

## Sistemas Embarcados: Fundamentos, Aplicações e Desafios Tecnológicos

GRAZIOSI, S. E.<sup>1</sup>, BERNARDO, P. H. A.<sup>2</sup>, MARTINELLI, M. A.<sup>3</sup>

1 Docente em Sistemas de Informação no Instituto Matonense Municipal de Ensino Superior (IMMES). 2 Docente em Sistemas de Informação no Instituto Matonense Municipal de Ensino Superior (IMMES) e Docente da Universidade Brasil – Campus Descalvado. 3 Docente em Sistemas de Informação no Instituto Matonense Municipal de Ensino Superior (IMMES).

**RESUMO:** Os sistemas embarcados estão cada vez mais presentes em aplicações cotidianas e industriais, desempenhando funções específicas com alta confiabilidade, baixo consumo energético e resposta em tempo real. Este artigo tem como objetivo apresentar uma visão abrangente sobre os fundamentos, aplicações e desafios tecnológicos dos sistemas embarcados, com base em uma revisão de literatura técnica e estudos de caso. São abordados conceitos essenciais como microcontroladores, firmware, sistemas operacionais de tempo real (RTOS), e plataformas de desenvolvimento. A análise contempla aplicações em áreas como automação residencial, engenharia biomédica, mobilidade urbana e monitoramento energético, com ênfase em soluções baseadas em dispositivos como MSP430, Raspberry Pi e sensores IoT. Com base em estudos como os de Carvalho et al. (2021) e Felix Neto (2019), observa-se que a adoção de sistemas embarcados exige equilíbrio entre desempenho, consumo energético e complexidade de projeto. Entre os principais desafios estão a integração de hardware e software, a limitação de recursos computacionais e a segurança da informação. Conclui-se que o desenvolvimento de soluções embarcadas demanda conhecimento multidisciplinar e acompanhamento das inovações tecnológicas, sendo uma área promissora para engenheiros, pesquisadores e empreendedores em diversos setores.

**Palavras-chave:** Sistemas embarcados, RTOS, microcontroladores, aplicações inteligentes, IoT.

**ABSTRACT:** *Embedded systems are increasingly present in everyday and industrial applications, performing specific functions with high reliability, low energy consumption, and real-time response. This article aims to present a comprehensive overview of the fundamentals, applications, and technological challenges of embedded systems, based on a review of technical literature and case studies. Essential concepts such as microcontrollers, firmware, real-time operating systems (RTOS), and development platforms are covered. The analysis includes applications in areas such as home automation, biomedical engineering, urban mobility, and energy monitoring, with an emphasis on solutions based on devices such as MSP430, Raspberry Pi, and IoT sensors. Based on studies such as those by Carvalho et al. (2021) and Felix Neto (2019), it is observed that the adoption of embedded systems requires a balance between performance, energy consumption, and design complexity. Among the main challenges are hardware and software integration, limited computational resources, and information security. It is concluded that the development of embedded solutions requires multidisciplinary knowledge and monitoring of technological innovations, being a promising area for engineers, researchers and entrepreneurs in various sectors.*

**Keywords:** *Embedded systems, RTOS, microcontrollers, smart applications, IoT.*

## **1. INTRODUÇÃO**

A crescente digitalização das atividades humanas tem intensificado a presença de sistemas embarcados em diversos setores, desde a automação industrial até o uso cotidiano em dispositivos domésticos e médicos. Sistemas embarcados são sistemas computacionais encapsulados, com hardware e software dedicados a uma tarefa específica, geralmente com requisitos de tempo real e baixo consumo energético. Eles estão presentes em controladores de tráfego, aparelhos médicos, automóveis, drones, eletrodomésticos inteligentes, entre outros. Seu funcionamento eficiente e discreto é essencial para garantir confiabilidade e segurança em aplicações críticas.

Estudos como os de Carvalho et al. (2021) mostram que os sistemas operacionais de tempo real (RTOS) desempenham papel central na previsibilidade e na resposta rápida desses sistemas, sobretudo em ambientes sensíveis como saúde e aeronáutica. Por outro lado, autores como Netto (2023) destacam as dificuldades de desenvolvimento em ambientes com recursos restritos, exigindo maior esforço de otimização por parte dos engenheiros. Além disso, a integração entre hardware, firmware e comunicação externa requer domínio de múltiplas disciplinas, o que representa uma barreira para muitos desenvolvedores iniciantes.

Apesar do crescente número de dispositivos embarcados, há ainda uma lacuna quanto à sistematização de conhecimento técnico e à divulgação das boas práticas em desenvolvimento, especialmente para profissionais em formação. Muitos projetos são desenvolvidos com foco apenas funcional, sem considerar aspectos críticos como segurança, interoperabilidade e sustentabilidade energética. Além disso, poucos trabalhos exploram, de forma integrada, os fundamentos teóricos, aplicações práticas e os desafios tecnológicos emergentes da área.

Diante disso, este artigo tem como objetivo apresentar uma abordagem abrangente sobre sistemas embarcados, abordando seus fundamentos, principais aplicações e os desafios tecnológicos que envolvem seu desenvolvimento. A análise inclui discussões sobre plataformas de hardware, uso de RTOS, e exemplos de aplicação em contextos como automação, saúde e Internet das Coisas (IoT), com base em estudos de caso e revisão de literatura técnica.

## **2. OBJETIVOS**

### **Objetivo Geral:**

Apresentar uma análise abrangente sobre os fundamentos, aplicações e desafios tecnológicos dos sistemas embarcados, considerando suas características técnicas, áreas de aplicação e perspectivas de desenvolvimento.

### **Objetivos Específicos**

- Explicar os conceitos fundamentais que definem um sistema embarcado, incluindo arquitetura, firmware e sistemas operacionais de tempo real.
- Identificar as principais áreas de aplicação dos sistemas embarcados, com ênfase em automação, saúde, mobilidade e energia.
- Analisar os principais desafios enfrentados no desenvolvimento de sistemas embarcados, como consumo energético, integração hardware-software e segurança da informação.
- Discutir plataformas e tecnologias utilizadas no desenvolvimento de sistemas embarcados, como MSP430, Raspberry Pi e RTOS.

Segundo Carvalho et al. (2021), o domínio sobre os aspectos fundamentais dos sistemas embarcados é essencial para garantir eficiência e segurança em aplicações críticas. Já Felix Neto (2019) reforça a importância de compreender os desafios do desenvolvimento embarcado, especialmente em projetos com restrições severas de hardware e energia.

## **3. REVISÃO DA LITERATURA**

Os sistemas embarcados são projetados para realizar tarefas específicas em tempo real, com recursos limitados e alta confiabilidade. Segundo Barr e Massa (2006), eles diferem dos computadores de propósito geral por sua arquitetura dedicada e pelo uso de firmwares gravados diretamente em memória não volátil. Carvalho et al. (2021) complementam que essa especialização torna os sistemas embarcados ideais para aplicações em que desempenho, consumo energético e estabilidade são mais importantes que flexibilidade. No entanto, essa especificidade também implica desafios de desenvolvimento e manutenção, especialmente quando o sistema precisa ser atualizado ou adaptado.

O uso de sistemas operacionais de tempo real (RTOS) tem sido cada vez mais comum em

soluções embarcadas. De acordo com Silberschatz et al. (2014), um RTOS permite o gerenciamento eficaz de tarefas com prioridade e resposta previsível, essencial em aplicações críticas. Carvalho et al. (2021), no entanto, alertam que há escassez de estudos conclusivos sobre o real impacto do uso de RTOS no desempenho global dos sistemas embarcados. A seleção inadequada de um RTOS pode resultar em desperdício de recursos ou aumento da complexidade do desenvolvimento.

Diversas plataformas são utilizadas para o desenvolvimento de sistemas embarcados, como o microcontrolador MSP430, conhecido por seu baixo consumo energético e aplicação em dispositivos móveis ou vestíveis. Segundo Netto (2023), o MSP430 é ideal para aplicações que exigem eficiência energética e simplicidade de hardware. Por outro lado, plataformas como o Raspberry Pi oferecem maior capacidade de processamento e conectividade, porém com maior consumo de energia e complexidade de configuração, como destacam Souza e Moraes (2018).

As aplicações dos sistemas embarcados são amplas e crescentes. Felix Neto (2019) destaca sua aplicabilidade na automação residencial, onde controladores embarcados gerenciam iluminação, temperatura e segurança. Já em engenharia biomédica, sistemas embarcados são empregados para monitoramento fisiológico, como no trabalho de Santos e Pereira (2017). Contudo, essas aplicações também enfrentam limitações relacionadas à miniaturização dos componentes, confiabilidade das leituras e segurança na transmissão dos dados sensíveis.

Por fim, os desafios enfrentados no desenvolvimento de sistemas embarcados envolvem tanto aspectos técnicos quanto organizacionais. Barreiras como a integração entre hardware e software, o domínio de múltiplas linguagens de programação e a limitação de memória são recorrentes, segundo Carvalho et al. (2021). Além disso, como observa Barros et al. (2020), há ainda uma lacuna na formação técnica de profissionais, o que compromete a adoção eficiente dessas tecnologias em setores como saúde, energia e transporte. Esses aspectos reforçam a importância de uma abordagem multidisciplinar para o avanço da área.

#### **4. METODOLOGIA**

Este artigo utiliza uma abordagem qualitativa, com base em uma revisão integrativa de literatura e análise documental de estudos técnicos e acadêmicos sobre sistemas embarcados. Segundo Gil (2008), a pesquisa qualitativa permite compreender fenômenos complexos por meio

da interpretação de textos e contextos, sendo especialmente adequada quando há diversidade de abordagens em um mesmo tema. A técnica de categorização temática proposta por Bardin (2011) foi utilizada para estruturar a análise dos conteúdos, dividindo-os em três eixos: fundamentos, aplicações e desafios.

A seleção dos documentos foi feita com base em critérios de relevância acadêmica e técnica. Foram considerados trabalhos como o mapeamento sistemático realizado por Carvalho et al. (2021), projetos de TCC como os de Felix Neto (2019) e Netto (2023), além de materiais introdutórios sobre sistemas embarcados como Silva (2020). A inclusão desses materiais permitiu uma visão integrada entre teoria, prática e formação técnica. Documentos sem contextualização técnica, com foco exclusivamente funcional ou fora do escopo temático foram excluídos.

A análise das fontes foi conduzida por meio da leitura analítica dos trechos mais representativos em cada documento, com atenção aos trechos que descrevem o papel dos RTOS, o funcionamento de microcontroladores como o MSP430 e exemplos de aplicação prática. Essa abordagem buscou conectar conceitos teóricos com aplicações reais descritas nos estudos. Como defendem Marconi e Lakatos (2003), essa triangulação entre teoria e prática amplia a confiabilidade dos achados.

Os dados extraídos foram organizados em uma matriz categórica, relacionando o tipo de sistema embarcado, a aplicação abordada, os recursos utilizados (hardware/software) e os principais desafios relatados. Essa estruturação permitiu comparações entre contextos distintos e a identificação de padrões nos casos analisados. Também foi considerada a presença de RTOS, conectividade, sensores e consumo energético como fatores centrais nas aplicações estudadas.

Embora a pesquisa se baseie exclusivamente em fontes secundárias, a diversidade e a qualidade dos documentos analisados oferecem uma base sólida para a discussão. Como observam Guba e Lincoln (1994), em estudos qualitativos, a consistência metodológica e a coerência analítica são mais relevantes do que a amplitude da amostra. Reconhece-se, no entanto, que a ausência de testes práticos limita a extrapolação quantitativa dos achados.

## **RESULTADOS**

A análise dos documentos revelou que os sistemas embarcados compartilham uma arquitetura comum baseada em microcontroladores, firmware e, em muitos casos, sistemas operacionais de tempo real (RTOS). No estudo de Carvalho et al. (2021), observou-se que os sistemas embarcados modernos utilizam RTOS para garantir previsibilidade e eficiência na

execução de tarefas concorrentes. Já Netto (2023) destaca a importância da seleção adequada de microcontroladores com relação ao consumo de energia e capacidade de processamento, sendo o MSP430 citado como ideal para aplicações de baixa potência.

Quanto às plataformas de desenvolvimento, os documentos analisados apontam a popularização de placas como o Raspberry Pi e o Arduino, devido ao seu custo acessível e à vasta comunidade de suporte. Felix Neto (2019) utilizou o Raspberry Pi em um projeto de automação residencial com controle via smartphone, demonstrando a aplicabilidade desses dispositivos em contextos reais. A integração com sensores e módulos de comunicação foi um fator recorrente nos projetos, destacando a importância da modularidade no desenvolvimento embarcado.

No campo das aplicações, os estudos mostraram que os sistemas embarcados são amplamente utilizados em automação residencial, monitoramento ambiental, saúde e educação. O trabalho de Silva (2020) relatou a criação de um protótipo educacional baseado em sensores de temperatura e luz, enquanto Carvalho et al. (2021) abordaram o uso de sistemas embarcados para monitoramento energético em tempo real. A diversidade de aplicações reflete a versatilidade desses sistemas, mesmo com limitações de hardware.

Os principais desafios relatados nos estudos incluíram a limitação de memória, o gerenciamento de energia e a complexidade da integração hardware-software. Netto (2023) destacou a dificuldade de adaptar bibliotecas em ambientes com microcontroladores mais restritos, enquanto Felix Neto (2019) mencionou a necessidade de conhecimentos em redes e segurança para implementar soluções conectadas. Outro ponto recorrente foi a dependência de documentações fragmentadas, o que dificulta o aprendizado e a manutenção dos sistemas.

Por fim, os estudos apontaram a importância da multidisciplinaridade no desenvolvimento de soluções embarcadas. A combinação de conhecimentos em eletrônica, programação, protocolos de comunicação e modelagem de sistemas é fundamental para o sucesso dos projetos. Além disso, os autores reforçam a necessidade de atualização constante, dada a rápida evolução das tecnologias embarcadas e a crescente demanda por soluções eficientes e conectadas.

## **5. DISCUSSÃO**

Os resultados confirmam que os sistemas embarcados representam uma solução versátil e eficiente para aplicações que exigem controle dedicado, baixo consumo energético e resposta em tempo real. A análise dos projetos revisados, como os de Felix Neto (2019) e Netto (2023), demonstra que mesmo plataformas de baixo custo podem ser aplicadas com sucesso em domótica,

monitoramento e automação. Essa versatilidade se alinha ao que Barr e Massa (2006) defendem ao caracterizar sistemas embarcados como centrais para aplicações especializadas que não demandam interfaces complexas.

Contudo, a integração entre hardware, software e comunicação ainda é um dos maiores desafios enfrentados pelos desenvolvedores. Embora existam plataformas consolidadas como Arduino e Raspberry Pi, a documentação fragmentada, a variedade de padrões e a escassez de boas práticas ainda impactam negativamente a curva de aprendizado. Como apontado por Barros et al. (2020), isso revela um gap de formação técnica, principalmente em cursos introdutórios de engenharia e tecnologia. A falta de padronização nos ambientes de desenvolvimento também compromete a reusabilidade de soluções.

O uso de RTOS mostrou-se benéfico em cenários onde previsibilidade e concorrência de tarefas são críticos, como em aplicações médicas e industriais. Entretanto, sua adoção requer domínio técnico mais avançado, o que limita sua presença em projetos educacionais ou de prototipagem rápida, como observa Carvalho et al. (2021). A ausência de benchmarks padronizados entre os diferentes RTOS também dificulta a escolha adequada por parte dos desenvolvedores.

A questão energética é recorrente nos estudos analisados, tanto no aspecto de consumo como na autonomia dos dispositivos. Microcontroladores como o MSP430 foram frequentemente destacados por sua eficiência energética, mas apresentam limitações de processamento e memória. Isso reforça o argumento de Silva (2020) sobre a necessidade de escolhas equilibradas entre desempenho, autonomia e custo. Em aplicações móveis ou em campo, como sistemas biomédicos e sensores ambientais, essa escolha torna-se ainda mais crítica.

Em síntese, os sistemas embarcados apresentam amplo potencial, mas exigem uma abordagem multidisciplinar e crítica para seu desenvolvimento eficaz. A formação de profissionais com domínio em eletrônica, computação e comunicação é essencial para explorar todo o potencial dessas tecnologias. Os achados deste artigo reforçam a importância de políticas educacionais e industriais que incentivem o desenvolvimento de soluções embarcadas seguras, sustentáveis e adaptáveis às exigências da sociedade contemporânea.

## 6. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma análise abrangente sobre os fundamentos, aplicações e desafios tecnológicos dos sistemas embarcados, com base em literatura técnica e estudos de caso acadêmicos. Os resultados confirmam a versatilidade desses sistemas em aplicações que exigem controle dedicado, baixo consumo energético e alta confiabilidade, como automação residencial, saúde e monitoramento ambiental. A combinação entre microcontroladores eficientes, plataformas acessíveis e sensores integrados contribui para o crescimento contínuo das soluções embarcadas no cenário tecnológico atual.

A revisão mostrou que, embora existam ferramentas e tecnologias consolidadas, o desenvolvimento de sistemas embarcados ainda enfrenta desafios significativos. Entre eles, destacam-se a integração entre hardware e software, a limitação de recursos computacionais, o gerenciamento de energia e a falta de padronização no desenvolvimento. Além disso, o domínio de RTOS e linguagens de programação específicas exige uma base técnica sólida, o que representa uma barreira para estudantes e profissionais em formação.

Entre as limitações deste estudo, destaca-se a ausência de experimentos próprios ou benchmarks comparativos padronizados, o que poderia enriquecer a análise quantitativa dos sistemas avaliados. Além disso, a maioria dos casos estudados se restringiu a contextos acadêmicos ou de prototipagem, sendo necessário explorar mais profundamente aplicações industriais e comerciais de larga escala. Ainda assim, os dados qualitativos analisados permitiram reflexões relevantes sobre o estado atual da tecnologia.

Como perspectivas para futuras pesquisas, sugere-se o aprofundamento em áreas como segurança da informação em sistemas embarcados, análise de desempenho de RTOS em diferentes cenários e integração com tecnologias emergentes como 5G e inteligência artificial. A criação de repositórios de boas práticas, bancos de dados comparativos e ambientes padronizados de teste pode contribuir para o avanço da área, consolidando os sistemas embarcados como pilares da inovação tecnológica contemporânea.

## REFERÊNCIAS

- BARR, M.; MASSA, A. *Programming Embedded Systems: With C and GNU Development Tools*. 2. ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2006.
- BARROS, F. R. et al. Formação e capacitação em sistemas embarcados: desafios e perspectivas. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, v. 13, n. 3, p. 1–15, 2020.
- BARDIN, L. *Análise de conteúdo*. Lisboa: Edições 70, 2011.
- CARVALHO, E. R. de et al. Mapeamento sistemático da literatura sobre sistemas embarcados. *Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia*, v. 6, n. 1, p. 1–15, 2021.
- FELIX NETO, F. A. Sistema de automação residencial utilizando Raspberry Pi. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Paulista, 2019.
- GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- GUBA, E. G.; LINCOLN, Y. S. Competing paradigms in qualitative research. In: DENZIN, N. K.; LINCOLN, Y. S. (Orgs.). *Handbook of Qualitative Research*. Thousand Oaks: Sage, 1994.
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. *Metodologia científica*. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2003.
- NETTO, J. V. Desenvolvimento de protótipo embarcado com MSP430 para monitoramento ambiental. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia da Computação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2023.
- SANTOS, M. G.; PEREIRA, A. R. Aplicações de sistemas embarcados em engenharia biomédica: uma revisão. *Revista da Saúde e Biotecnologia*, v. 12, n. 2, p. 55–62, 2017.
- SILBERSCHATZ, A.; GALVIN, P. B.; GAGNE, G. *Sistemas Operacionais: Conceitos e Design*. 9. ed. São Paulo: LTC, 2014.
- SILVA, M. F. Introdução aos sistemas embarcados: conceitos, ferramentas e aplicações. Apostila. Universidade Federal de Goiás, 2020.
- SOUZA, L. F.; MORAES, R. D. Estudo de caso sobre a aplicação do Raspberry Pi em projetos de automação. *Revista de Inovação Tecnológica*, v. 5, n. 1, p. 45–56, 2018.