

---

## REAPROVEITAMENTO DE SMARTPHONES ANTIGOS EM INTERNET DAS COISAS (IOT) E AUTOMAÇÃO: APLICAÇÕES EM ENGENHARIA DE ENERGIA E UM ESTUDO DE CASO

### *REPURPOSING OLD SMARTPHONES FOR INTERNET OF THINGS (IOT) AND AUTOMATION: APPLICATIONS IN ENERGY ENGINEERING AND A CASE STUDY*

Leonardo Montaño Simonato<sup>1</sup>  
Matheus Andrioni Ricobello<sup>2</sup>  
Guilherme Yujii Tyba Santos<sup>3</sup>  
José Francisco Resende da Silva<sup>4</sup>

**Resumo –** A rápida obsolescência dos smartphones aumenta o desperdício eletrônico, mesmo quando os dispositivos permanecem funcionais. Este estudo explora a reutilização de smartphones antigos em Internet das Coisas (IoT) e automação em Engenharia de Energia. Com base em uma revisão bibliográfica e um estudo de caso no Laboratório de Engenharia de Energia da UNESP, um Samsung Galaxy J5 (2015) foi configurado como um servidor OctoPrint para controle remoto de uma impressora 3D. A análise revelou benefícios ambientais, econômicos, sociais e educacionais, além de baixo consumo de energia e estabilidade operacional. Os desafios técnicos incluem compatibilidade e integração com inteligência artificial e sistemas de IoT autossustentáveis. Os resultados mostram que a reutilização de smartphones é uma solução viável.

**Palavras-chave** Reaproveitamento de smartphones, Internet das Coisas, Economia Circular.

**Abstract -** The rapid obsolescence of smartphones increases electronic waste, even when devices remain functional. This study explores reusing old smartphones in Internet of Things (IoT) and automation within Energy Engineering. Based on a literature review and a case study at the Energy Engineering Laboratory of UNESP, a Samsung Galaxy J5 (2015) was configured as an OctoPrint server for remote control of a 3D printer. The analysis revealed environmental, economic, social, and educational benefits, along with low energy consumption and operational stability. Technical challenges include compatibility and

---

<sup>1</sup> Discente do Curso de Engenharia de Energia. Universidade Estadual Paulista – UNESP – Rosana. Contato: leonardo.m.simonato@unesp.br

<sup>2</sup> Discente do Curso de Engenharia de Energia. Universidade Estadual Paulista – UNESP – Rosana. Contato: matheus.ricobello@unesp.br

<sup>3</sup> Discente do Curso de Engenharia de Energia. Universidade Estadual Paulista – UNESP – Rosana. Contato: guilherme.tyba@unesp.br

<sup>4</sup> Docente do Curso de Engenharia de Energia. Universidade Estadual Paulista – UNESP – Rosana. Contato: jose.resende@unesp.br

*integration with artificial intelligence and self-sustaining IoT systems. Results show that smartphone reuse is viable.*

**Keywords:** *Smartphone repurposing, Internet of Things, Circular Economy.*

## I. INTRODUÇÃO

A rápida evolução tecnológica no setor de dispositivos móveis tem resultado em um ciclo de substituição cada vez mais acelerado, no qual novos modelos de smartphones são lançados em intervalos anuais ou semestrais. Essa dinâmica de mercado, aliada a estratégias de obsolescência programada e ao apelo de recursos incrementais, gera um volume crescente de descarte de aparelhos ainda funcionalmente operantes (Chatterji, 2021; Makov; Font Vivanco, 2018). Segundo o Global E-waste Monitor 2024, publicado pela United Nations Institute for Training and Research (UNITAR):

“O mundo produziu aproximadamente 62 milhões de toneladas de resíduos eletrônicos em 2022, com previsão de atingir 82 milhões até 2030. Apenas cerca de 23 % desse total é coletado e reciclado de forma ambientalmente adequada (Forti et al., 2024).”

Smartphones, por sua natureza multifuncional, abrigam uma gama diversificada de sensores e módulos câmeras de alta resolução, acelerômetros, giroscópios, GPS, conectividade Wi-Fi e Bluetooth, além de processadores com desempenho comparável a computadores de placa única. Esses recursos permanecem subutilizados quando o dispositivo é aposentado apenas por não atender aos padrões de desempenho ou estética do usuário. Tal cenário configura uma oportunidade significativa para o reaproveitamento tecnológico, especialmente nas áreas de Internet das Coisas (IoT) e automação, onde há demanda crescente por dispositivos de coleta e processamento de dados (Marah et al., 2020; Norbisrath et al., 2024). A reutilização de smartphones antigos como nos IoT oferece múltiplos benefícios. Ambientalmente, contribui para a redução da geração de lixo eletrônico e para a diminuição da extração de metais raros e outros insumos de alto impacto. Economicamente, representa uma alternativa de baixo custo a hardwares dedicados como Raspberry Pi, Arduino e microcontroladores industriais. Socialmente, amplia o acesso a tecnologias de automação, democratizando a prototipagem e o aprendizado prático, sobretudo em ambientes acadêmicos (Young et al., 2022; Singh et al., 2023).

O presente artigo explora essa abordagem por meio de uma revisão bibliográfica e de um estudo de caso realizado no Laboratório de Engenharia de Energia da UNESP, campus de Rosana. Neste, um smartphone Samsung Galaxy J5 (2015) foi reaproveitado como servidor OctoPrint para controle remoto de uma impressora 3D. Adicionalmente, são discutidas aplicações em engenharia de energia, incluindo automação laboratorial, monitoramento de sistemas fotovoltaicos e prototipagem de dispositivos autônomos. Ao final, apontam-se perspectivas futuras e direções para pesquisa, enfatizando a convergência entre inovação tecnológica e economia circular.

O reaproveitamento de smartphones para aplicações em IoT insere-se no contexto da economia circular e da engenharia sustentável. Diferentemente da reciclagem convencional, que frequentemente degrada o valor do material, o upcycling

tecnológico preserva o valor agregado do produto e prolonga seu ciclo de vida útil (Ellen Macarthur Foundation, 2019). Estudos de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) comparando smartphones reaproveitados com controladores lógicos programáveis (PLCs) e outros dispositivos de automação indicam menores impactos em categorias como toxicidade humana, eutrofização e potencial de aquecimento global (Kim et al., 2023).

Makov e Font Vivanco (2018) destacam que:

“Embora a reutilização traga benefícios ambientais diretos, ela também pode estar sujeita ao efeito rebote, quando a redução de custos e o aumento do acesso incentivam maior consumo global de eletrônicos, reduzindo parcialmente os ganhos ambientais. Para maximizar benefícios, é necessário alinhar práticas de reaproveitamento a políticas públicas, padrões de design modular e incentivos para reutilização. (Kim et al. 2023)”

Em pesquisa publicada na *Frontiers in Sustainable Cities*, demonstram que prolongar a vida útil de dispositivos móveis em dois anos pode reduzir em até 30 % o impacto ambiental total por unidade, considerando emissões de CO<sub>2</sub> equivalentes e consumo energético na cadeia de produção. Em aplicações industriais, a substituição de hardware dedicado por smartphones reaproveitados também reduz custos de manutenção e transporte. Essa abordagem é especialmente promissora em economias emergentes, onde o custo de infraestrutura é um obstáculo à digitalização (Modise; Kasprzyk; Zederman, 2017). Projetos como Octo4a, PhoneIoT e JanOS têm papel central na viabilização técnica do reaproveitamento. O Octo4a, por exemplo, instala e executa o servidor OctoPrint diretamente em dispositivos Android, permitindo o controle completo de impressoras 3D via USB OTG, sem necessidade de acesso root (Filip, 2021). O PhoneIoT, por sua vez, oferece uma API educacional para coleta e transmissão de dados de sensores internos e externos, ampliando as possibilidades de uso em contextos acadêmicos (Young et al., 2022). Já o JanOS transforma o smartphone em um single-board computer dedicado para aplicações de automação e sensoriamento (Holwerda, 2023).

A reutilização de smartphones em aplicações de IoT e automação gera benefícios que se estendem por quatro dimensões principais: ambiental, econômica, social e educacional. Esses benefícios, quando articulados em conjunto, potencializam o impacto positivo da prática. O benefício ambiental mais evidente é a mitigação do lixo eletrônico (e-waste), que, segundo Forti et al. (2024), é o fluxo de resíduos de mais rápido crescimento no mundo. Smartphones descartados contêm metais preciosos como ouro, prata, paládio e cobre, além de terras raras como neodímio e lantâno (Ecoassist, 2020). A extração desses materiais gera impactos significativos, incluindo degradação do solo, poluição hídrica e emissões de gases de efeito estufa (GHG). Estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) indicam que o reaproveitamento de dispositivos eletrônicos pode reduzir entre 20 % e 40 % das emissões associadas à sua produção (Kim et al., 2023). Além disso, evita-se a destinação inadequada de metais pesados como chumbo, mercúrio e cádmio, que representam risco à saúde humana e ecossistemas (Widmer et al., 2020). Do ponto de vista econômico, o reaproveitamento elimina ou reduz custos com a aquisição de hardware dedicado. Um Raspberry Pi 4 com acessórios pode ultrapassar o valor de R\$ 600, enquanto um smartphone antigo

“encostado” tem custo marginal praticamente nulo para o proprietário. Norbisrath et al. (2024) demonstram em projetos de automação:

“Em pequena escala, a substituição de SBCs (Single Board Computers) por smartphones reaproveitados pode reduzir o custo total em até 65 %.(Norbisrath et al., 2024)”

Esse diferencial é ainda mais relevante em ambientes educacionais e laboratórios de pesquisa com recursos limitados. Em países de baixa e média renda, onde a penetração de smartphones é elevada, mas o acesso a equipamentos de laboratório e microcontroladores é limitado, o reaproveitamento permite ampliar o alcance de iniciativas de inovação e capacitação tecnológica (Modise; Kasprzyk; Zederman, 2017). O uso de smartphones reaproveitados em projetos comunitários pode viabilizar redes de monitoramento ambiental, sistemas de alerta e programas educacionais de baixo custo (Singh et al., 2023). O uso de smartphones como plataformas de prototipagem em ambientes educacionais é uma tendência crescente. O framework PhoneIoT (Young et al., 2022) exemplifica como estudantes podem desenvolver aplicações de sensoriamento e automação sem necessidade de aquisição de hardware adicional. Isso facilita a aprendizagem prática de conceitos como coleta de dados, integração de sensores e programação orientada a eventos, aproximando teoria e prática de forma mais acessível.

## II. METODOLOGIA

O estudo de caso foi conduzido no Laboratório de Energia-Redes Elétricas Inteligentes do Curso de Engenharia de Energia da Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus de Rosana, visando avaliar a viabilidade de um smartphone reaproveitado como servidor de impressão 3D.

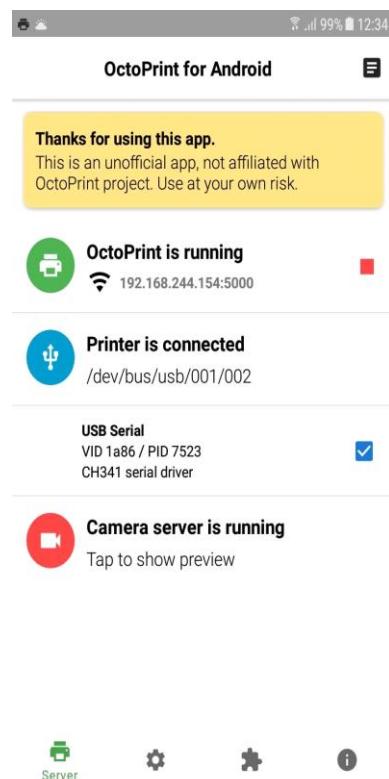
Utilizou-se um smartphone Samsung Galaxy J5 (2015), equipado com Android 7.1.2 e bateria original. O dispositivo foi conectado via cabo USB OTG a uma impressora 3D GTMax3D Core A3 v2 ou GTMax3D Core GT4, rodando o aplicativo Octo4a, que instala o servidor OctoPrint no próprio smartphone (Filip, 2021). O Octo4a, software open source disponível no GitHub, foi instalado diretamente no smartphone via APK. A configuração envolveu habilitar permissões de armazenamento e conectar o dispositivo à impressora 3D via USB OTG. O acesso ao OctoPrint foi configurado via rede Wi-Fi local, permitindo controle e monitoramento remoto da impressora a partir de qualquer dispositivo conectado à mesma rede. A configuração de montagem pode ser vista na Figura 1. Na figura 2 podemos ver a tela do Aplicativo Octo4a em execução. Na Figura 3 podemos ver a interface OctoPrint acessada via navegador em rede local.

Figura 1 - Conexão física do smartphone Samsung Galaxy J5 (2015) à impressora 3D GTMax3D Core A3 v2 via cabo USB OTG.



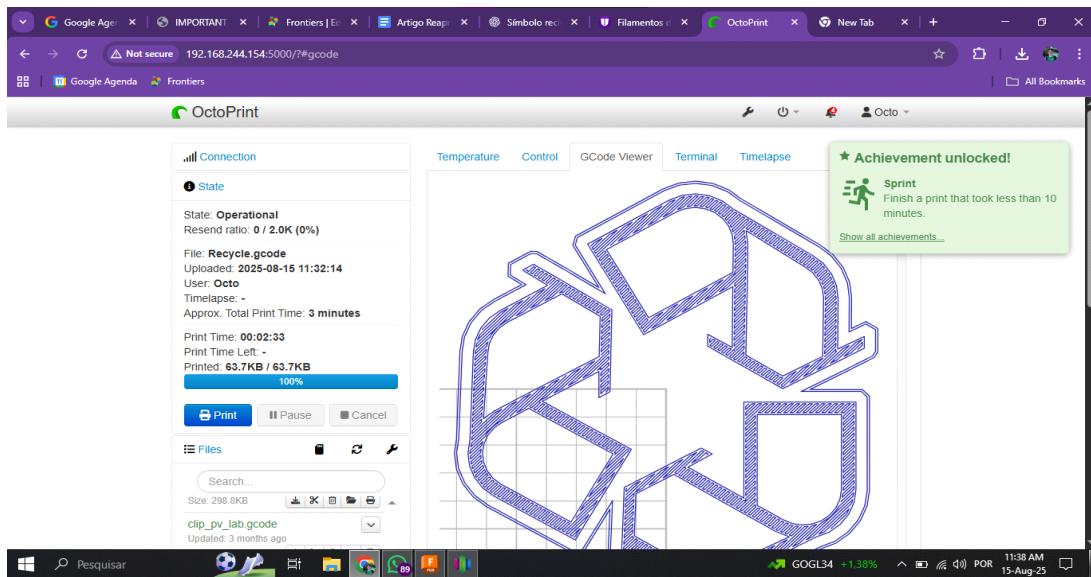
Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura 2 - Tela do aplicativo Octo4a em execução no smartphone.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura 3 - Interface OctoPrint acessada via navegador em rede local.



Fonte: Autoria própria, 2025.

### III. RESULTADOS

O servidor funcionou de forma estável por mais de 100 horas acumuladas de impressão, sem falhas críticas. A câmera integrada do smartphone permitiu transmissão de vídeo em tempo real para acompanhamento do processo. O consumo energético médio foi de aproximadamente 2,5 W, significativamente menor que o de um computador convencional usado para a mesma função. Adicionalmente, o servidor OctoPrint foi conectado ao serviço OctoEverywhere, permitindo acesso remoto seguro e tunelamento do servidor. Isso possibilitou monitoramento e análise do andamento da impressão a partir de qualquer local, abrindo possibilidade de integração com sistemas de inteligência artificial para detecção automática de falhas e otimização do processo.

O projeto demonstrou que dispositivos considerados obsoletos ainda têm potencial para desempenhar funções críticas em ambientes laboratoriais, reduzindo custos e contribuindo para a sustentabilidade. Além disso, a implementação não exigiu modificações de hardware, mantendo a integridade do dispositivo e permitindo reversão ao uso original, caso desejado.

### IV. CONCLUSÃO

A reutilização de smartphones em aplicações de IoT e automação representa uma convergência entre inovação tecnológica, economia circular e inclusão digital. No entanto, para ampliar seu impacto, é necessário considerar desafios técnicos, regulatórios e sociais.

Estratégias como a instalação de sistemas operacionais alternativos (e.g., SpaceOS, LineageOS, JanOS) e a execução de aplicações em sandboxes podem mitigar parte desses riscos. Outro desafio é a limitação de compatibilidade com padrões modernos de comunicação e periféricos. Smartphones antigos podem não suportar protocolos IoT recentes, exigindo uso de gateways intermediários. Contudo, essa

limitação pode ser minimizada por meio de APIs e wrappers que traduzem protocolos (Modise; Kasprzyk; Zederman, 2017). A promoção de iniciativas de reaproveitamento pode ser acelerada por políticas públicas que incentivem a logística reversa e o design for reuse. Programas governamentais de doação de equipamentos para escolas, universidades e makerspaces podem aproveitar o estoque crescente de smartphones inativos. Regulamentações como a Diretiva Europeia 2012/19/EU sobre resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (WEEE) servem como modelo para adoção de práticas similares no Brasil. O avanço de tecnologias como cidades inteligentes amplia o potencial de uso de smartphones reaproveitados:

“Cidades inteligentes: Emprego de redes comunitárias de smartphones reaproveitados para monitoramento ambiental e gestão de recursos urbanos (Xu et al., 2023).”

O reaproveitamento de smartphones em aplicações de IoT e automação apresenta-se como solução técnica e economicamente viável, com benefícios claros em termos ambientais, sociais e educacionais. O estudo de caso realizado no Laboratório de Engenharia de Energia da UNESP evidenciou que dispositivos considerados obsoletos podem desempenhar funções relevantes, substituindo hardware dedicado com baixo custo e consumo energético reduzido. A análise bibliográfica e os resultados experimentais demonstram que, ao aproveitar recursos já incorporados nesses dispositivos como sensores, conectividade e capacidade de processamento, é possível implementar sistemas funcionais e sustentáveis, alinhados aos princípios da economia circular.

Apesar dos desafios, o potencial de integração com tecnologias emergentes, aliado a políticas públicas de incentivo, reforça o papel dessa abordagem como componente estratégico na transição para uma engenharia mais consciente, inclusiva e ambientalmente responsável.

## V. REFERÊNCIAS

CHATTERJI, M. Repairing—not recycling—is the first step to tackling e-waste from smartphones. Here’s why. World Economic Forum, 2021. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2021/08/repairing-recycling-smartphones/>. Acesso em: 5 jun. 2025.

ECOASSIST. Quais impactos o lixo eletrônico causa no planeta?. Ecoassist, 24 abr. 2020. Disponível em: <https://ecoassist.com.br/quais-impactos-o-lixo-eletronico-causa-no-planeta/>. Acesso em: 5 jun. 2025.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Completing the picture: how the circular economy tackles climate change. 2019. Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org/completing-the-picture>. Acesso em: 5 jun. 2025.

FILIP. Octo4a – run OctoPrint on Android. OctoPrint Community Forum, 2021. Disponível em: <https://community.octoprint.org/t/octo4a-run-octoprint-on-android/32491>. Acesso em: 5 jun. 2025.

FORTI, V. et al. The Global E-waste Monitor 2024. Bonn: United Nations Institute for Training and Research (UNITAR), 2024. Disponível em: <https://ewastemonitor.info>. Acesso em: 5 jun. 2025.

HOLWERDA, T. JanOS: turn your phone into an IoT board. OSNews, 2023. Disponível em: <https://www.osnews.com/story/135238/janos-turn-your-phone-into-an-iot-board/>. Acesso em: 5 jun. 2025.

KIM, H. et al. Extending smartphone lifespan: environmental and economic impacts. *Frontiers in Sustainable Cities*, v. 5, p. 112-125, 2023. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frsc.2023.XXXXX/full>. Acesso em: 5 jun. 2025.

LI, X. et al. Security challenges in legacy mobile devices for IoT applications. *IEEE Access*, v. 10, p. 45621-45634, 2022. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3167954.

MAKOV, T.; FONT VIVANCO, D. Measuring the rebound effects of circular economy strategies: The case of reuse of smartphones. *Frontiers in Energy Research*, v. 6, p. 39, 2018. DOI: 10.3389/fenrg.2018.00039.

MARAH, M. T.; ALMSAAD, A.; ALAGHA, M.; AL-FUQAH, A. Smartphone architecture for edge-centric IoT analytics. *Sensors*, v. 20, n. 3, p. 892, 2020. DOI: 10.3390/s20030892.

MDPI. An Internet of Things—Supervisory Control and Data Acquisition (IoT-SCADA) architecture for photovoltaic system monitoring, control, and inspection in real time. *Electronics*, v. 14, n. 1, p. 42, 2024. DOI: 10.3390/electronics14010042.

MODISE, T.; KASPRZYK, A.; ZEDERMAN, R. Re-using old cellphones for IoT applications. University of Johannesburg (UJ), 2017. Disponível em: <https://ujcontent.uj.ac.za/vital/access/services/Download/uj:XXXX/CONTENT1>. Acesso em: 5 jun. 2025.

NORBISRATH, U. et al. Empowering sustainability: upcycling smartphones as the future of IoT and edge computing in emerging economies. In: International Conference on Informatics in Economy. Singapore: Springer Nature Singapore, 2024. p. 203-213. DOI: 10.1007/978-981-96-0161-5\_18.

PHONVERT. Phonvert Project. GitHub, 2014. Disponível em: <https://github.com/phonvert>. Acesso em: 5 jun. 2025.

SHAHID, M. et al. Energy harvesting solutions for sustainable IoT devices. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, v. 44, p. 101–115, 2024. DOI: 10.1016/j.suscom.2024.101115.

SINGH, P. et al. Leveraging discarded smartphones for smart community sensing. *Journal of Cleaner Production*, v. 403, p. 136834, 2023. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.136834.

WANG, Y. et al. AI-based optimization of energy consumption in IoT devices. *Frontiers in Communications and Networks*, v. 4, p. 44, 2023. DOI: 10.3389/frcmn.2023.123456.

WIDMER, R. et al. Global perspectives on e-waste. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 25, n. 5, p. 436-458, 2020. DOI: 10.1016/j.eiar.2020.106678.

XU, M. et al. Smartphone-based participatory sensing for smart cities. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 10, n. 5, p. 4001-4012, 2023. DOI: 10.1109/JIOT.2023.3245678.

YOUNG, W. C. et al. Utilizing smartphones for approachable IoT education in K-12. *Sensors*, v. 22, n. 24, p. 9778, 2022. DOI: 10.3390/s22249778.

## VI. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Prof. Dr. José Francisco Resende da Silva pela orientação e apoio durante o desenvolvimento deste trabalho.

## VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.