

Desenvolvimento de um Display de Persistência da Visão com Módulo Bluetooth HC-05 Reutilizado: Uma Solução de Baixo Custo para Eletrônica Embarcada

John V. Gomes¹, Lucas G. O. de Braga¹, Marcos T. da Cunha¹, Michel Kramer B. de Macedo¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - (IFSC)
89.200-000 – Xanxerê – SC – Brasil

{ john.gomes, lucas.braga, marcos.cunha, michel.kramer }@ifsc.edu.br

Abstract. *This article presents the development of a low-cost Persistence of Vision (POV) display, integrating a reused HC-05 Bluetooth module with an Arduino Nano microcontroller. The work highlights sustainable practices by reusing discarded electronic components, details the assembly process, synchronization and wireless communication, and presents results concerning image clarity, and the didactic advantages of the prototype.*

Resumo. *Este artigo apresenta o desenvolvimento de um display de Persistência da Visão (POV) de baixo custo, integrando um módulo Bluetooth HC-05 reutilizado ao microcontrolador Arduino Nano. O artigo destaca práticas sustentáveis ao reaproveitar componentes eletrônicos descartados, detalha o processo de montagem, sincronização e comunicação sem fio, e apresenta os resultados obtidos quanto à clareza de imagem e vantagens didáticas do protótipo.*

1. Introdução

A área da Eletrônica Embarcada é fundamental para o desenvolvimento de sistemas interativos e autônomos. Os displays de Persistência da Visão (POV) são excelentes estudos de caso, pois dependem de controle preciso de hardware e software. Esses sistemas aproveitam a capacidade da visão humana de reter imagens brevemente, mas sua eficácia depende da sincronização exata de LEDs em alta rotação, exigindo microcontroladores como Arduino para gerenciar temporização, sensores de posição e comunicação.

Embora displays POV sejam comuns em ambientes educacionais, muitos operam de forma autônoma ou exigem reprogramação via cabo para alterar o conteúdo, limitando a aplicação dos conceitos de comunicação sem fio. Este trabalho propõe aprimorar um display POV de baixo custo integrando um módulo Bluetooth HC-05 reutilizado. A inovação consiste em transformar um sistema local em controlado remotamente, alinhando otimização funcional do hardware com práticas sustentáveis e redução de custos.

O artigo detalha o desenvolvimento do protótipo POV, focando na adaptação e integração do módulo Bluetooth ao microcontrolador, um desafio essencial da eletrônica embarcada. São especificados os materiais utilizados, enfatizando a escolha de componentes acessíveis e a reutilização do HC-05. Apresentam-se resultados do

protótipo funcional, clareza da imagem, e discutem-se melhorias para o avanço contínuo do sistema como recurso pedagógico.

2. Objetivo Geral

Desenvolver um display de Persistência da Visão (POV) de baixo custo por meio da integração de um módulo Bluetooth HC-05 reutilizado, demonstrando o processo de desenvolvimento e a construção do protótipo funcional.

2.1. Objetivos Específicos

1. Reaproveitar um módulo Bluetooth HC-05 de projetos institucionais em desuso ou equipamentos eletrônicos descartados, promovendo a sustentabilidade e a redução do custo total do projeto.
2. Demonstrar a construção do protótipo funcional e o desempenho do sistema integrado (Arduino + Bluetooth + POV) em termos de legibilidade da imagem em movimento.

3. Fundamentação Teórica

3.1. Sistemas Embarcado

O campo da Eletrônica Embarcada é o pilar fundamental do desenvolvimento tecnológico, especialmente no cenário da Internet das Coisas (IoT). Esses sistemas são definidos como computadores especializados, compostos por hardware e software integrados, projetados para executar uma função dedicada, frequentemente sob severas restrições de custo, tamanho e consumo de energia (CARVALHO et al., 2021; NETTO, 2023). Diferentemente dos sistemas de propósito geral, as soluções embarcadas, como as baseadas no microcontrolador Arduino, focam em eficiência, previsibilidade e precisão para tarefas específicas (QUEIROZ et al., 2024).

No contexto deste artigo, o display POV é, em sua essência, um sistema embarcado de controle de tempo crítico. O microcontrolador (Arduino Nano) deve gerenciar interações com o mundo físico – a detecção de posição angular pelo Sensor *Hall* e o acionamento sincronizado dos LEDs – com alta previsibilidade. O sucesso do display depende da sintonia entre o hardware e o software (algoritmos de varredura visual), sendo o desenvolvimento otimizado essencial devido aos recursos limitados da plataforma, conforme destacado na literatura recente (NETTO, 2023).

3.2 Persistência da Visão (POV) e Sincronização de Hardware

A técnica de Persistência da Visão (POV) baseia-se no fenômeno visual em que a retina humana retém uma imagem por aproximadamente 40 milissegundos, gerando a ilusão de continuidade. Para criar textos ou imagens "no ar", o sistema POV utiliza uma linha de LEDs em rotação rápida (ALVES, 2021). A arquitetura desse display exige a combinação eficaz de:

- Microcontrolador (Arduino Nano): Escolhido pela sua simplicidade, tamanho reduzido e pela vasta gama de bibliotecas (SANTOS et al., 2020), ele é o cérebro que processa os dados de imagem e controla o timing de acionamento dos LEDs.

- Sensor de Efeito *Hall*: Elemento crítico para o controle de malha fechada, este sensor detecta campos magnéticos e permite que o microcontrolador determine com exatidão a posição angular (o "zero" da rotação). Isso é vital para garantir a nitidez, a estabilidade e a não-distorção da imagem formada.

Conforme apontado por Santos et al. (2020), esses dispositivos têm grande valor educacional, promovendo a interdisciplinaridade entre física (movimento circular), eletrônica (controle de tensão e LEDs) e computação (algoritmos de temporização e varredura).

3.3. Comunicação Sem Fio e Integração do Módulo Bluetooth HC-05

O Bluetooth (padrão IEEE 802.15.1) é uma tecnologia de comunicação sem fio de curto alcance essencial em sistemas embarcados de baixo consumo e baixo custo. O módulo HC-05 é um transceptor que implementa o protocolo SPP (*Serial Port Profile*), permitindo a substituição de cabos seriais (como os usados em comunicação UART) por um link de rádio frequência.

Função do HC-05: Sua principal função é estabelecer uma ponte de comunicação serial transparente entre o microcontrolador Arduino Nano e um dispositivo host (como um smartphone ou computador). Isso significa que, do ponto de vista do código do Arduino, o envio de dados via Bluetooth é tratado exatamente como o envio de dados pela porta serial física.

Integração e Protocolo: A integração do HC-05 ao Arduino é feita por meio da comunicação UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*). O microcontrolador envia os bytes da imagem do smartphone para o HC-05, que se encarrega da modulação e transmissão sem fio. A configuração e o controle do módulo geralmente são realizados por comandos AT (VIANA, 2023), garantindo a estabilidade e o emparelhamento com o dispositivo host.

A integração do HC-05 no seu projeto é um ponto crítico, pois a aquisição dos dados da imagem (via Bluetooth) não pode interferir no controle de tempo estrito necessário para a Persistência da Visão (POV).

Prioridade de Tarefas: Em um sistema embarcado de tempo real, a tarefa de sincronização do Sensor *Hall* e acionamento do LED possui a mais alta prioridade. A comunicação via Bluetooth é uma tarefa de menor prioridade (NETTO, 2023). Se a recepção de dados do HC-05 for mal gerenciada, pode causar latência (*jitter*) ou atrasos no *loop* de controle do POV, resultando em distorção da imagem.

Solução de Buffer: A literatura de sistemas embarcados recomenda o uso de *buffers* de dados para desacoplar tarefas críticas de tarefas de I/O (Entrada/Saída). O *firmware* do Arduino deve:

- Receber os *bytes* da imagem do HC-05 em uma rotina que não utilize interrupções críticas.
- Armazenar esses dados em uma área de memória (*buffer*) separada.

- Somente após a imagem completa ter sido recebida e verificada, o *software* deve sinalizar que os dados estão prontos para serem renderizados no *display*, garantindo que a sincronização do POV permaneça ininterrupta e precisa.

3.4. Reutilização de Componentes e Sustentabilidade em Engenharia

A seleção de componentes, como o módulo Bluetooth HC-05 oriundo de descarte, eleva o projeto do *display* POV ao contexto da Sustentabilidade em Engenharia.

A implementação dessa abordagem sustentável, contudo, exige que o engenheiro adote métodos de Engenharia Reversa. Embora a Engenharia Reversa seja tradicionalmente associada à desconstrução de um produto para entender seu funcionamento (DIAS, 1997), no contexto do reuso ela se manifesta na identificação, teste e reconfiguração do componente para uma nova aplicação. É essencial garantir a funcionalidade e a confiabilidade do módulo recuperado para que ele atenda aos requisitos técnicos do *display* POV.

Este processo é chamado de Requalificação de Componentes: a adaptação do HC-05 para a comunicação serial com o Arduino, assegurando que ele não introduza falhas no sistema de tempo real, constitui um desafio técnico que demonstra conhecimento em *hardware* de baixo nível e a capacidade de integrar soluções heterogêneas.

4. Metodologia de Desenvolvimento

4.1 Materiais Utilizados

O desenvolvimento do *display* de Persistência da Visão (POV) de baixo custo foi estruturado com a utilização de componentes eletrônicos acessíveis e materiais que promovem a Manufatura Reversa. Em consonância com a proposta de sustentabilidade do artigo, o movimento rotacional é gerado por um motor de ventilador em desuso, e a comunicação sem fio se dá por meio de um módulo Bluetooth (HC-05).

A alimentação é fornecida por uma bateria de 9 volts controlada por uma chave liga/desliga. Para o chassi e a fixação mecânica, foram utilizados suporte de madeira MDF, chapa de acrílico, parafusos e porcas, com o auxílio de fios, conectores e espaguete termo retrátil para garantir ligações elétricas seguras e isoladas.

4.2 Desenvolvimento do Hardware

A estrutura mecânica do protótipo da POV foi projetada para garantir estabilidade e segurança operacional durante a rotação. O suporte rotativo principal, confeccionado em MDF (*Medium Density Fiberboard*) em formato de “U”, serviu como base robusta para a fixação do motor (reaproveitado de ventilador) e para a acomodação da bateria de 9 volts, minimizando a vibração e facilitando o balanceamento necessário para a formação nítida da imagem.

O conjunto emissor de luz, constituído pela linha de LEDs de alto brilho e seus respectivos resistores de limitação de corrente, foi montado na extremidade da haste rotativa e conectado diretamente ao microcontrolador Arduino Nano (integrado ao *driver* de LEDs).

Para assegurar a proteção dos componentes eletrônicos internos (fiação e placa) e permitir a visualização do arranjo interno, a estrutura foi elegantemente fechada com uma chapa de acrílico transparente, fixada de forma segura com parafusos. Esta configuração não só protege o circuito contra interferências externas, mas também oferece um apelo didático e estético, conforme ilustrado na Figura 1.

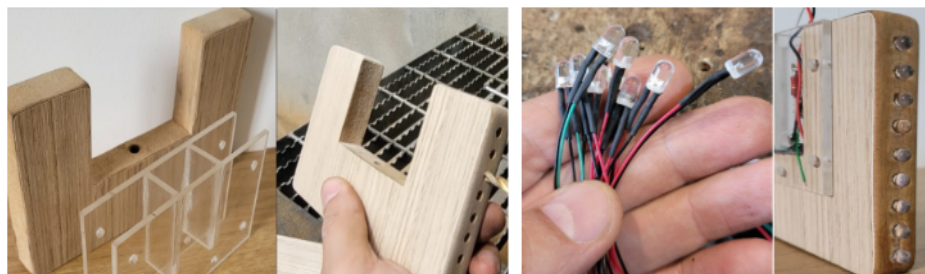


Figura 1 - Estrutura do chassi rotativo e soldagem de leds.

O circuito do display POV está logicamente dividido em três módulos. O módulo de atuação é composto por nove LEDs, dispostos em linha, conectados às portas digitais D3 a D11, com cada LED protegido individualmente por um resistor limitador de corrente de 270Ω . A sincronização de tempo real é garantida pelo Módulo Sensor *Hall*, cuja saída digital (DO) é conectada à porta D2 do Arduino, configurada para receber a interrupção externa que define o ângulo zero da rotação. Por fim, o Módulo *Bluetooth* HC-05 é integrado para comunicação serial sem fio (UART), sendo conectado às portas seriais primárias do Arduino (RX em D1 e TX em D0). Essa arquitetura permite que o microcontrolador leia com precisão a posição angular, receba dados via Bluetooth e gerencie o *timing* de acionamento dos LEDs para formar a imagem por Persistência da Visão demonstrada na Figura 2.

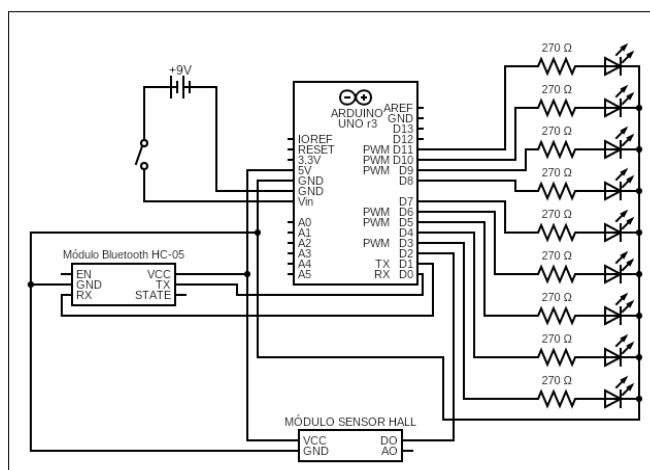


Figura 2: Esquema elétrico do dispositivo.

4.3 Montagem dos componentes no chassi

O Arduino, o módulo Bluetooth e sensor *Hall* foram fixados com cola instantânea no chassi garantindo a fixação dos mesmos. O ímã para interação com o sensor *Hall* foi

fixado no corpo do motor para determinar a sincronização rotacional. O movimento rotacional do dispositivo foi obtido pela adaptação de um motor de ventilador, acoplado ao sistema.

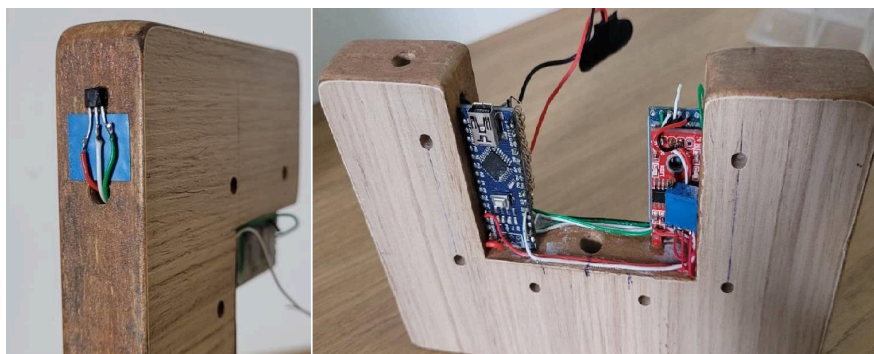


Figura 3 - Fixação do sensor *Hall* na parte inferior do chassi rotativo e placas no alojamento superior.

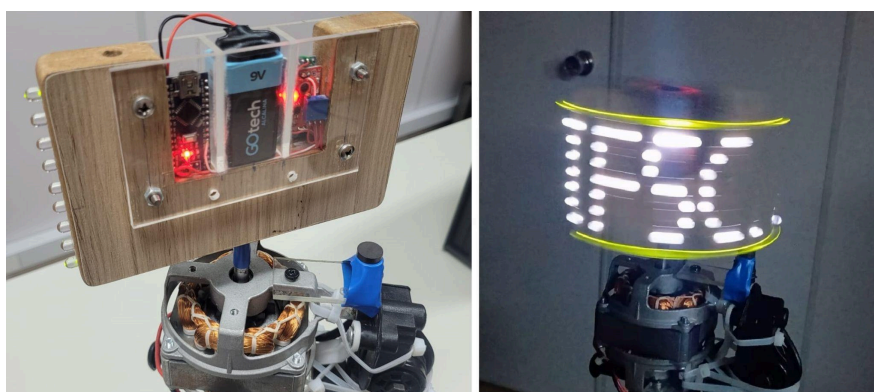


Figura 4 - Imagem do motor de ventilador com ímã do sensor *hall* e demonstração de funcionamento do Display POV.

4.4 Descrição do Algoritmo

Quando ocorre uma interrupção provocada pelo sensor de efeito *hall*, o microcontrolador registra o momento inicial da rotação e aciona a rotina de varredura visual. Cada linha binária da matriz da imagem ou caractere é lida em sequência, e seus bits, equivalentes aos *pixels* ativos, determinam o acionamento de cada LED individualmente.

A lógica converte a informação binária da linha em pulsos elétricos, correspondendo ao estado *ON* ou *OFF* de cada LED, dependendo se o *bit* está alto ou baixo. Durante cada ciclo, o tempo decorrido desde a última referência angular, fornecida pelo sensor, é utilizado para garantir que o acionamento dos LEDs aconteça apenas no ângulo correto de rotação.

A exibição dos *pixels* respeita a ordem das colunas e utiliza pequenos intervalos de tempo entre os pulsos, para sincronizar cada *pixel* exibido com a posição angular do sistema em movimento. Como resultado, a imagem ou caractere é formada na posição

precisa do espaço, reproduzindo o padrão binário armazenado e compondo visualmente o conteúdo previsto a cada ciclo completo de rotação.

5. Resultado e Discussão

Diversos testes e modificações foram realizados até o êxito no funcionamento do *display* POV, a principal foi adequar o padrão de tempo da luminosidade dos Leds às rotações do motor, sendo necessário adequar às constâncias de tempo do código de controle dos leds como a rotação do motor utilizado.

O uso de acrílico transparente formando a caixa de fechamento do chassi proporcionou não apenas a proteção dos componentes eletrônicos, mas também facilitou a observação interna do sistema, característica relevante para fins didáticos. A fixação dos módulos com cola instantânea mostrou-se simples e eficaz, garantindo estabilidade sem comprometer a montagem.

Considerando a necessidade de reduzir assimetrias de massa no dispositivo, a distribuição dos componentes eletrônicos no chassi rotativo foi feita de forma balanceada. A placa do Arduino, por apresentar maior peso, foi fixada em uma extremidade, sendo contrabalançada pela instalação dos módulos *Bluetooth* e sensor *Hall* no lado oposto. A bateria de alimentação foi posicionada no centro da estrutura, favorecendo a uniformidade da distribuição de massa e garantindo melhor equilíbrio dinâmico do dispositivo e melhor qualidade na exibição dos padrões luminosos.

A extensão criada no sensor *hall* para fixação do leitor na parte inferior do projeto proporcionou uma melhor adequação no posicionamento do ímã de leitura de posição, podendo assim o ímã estar frontalmente ao sensor de rotação garantindo um acionamento exato do ciclo de escrita.

Em comparação com projetos similares descritos na literatura, o protótipo desenvolvido destaca-se pelo baixo custo, pelo reaproveitamento de materiais (como o motor de ventilador em desuso) e pela facilidade de montagem, configurando-se como uma alternativa viável para atividades de ensino em robótica e programação. Contudo, melhorias podem ser alcançadas com a adoção de um motor mais leve, e de preferência alimentado por baterias, possibilitando a portabilidade e leveza do dispositivo.

Um ponto interessante a ressaltar presenciado nos testes realizados é que quando se aumenta a rotação do motor, o giro do mecanismo gera um deslocamento de ar e consequentemente ruídos, tornando desagradável o funcionamento do mecanismo.

Outra adequação que será realizada futuramente é alteração das portas de comunicação entre o arduino e o dispositivo bluetooth, que atualmente é realizada pela entrada serial do arduino, nos pinos TX e RX, da maneira que está adotado este método de comunicação, quando faz-se necessário carregar o código fonte para dentro da interface do arduino, somente é possível se ocorrer a intervenção física entre a interface do arduino e o dispositivo *bluetooth*.

6. Considerações Finais

Em suma, o desenvolvimento do *display* de Persistência da Visão com módulo *Bluetooth* HC-05 reutilizado mostrou-se eficiente e sustentável para sistemas

embarcados de baixo custo. O protótipo apresentou robustez e potencial didático para uso educacional. A reutilização de componentes evidencia a importância da manufatura reversa para a sustentabilidade e redução de custos.

Futuras melhorias podem incluir motores mais leves e interfaces Bluetooth aprimoradas para maior versatilidade do sistema..

7. Referências

- ALVES, J. K. Estudo e Desenvolvimento de um Display de Persistência da Visão (POV) de Baixo Custo Utilizando Microcontrolador Arduino. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2021.
- CARVALHO, S. S. de; PEREIRA, M. F.; SILVA, V. L. Sistemas Embarcados: Fundamentos, Aplicações e Desafios Tecnológicos. Revista Matiz Online, Matão, SP, v. 14, n. 1, p. 50-65, 2021.
- DIAS, A. B. O atual Processo de Globalização torna Crucial a Obtenção e Manutenção da Competitividade de Empresas e Nações. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 17., 1997. Porto Alegre: ABEPRO, 1997. p. 1-20.
- GOMES, P. R. Interdisciplinaridade na Engenharia: Da Percepção Humana ao Hardware. Cadernos de Engenharia e Inovação, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 7-22, 2023.
- NETTO, J. V. F. Estudo de Caso Sistemas Embarcados e Automação Residencial. Revista Científica Semana Acadêmica, Fortaleza, n. 250, p. 1-18, mar. 2023.
- QUEIROZ, F. A. et al. Aplicação de Sistemas Embarcados e Suas Tecnologias no Combate a COVID-19: uma Breve Revisão da Literatura. RECIMA 21, v. 5, n. 8, p. 1-15, 2024. Disponível em: <https://recima21.com.br/recima21/article/view/5603>. Acesso em: 10 set. 2025.
- SANTOS, L. H. dos; JÚNIOR, J. P. G.; SILVA, L. F. da. Implementação e análise de um sistema de aquisição de dados utilizando Arduino e sensores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA, 8., 2020, Online. Anais do 8º Congresso Brasileiro de Engenharia Elétrica, 2020. [S.l.]: Blucher, 2020. p. 1-10.
- VIANA, R. F. Módulo Bluetooth HC-05 e sua Aplicação em Sistemas de Interatividade de Baixo Custo. Anais do Congresso de Engenharia Elétrica, Salvador, v. 12, p. 100-115, 2023.