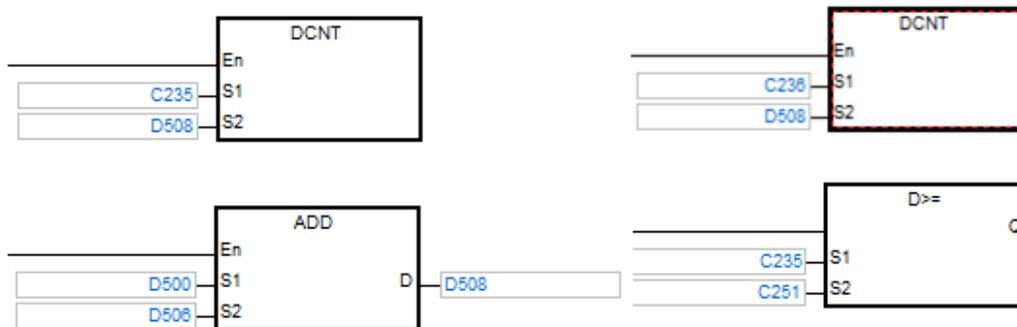


Figura 10 – Contador rápido (DCNT),bloco matemático soma (ADD) e bloco de comparação (D>=).

A entrada rápida X0 e X1 suportam até 10 KHz cada uma, nesta configuração e uma capacidade de contagem de 32 Bits. Já S2 é a entrada do valor desejado (SET POINT) que é digitado através da Interface Homem Máquina (IHM) do próprio CLP. O bloco ADD trata-se da função soma, onde S1 e o valor desejado, S2 é quanto deseja contar para liberar a saída, no caso se tiver em S2 o valor um, somará a S1 que é ajustado pela tela da IHM e armazenará em D508. O bloco de comparação entre a entrada e a realimentação (D>=) quando atinge o valor desejado libera a saída (M200 - SET), ou seja liga esteira para dar mais um passo. A página da programação do contador está representado na Figura 11 para melhor entendimento.

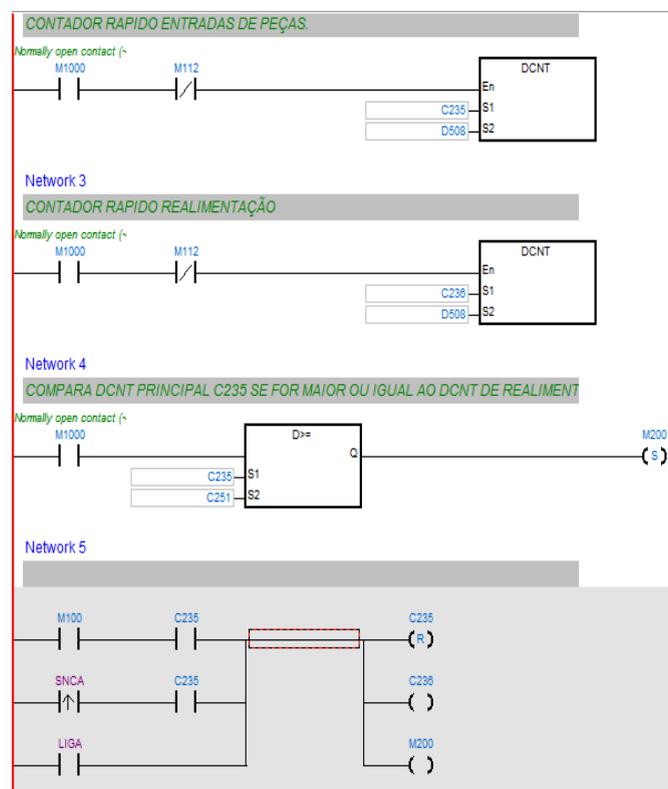


Figura 11 – Página contador (POU – Contador PRG,LD).

4.2 Sensor de fibra óptica por barreira

Foi selecionado este tipo de sensor devido, sua estrutura compacta, e imune a interferências eletromagnéticas dos componentes que envolvem o dispositivo, tipo de operação do seu emissor e receptor, que através das fibras recebem o sinal através da luz incidente em sua cabeça que pode-se visualizar na Figura 12, conforme Keyence pode chegar em uma velocidade de 50 μ s (Entrada, X0 e X1 máximo 250ms para aplicação) com proporção de 250 μ s precisão.

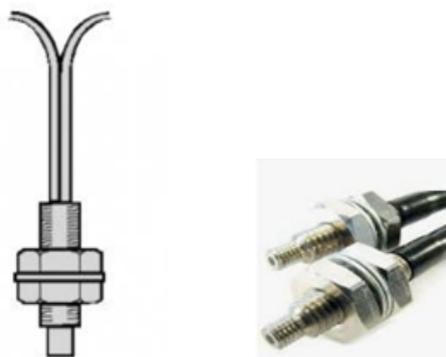


Figura 12 – Cabeça fibra óptica e fibra.

A Tabela 1 confronta os valores do dispositivo com sensor fotoelétrico difuso, comparando com sensor de fibra óptica por barreira. Estes dados foram retirados na Automaservice no dispositivo protótipo.

Tabela 1 – Valores receitas de pedido de peças, SET POINT.

Set point	Sensor óptico sem fibra, 2 peças / segundo.	Sensor óptico com fibra, 4 peças por segundo
D508 = 50	50, 52, 52, 55, 51, 54, 54, 50, 49, 53. Média = 52	50, 51, 51, 52, 50, 51, 50, 50, 51, 52. Média = 50,8
D508 = 100	102, 100, 99, 103, 102, 102, 101, 100, 105, 104. Média = 101,8	100, 100, 101, 101, 100, 100, 100, 101, 102, 100. Média = 100,5
D508 = 77	78, 80, 80, 76, 77, 76, 78, 80, 78, 76. Média = 77,9	77, 77, 78, 78, 79, 78, 77, 77, 78, 79. Média = 77,8
D508 = 30	30, 30, 31, 31, 34, 33, 33, 29, 32, 31. Média = 31,4	30, 30, 31, 30, 32, 30, 30, 31, 30, 32. Média = 30,6

Conforme a Tabela 1 podemos notar que, a coleta de dados da contagem que foi realizada no dispositivo com os dois métodos, está bem claro a vantagem e desvantagem em cada sistema. Sem o sensor de fibra óptica, em destaque anotação em vermelho, valor abaixo do SET POINT que é inaceitável pelo cliente devido estas ferragens adicionarem a montagem do produto final (móveis), e ainda opera a dois segundos a menos que o sensor de fibra óptica.

Já na Tabela 2 foi realizado testes e pode-se comparar o sistema de controle de malha aberta com malha fechada com realimentação, utiliza-se dois sensores de fibra óptica por barreira, por mais que se reduza um segundo por peça ainda é sem dúvida mais eficiente, devido sua contagem ser exata e a variação do SET POINT de saída ser zero, o pedido pelo operador em relação a pacotes varia de 10 à 130, com quantidades de cavilhas entre 15 à 150 peças por pacote refletindo uma grande soma de peças a mais

sem a necessidade.

Tabela 2 – Valores receitas de pedido de peças, *SET POINT*.

<i>Set point</i>	Sensor óptico com fibra, 4 peças por segundo, controle em malha aberta.	Sensores óptico com fibra, 3 peças por segundo – controle em malha fechada com realimentação
D508 = 100	100, 100, 101, 101, 100, 100, 100, 101, 102, 100. Média = 100,5	100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100. Média = 100
D508 = 30	30, 30, 31, 30, 32, 30, 30, 31, 30, 32. Média = 30,6	30, 30, 30, 30, 30, 30, 30, 30, 30, 30. Média = 30

Novo sistema em malha fechada com realimentação, resultou o esperado com base nas pesquisas bibliográficas a aplicação monitorou com muita eficiência cada amostra. Em relação às vantagens deste artigo foi a sua eficácia de uma boa pesquisa, avaliação da situação problema, colocação em prática que resulta em uma solução com uma acertabilidade desejável.

A novidade do objetivo deste artigo é que o seu sistema de controle ignora as variáveis das aplicações encontradas no mercado pesquisado, que utilizam sensores de célula de carga, qual não reflete uma boa exatidão e confiabilidade quando se trata de contar cavilhas, como a peça a contar não tem seu peso fixo resulta em muitas variáveis, devido ao grau de umidade exposta, qualidade na produção das peças, como foi secado a madeira utilizada, isto resulta uma variação da amostragem por peso, que sempre será retirada um valor a mais para obter o seu SET POINT desejado, como resumo este tipo de amostra não é confiável e sempre estará enviando uma quantidades de peças a mais.

Impacto deste upgrade, refere-se a liberação do operador após carregar o alimentador vibratório e registrar seu pedidos de produção através da IHM, podendo atuar em outras funções até máquina finalizar o pedido, o Dispositivo contador de ferragens efetua uma mudança em seu passo na esteira quando finalizar a solicitação, e ao identificar que esvaziou todas as canecas entra em modo stop.

5. Conclusão

Com a metodologia aplicada a este artigo e testes práticos, chegamos a uma conclusão de ter obtido o controle total da contagem. Uma das dificuldades foi localizar qual tipo de sensor de fibra óptica seria adequado ao projeto e sua real fixação, mas com pesquisas e apoios da empresa que possui o Dispositivo, junto aos fornecedores conseguimos o êxito da aplicação. Como possível melhoria na aplicação, sugiro um novo tipo de sensor de fibra óptica, com uma varredura diferenciada referente a cavilhas.

6. Referências

ABB IRB 340, *Robot Croissants*. Disponível < encurtador.com.br/afIO4 > . Acesso em: 14 Outubro. 2023.

AUTOMASERVICE, *Manutenção Industrial ME LTDA*. Disponível: <<https://www.automaservice.net/maquina-1/>>. Acessado 12 outubro, 2023.

CAPELLI, A. *Automação Industrial: Controle do movimento e processos contínuos*. 2. ed. São Paulo: Érica, 2008.

KEYENCE, *Modelos de unidades do cabeçote do sensor de fibra óptica*. Disponível: <<https://www.keyence.com.br/products/sensor/fiber-optic/fu/features/index.jsp>>. Acessado em: 10

outubro. 2023.

MORAES, C. C. CASTRUCCI, P. L. *Engenharia de Automação Industrial*. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

NATALE, F. *Automação Industrial: Série Brasileira de Tecnologia*. 10. Ed. São Paulo: Érica, 2009.

OGATA, K. *Engenharia de controle moderno*. 5. ed. São Paulo: Pearson, 2010.

SILVEIRA, P R. SANTOS, W E. *Automação. Controle Discreto*. 9.ed. São Paulo: Érica, 2008.

SCHNEIDER ELECTRIC. Disponível: <<https://www.se.com/br/pt/search/sensor+fibra+optica>>. Acessado 11 Outubro. 2023.

THOMAZINI, D. ALBUQUERQUE, P U. B. *Sensores Industriais. Fundamentos e Aplicações*. 4. ed. São Paulo: Érica, 2007.