

Contador de Peças com Acionamento Temporizado e Sinalização Luminosa

R.N. Silva*. L. R. C. da Silva**. N. S. M.Garcia***

*Instituto Federal do Maranhão – IFMA, São Luís, MA, Brasil (e-mail: rnsilva@acad.ifma.edu.br).

** Instituto Federal do Maranhão – IFMA, São Luís, MA, Brasil (e-mail: liah.colins@acad.ifma.edu.br)

*** Instituto Federal do Maranhão – IFMA, São Luís, MA, Brasil (e-mail: nathally.sophia@acad.ifma.edu.br)

Abstract:

This article describes the development and implementation of an automated parts counting system with timed activation and visual and audible signaling, designed for educational and industrial applications. The system was built on a breadboard using simple and discrete components: a Colorlight i9 FPGA board, a 7-segment display to show the parts count, a TCRT5000 optical sensor, and a 28BYJ-48 stepper motor. After the detection of five objects by the optical sensor, the motor is automatically activated, as are the visual and audible indicators, for 20 seconds. This proposal aims to demonstrate that low-cost solutions can be applied in productive and educational environments, bringing the teaching of automation closer to real manufacturing practices.

Keywords: industrial automation; piece counter; optical sensor; microcontroller; embedded system; timing.

Palavras-chaves: automação industrial; contador de peças; sensor óptico; microcontrolador; sistema embarcado; temporização.

1. INTRODUÇÃO

O avanço da automação industrial e da Indústria 4.0 tornou sensores, atuadores e sistemas embarcados centrais nos processos produtivos. Dentre estes, a contagem automatizada de objetos é uma função indispensável para o controle de linhas de montagem, garantindo rastreabilidade e eficiência operacional.

Este artigo explora um sistema de contador de peças capaz de acionar automaticamente o motor de passo 28BYJ-48, acoplado a uma esteira, durante um intervalo de 20 segundos após a detecção de cinco

peças. Durante o acionamento, uma sinalização luminosa e um alerta sonoro indicam o funcionamento da esteira.

A motivação deste trabalho é dupla: atende a uma necessidade industrial real de controle de fluxo de peças e, simultaneamente, serve como uma ferramenta didática. A replicação simplificada de sistemas de detecção, contagem e acionamento temporizado — comuns em esteiras logísticas de indústrias, mercados ou aeroportos — oferece aos estudantes de automação uma experiência prática alinhada aos processos industriais modernos.

Este projeto contribui, assim, para a formação prática em eletrônica, controle digital e lógica embarcada. Embora trabalhos semelhantes existam em contagem industrial (Santos et al., 2020; Singh, 2019), esta abordagem foca na implementação didática com componentes de baixo custo, mantendo a confiabilidade operacional necessária para um protótipo funcional.

2. JUSTIFICATIVA

Muitas linhas de produção de pequeno e médio porte enfrentam um gargalo crítico no processo de embalagem em lotes. Quando realizada manualmente, esta tarefa de contar e agrupar um número específico de itens é inherentemente lenta e ineficiente.

A problemática central é a alta suscetibilidade ao erro humano. A contagem manual e repetitiva leva a falhas, resultando em lotes com itens a mais (prejuízo) ou a menos (insatisfação do cliente). Além disso, a fadiga do operador causa inconsistência no tempo de ciclo, tornando a produção imprevisível, e aloca mão de obra qualificada em uma tarefa de baixo valor (contagem). Este projeto justifica-se por solucionar diretamente este gargalo. Propõe-se um sistema de esteira semi automático que elimina o erro humano da equação.

Nesta solução, o operador apenas abastece os itens na esteira. O sistema, através de um sensor infravermelho (TCRT5000) e um display de 7 segmentos, assume a responsabilidade pela contagem precisa de 5 unidades. Ao atingir o objetivo, o sistema sinaliza (LED vermelho e buzzer) e ativa automaticamente o motor de passo (28BYJ-48) por 20 segundos para mover o lote completo.

O resultado é um posto de trabalho de baixo custo, à prova de erros de contagem, que garante um ciclo de produção padronizado e otimiza o foco do operador para tarefas de maior valor, como o controle de qualidade.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivos Gerais

Desenvolver um protótipo funcional de um sistema de esteira semi automático para contagem e separação de lotes, visando solucionar a ineficiência e os erros inerentes aos processos manuais de embalagem, garantindo maior precisão e consistência na produção.

3.2. Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos devem ser cumpridos:

- Implementar um sistema de detecção e contagem de 5 peças usando um sensor infravermelho (TCRT5000), exibindo a contagem em um display de 7 segmentos.
- Desenvolver o controle de um motor de passo (28BYJ-48) para acionar a esteira por um período exato de 20 segundos após a contagem ser atingida.
- Criar um sistema de sinalização audiovisual (LED RGB e Buzzer) para indicar os estados de "Pronto/Contando" e "Operação em Andamento".
- Integrar todos os módulos (sensores, atuadores e lógica de controle) em um único sistema coeso descrito em SystemVerilog para implementação em FPGA.

4. METODOLOGIA

O desenvolvimento deste projeto foi executado em duas frentes: a descrição da lógica de controle em SystemVerilog e a construção do protótipo mecânico. A abordagem foi modular e iterativa, garantindo que cada parte do sistema fosse validada antes da integração final.

4.1. Desenvolvimento Do Projeto

O projeto foi executado em duas frentes: o desenvolvimento da lógica de controle e a construção mecânica. Primeiramente, a lógica em SystemVerilog foi desenvolvida de forma modular e incremental. Iniciou-se pela validação isolada do controlador do motor de passo (28BYJ-48). Em paralelo, criou-se o módulo de contagem, integrando o sensor infravermelho (TCRT5000) ao display de 7 segmentos. Após testes individuais, estes dois blocos foram integrados. Por fim, adicionou-se a camada de sinalização audiovisual (LED RGB e buzzer) ao sistema principal.

A construção do protótipo físico da esteira exigiu iteração. Uma tentativa inicial usando uma base de papelão e rodas de motor DC adaptadas falhou, pois o papelão se mostrou frágil e as rodas não se encaixavam firmemente no eixo do motor de passo, causando desalinhamento e instabilidade. A solução foi substituir a base por isopor de maior densidade e utilizou-se uma impressora 3D para fabricar uma polia de tração customizada, com o encaixe exato para o eixo do motor. Esta abordagem corrigiu os problemas de estabilidade e permitiu a integração funcional do hardware.

4.2. Componentes E Arquitetura De Hardware

O sistema foi projetado e montado em protoboard, com base no diagrama apresentado na Figura 1 que ilustra a arquitetura geral do sistema e suas conexões elétricas estão ilustradas no diagrama abaixo.

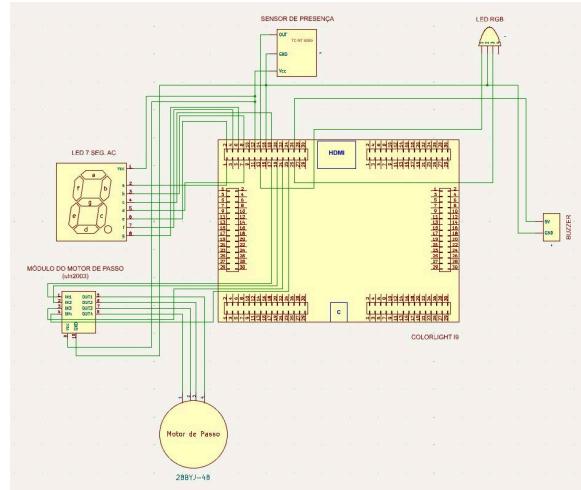


Figura 1: Circuito elétrico do sistema Contador de Peças. Fonte: Próprio autor

O sistema é composto pelos seguintes módulos principais:

- Placa FPGA Colorlight I9: Utilizada para o controle lógico central.
- Sensor TCRT5000: Sensor reflexivo que detecta a passagem de cada objeto.
- Motor de passo 28BYJ-48: Responsável por rotacionar a esteira, acionado por um driver ULN2003.
- Display de 7 segmentos (Ânodo Comum): Exibe a contagem atual das peças (0 a 5).
- LED RGB: Para a sinalização luminosa de status.
- Buzzer: Para a sinalização sonora de operação.

O princípio de funcionamento do sensor TCRT5000 baseia-se na reflexão da luz infravermelha; ele

contém um emissor (LED IR) e um fototransistor. Quando um objeto reflete a radiação, ocorre variação de tensão na saída. O motor de passo 28BYJ-48 foi escolhido por seu controle preciso e torque adequado para pequenas cargas.

O sensor TCRT5000 é posicionado na entrada da esteira, enquanto o display de 7 segmentos mostra a contagem acumulada. O motor de passo é acionado pelo driver ULN2003 e o LED RGB junto com o BUZZER indica o estado do sistema MOTOR_ON.

Abaixo a figura 2 descreve o fluxograma do sistema descrito da seguinte forma:

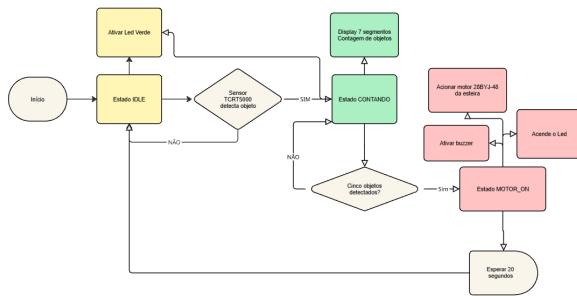


Figura 2: Fluxograma funcional do sistema Contador de Peças. Fonte: Próprio autor

A cada detecção do sensor, a variável de contagem é incrementada e exibida no display, ao atingir 5 peças, o microcontrolador aciona o motor, o buzzer e o LED de sinalização por 20 segundos, ao final do tempo, o sistema volta para o estado de IDLE desligando o motor, o buzzer e os LED aguardando uma nova contagem.

4.3. Desenvolvimento Da Lógica De Controle

A lógica de controle foi desenvolvida em SystemVerilog, descrevendo uma máquina de estados finita (FSM) do tipo moore criada em módulo ENUM

contendo 3 estados IDLE, CONTANDO, MOTOR_ON responsável por gerenciar a contagem, o acionamento e a temporização como mostra a figura abaixo e suas variáveis em que são:

- logic [2:0] cont_objetos: é o contador de objetos, armazena quantos objetos o sensor detectou.
- logic [31:0] tempo_motor: funciona como o temporizador de duração do motor ligado.
- logic
[\$clog2(CONTAGEM_VELOCIDADE)-1:0]
passo_cnt: esse é o contador auxiliar, usado para controlar a velocidade do motor de passo, ele é incrementado a cada clock, e quando atinge o limite, gera um “pulso” para avançar o motor um passo.
- logic [2:0] passo_idx: é o índice de sequência do motor de passo.
- logic [DEBOUNCE_BITS-1:0]
debounce_cnt: contador de debounce digital do sensor, serve para ignorar ruídos rápidos do sensor.
- logic sensor_filtrado: sinal do sensor “limpo” do sinal de entrada.
- logic sensor_antigo_filtrado: armazena o valor anterior do sensor filtrado, para detecção de bordas.
- logic pulso_limpo: é o pulso de detecção que dispara a contagem.

```

typedef enum logic [1:0] {
  IDLE, CONTANDO, MOTOR_ON
} state_t;

state_t state = IDLE, next_state = IDLE;

logic [2:0] cont_objetos = 0;
logic [31:0] tempo_motor = 0;
logic [$clog2(CONTAGEM_VELOCIDADE)-1:0] passo_cnt = 0;
logic [2:0] passo_idx = 0;
  
```

```

logic [DEBOUNCE_BITS-1:0] debounce_cnt = 0;

logic sensor_filtrado = 0;

logic sensor_antigo_filtrado = 0;

logic pulso_limpo;

```

Figura 3: Trecho do código SystemVerilog da máquina de estados Moore. Fonte: Próprio autor.

A lógica combinacional implementa a definição dos estados e é descrita no bloco always_comb que tem como principal função determinar a variável next_state com base no estado atual e nas seguintes condições:

No estado IDLE o sistema permanece em espera até que a presença de algum objeto seja detectado. Caso a variável cont_objetos apresente um valor maior que zero, ocorre a transição para o estado CONTANDO.

Durante estado CONTANDO o sistema monitora continuamente o número dos objetos detectados, ao atingir o valor de cinco a FSM realiza a transição para o estado MOTOR_ON, onde o motor de passo é acionado.

No estado de MOTOR_ON o motor, leds e buzzer permanece ligado até que a variável tempo_motor alcance o tempo determinado pela expressão definida, ao satisfazer a condição, o sistema retorna ao estado IDLE aguardando uma nova contagem.

A utilização de uma lógica combinacional separada da lógica sequencial proporciona maior clareza, modularidade e previsibilidade no comportamento do circuito digital mostrada na figura 4.

```

always_comb begin
    next_state = state;
    case (state)

```

```

        IDLE: begin
            if (cont_objetos > 0) next_state = CONTANDO;
        end

        CONTANDO: begin
            if (cont_objetos == 5) next_state = MOTOR_ON;
        end

        MOTOR_ON: begin
            if (tempo_motor >= (TEMPO_MOTOR *
CLK_FREQ_HZ)) next_state = IDLE;
        end
    endcase
end

```

Figura 4: Trecho do código SystemVerilog da transição da máquina de estados. Fonte: Próprio autor.

A cada pulso de clock, o estado atual recebe o próximo, o bloco sequencial always_ff é responsável pela atualização síncrona de todas as variáveis de controle e pela efetivação das mudanças dos estados. O principal papel dessa estrutura é realizar as transições do estado atual para o próximo estado no momento exato do ciclo de clock

Além do controle do estado, o bloco sequencial também administra variáveis essenciais ao funcionamento do sistema:

- cont_objetos é incrementado a cada detecção válida do sensor, representada pelo sinal pulso_limpo. O incremento não deve ocorrer no estado MOTOR_ON e quando a contagem atingir os cinco objetos a transição para o estado MOTOR_ON é realizada.
- tempo_motor é responsável por medir a duração do acionamento. Ele é incrementado continuamente enquanto o sistema permanece em

MOTOR_ON e é automaticamente zerado ao retornar ao estado de repouso (IDLE).

- passo_cnt e passo_idx determinam a velocidade e a sequência de excitação das bobinas do motor de passo. O primeiro atua como um divisor de frequência, enquanto o segundo define o padrão de comutação dos enrolamentos.

Ao final do período de acionamento do motor o sistema redefine cont_objetos para zero retornando ao estado de repouso. Essa ação sincronizada assegura que uma nova contagem de peças só se inicie após o ciclo completo de funcionamento anterior.

```
always_ff @(posedge clk) begin
    state <= next_state;
    if (state != MOTOR_ON && pulso_limpo) begin
        if (cont_objetos < 5) cont_objetos <= cont_objetos + 1;
    end
    if (state == MOTOR_ON)
        tempo_motor <= tempo_motor + 1;
    else
        tempo_motor <= 0;
    if (state == MOTOR_ON) begin
        if (passo_cnt == CONTAGEM_VELOCIDADE - 1) begin
            passo_cnt <= 0;
            passo_idx <= passo_idx + 1;
        end else
            passo_cnt <= passo_cnt + 1;
    end else begin
        passo_idx <= 0;
        passo_cnt <= 0;
    end
end
```

```
if (state == MOTOR_ON && next_state == IDLE)
    cont_objetos <= 0;
end
```

Figura 5: Trecho do código SystemVerilog da transição da máquina de estados. Fonte: Próprio autor

A combinação dessas estratégias faz com que a máquina de estados opere de forma determinística, sincronizada e robusta. O uso de atribuições não bloqueantes (\leq) e a separação entre lógica combinacional e sequencial garantem que as atualizações ocorram de modo ordenado, sem sobreposição entre decisões e execuções. Assim, cada estado cumpre integralmente sua função antes que o sistema avance para o próximo, assegurando confiabilidade no controle do processo industrial automatizado.

5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Testes simples foram realizados com materiais reciclados simulando peças industriais. O sensor TCRT5000 apresentou detecção confiável até uma distância de 8 cm, o sistema (codificação) reagiu de forma imediata após a quinta detecção, acionando corretamente o motor e os sinais visuais e sonoros, no display de 7 segmentos a visualização da contagem se mostrou estável e completa.

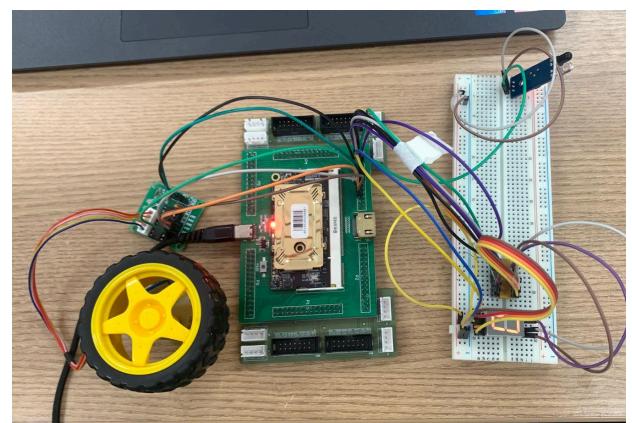


Figura 6: Imagem do sistema em funcionamento com seus sensores e atuadores. Fonte: Próprio autor

Durante o funcionamento, a sinalização luminosa vermelha e o buzzer permaneceram ativos durante o tempo de operação, 20 segundos (MOTOR_ON), enquanto no estado de IDLE e CONTANDO o Led verde indicou o modo de espera.

O circuito funcionou de forma estável durante os testes, sem travamentos ou leituras falsas. Os resultados confirmam que o sistema pode ser aplicado em pequenas linhas de montagem ou bancadas de ensino de automação e controle.

6. TRABALHOS FUTUROS

Como evolução, o sistema poderá ser integrado a módulos de comunicação do tipo IoT, permitindo o envio dos dados sobre a contagem e seu estado para servidores remotos e painéis SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) para acompanhar o status dos equipamentos através de interfaces virtuais. Outras melhorias incluem o uso de sensores de tempo de voo (VL53L0X) para maior precisão e motores de passo NEMA 17 para maior torque.

7. CONCLUSÕES

O sistema desenvolvido concluiu com eficiência e confiabilidade, provando que tecnologias acessíveis podem atender a demandas de automação em baixo custo. Além de sua aplicação prática, o projeto tem valor pedagógico ao integrar conceitos de sensores, atuadores e controle digital em um protótipo funcional.

O uso de componentes simples, como o sensor TCRT5000, motor de passos 28BYJ-48, display 7

segmentos e atuadores, permite que o sistema seja facilmente replicado tanto para abordagens funcionais quanto didáticas no ensino de conceitos de automação industrial, eletrônica digital e controle de processos. Como melhoria e trabalhos futuros, pretende-se implementar um protocolo de comunicação para registro dos ciclos e a integração com um sistema do tipo SCADA simplificado.

8. REFERÊNCIAS

Brown, F., Harris, M.G., and Other, A.N. (1998). Practical Automation Circuits. Springer, New York.

CircuitDigest (2023). Object Counter Circuit Using IR Sensor and 7 Segment Display. Disponível em: [https://circuitdigest.com/electronic-circuits/object-co unter-circuit-diagram](https://circuitdigest.com/electronic-circuits/object-counter-circuit-diagram)

Santos, R. L., Ferreira, T. M., and Azevedo, J. P. (2020). Sistema de Contagem de Peças Baseado em Sensores Ópticos para Linhas de Produção. Revista Brasileira de Automação, 31(2), 45–51.

Singh, R. (2019). Design and Implementation of an Automated Counting System Using IR Sensors. International Journal of Electronics and Automation, 12(4), 233–239.

Smith, S.E. (2004). Industrial Embedded Systems Design. Elsevier, Oxford.