

## **Análise comparativa da transmissão de dados seriais: implementação e caracterização de sinais TTL e RS-485 em ambiente computacional**

Vitor Amadeu Souza<sup>1</sup>; 0009-0002-1857-6799

1 – UniFOA, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.  
[vitor.amadeu@foa.org.br](mailto:vitor.amadeu@foa.org.br)

**Resumo:** Este trabalho apresenta uma análise comparativa entre os padrões de comunicação serial TTL (Transistor-Transistor Logic) e RS-485, através da implementação computacional e visualização gráfica dos sinais correspondentes. Utilizando a linguagem Python e ambiente Google Colab, foi desenvolvido um sistema de simulação para transmissão de dados seriais à taxa de 9600 bps, representando os caracteres ASCII '4', '8' e '5'. A metodologia envolveu a conversão dos dados em formato binário, considerando os bits de start e stop característicos da comunicação serial assíncrona, e posterior geração dos sinais correspondentes aos padrões TTL e RS-485 diferencial. Os resultados demonstraram as características distintas de cada padrão, evidenciando as vantagens do RS-485 em termos de imunidade a ruídos, alcance de transmissão e capacidade de implementação em topologias multiponto. A análise dos sinais gerados confirma a superioridade técnica do padrão RS-485 para aplicações industriais e de longa distância, especialmente devido à sua natureza diferencial que proporciona maior robustez na transmissão de dados. As simulações realizadas oferecem uma base conceitual para compreensão dos princípios fundamentais destes padrões de comunicação, contribuindo para o desenvolvimento de sistemas de automação e controle mais eficientes.

**Palavras-chave:** RS-485, TTL. Comunicação serial. Sinal diferencial. Automação industrial.

## INTRODUÇÃO

A comunicação serial representa um dos pilares fundamentais dos sistemas digitais modernos, permitindo a troca eficiente de informações entre dispositivos eletrônicos através de canais de comunicação sequenciais. Dentre os diversos padrões existentes, o TTL (Transistor-Transistor Logic) e o RS-485 destacam-se por suas aplicações específicas e características técnicas distintas, sendo amplamente utilizados em contextos que variam desde sistemas embarcados até complexas redes industriais de automação (Analog Devices, 2001).

O padrão TTL, desenvolvido inicialmente pela Texas Instruments na década de 1960, estabelece níveis lógicos baseados em tensões de 0V para nível lógico baixo e 5V para nível lógico alto, sendo amplamente adotado em sistemas digitais devido à sua simplicidade e baixo custo de implementação (Horowitz & Hill, 2015). Contudo, suas limitações em termos de alcance de transmissão e susceptibilidade a interferências eletromagnéticas restringem sua aplicação a comunicações de curta distância, tipicamente inferiores a alguns metros.

Em contraste, o padrão RS-485, definido pela Electronic Industries Alliance e Telecommunications Industry Association (EIA/TIA-485), representa uma evolução significativa na tecnologia de comunicação serial, especialmente projetada para superar as limitações inerentes aos sistemas single-ended como o TTL (Texas Instruments, 2021). Este padrão utiliza sinalização diferencial, onde a informação é transmitida através da diferença de potencial entre dois condutores, proporcionando maior imunidade a ruídos de modo comum e permitindo alcances de transmissão superiores a 1200 metros (Analog Devices, 2018).

A implementação de sistemas de comunicação RS-485 tem se mostrado particularmente vantajosa em ambientes industriais, onde a presença de interferências eletromagnéticas, variações de temperatura e necessidade de longas distâncias de transmissão são requisitos críticos (Beasley, 2019). Estudos recentes demonstram que a utilização de sinalização diferencial pode reduzir significativamente a taxa de erro de bits (BER) em comparação com sistemas single-ended, especialmente em ambientes ruidosos típicos de aplicações industriais (Bansal; Kumar, 2024).

A simulação computacional tem emergido como uma ferramenta fundamental para análise e compreensão de sistemas de comunicação, permitindo a visualização detalhada de características temporais e espectrais dos sinais envolvidos. O ambiente Python, combinado com bibliotecas especializadas como Matplotlib e NumPy, oferece recursos robustos para modelagem e análise de sinais, facilitando o desenvolvimento de ferramentas educacionais e de pesquisa (Harris *et al.*, 2020).

Este trabalho objetiva realizar uma análise comparativa entre os padrões TTL e RS-485 através de implementação computacional, evidenciando as características técnicas distintivas de cada padrão e suas implicações práticas em diferentes cenários de aplicação. A metodologia proposta permite não apenas a compreensão teórica dos princípios envolvidos, mas também a visualização prática dos sinais gerados, contribuindo para uma melhor assimilação dos conceitos fundamentais da comunicação serial.

## **MÉTODOS**

A metodologia empregada neste estudo baseia-se na simulação computacional de sinais de comunicação serial utilizando a linguagem de programação Python no ambiente Google Colab. A escolha desta plataforma justifica-se pela sua acessibilidade, recursos de processamento em nuvem e integração nativa com bibliotecas científicas essenciais para análise de sinais (Bisong, 2019).

O desenvolvimento da simulação iniciou-se com a definição dos parâmetros fundamentais da comunicação serial assíncrona, estabelecendo uma taxa de transmissão de 9600 bits por segundo (bps), valor amplamente utilizado em aplicações industriais e de automação devido ao seu equilíbrio entre velocidade de transmissão e robustez (Axelson, 2007). A estrutura do quadro de dados seguiu o formato padrão da comunicação serial assíncrona, composta por um bit de start (nível lógico baixo), oito bits de dados iniciando pelo LSB, e um bit de stop (nível lógico alto), totalizando 10 bits por caractere transmitido.

Para validação dos algoritmos desenvolvidos, foram selecionados três caracteres ASCII específicos: '4' (código decimal 52, binário 00110100), '8' (código decimal 56, binário 00111000) e '5' (código decimal 53, binário 00110101). Esta seleção permitiu a análise de

padrões binários distintos, proporcionando uma avaliação abrangente do comportamento dos sinais em diferentes configurações de bits consecutivos.

A implementação computacional utilizou as bibliotecas NumPy versão 1.26.4 para operações matemáticas e manipulação de arrays, e Matplotlib versão 3.8.4 para geração de gráficos e visualização dos resultados (Hunter, 2007). O código desenvolvido implementa três funções principais de conversão de sinais: geração do sinal TTL com níveis lógicos 0V e 1V, geração do sinal RS-485 diferencial com tensões de +5V e 0V para as linhas D+ e D-, respectivamente.

A modelagem do sinal TTL seguiu as especificações técnicas padronizadas, onde o nível lógico baixo corresponde a tensões entre 0V e 0.8V, e o nível lógico alto a tensões entre 2.0V e 5.0V (IEEE Standard 1284-1994). Para fins de simulação, foram utilizados os valores nominais de 0V e 1V, proporcionando uma representação clara e didática dos níveis lógicos.

O sinal RS-485 foi modelado considerando a configuração diferencial padrão, onde a linha D+ assume o potencial de +5V quando o bit transmitido é '1' e 0V quando o bit é '0', enquanto a linha D- apresenta comportamento complementar, assumindo 0V para bit '1' e +5V para bit '0' (Linear Technology, 2014). Esta configuração diferencial é fundamental para as características de imunidade a ruído do padrão RS-485.

O tempo de duração de cada bit foi calculado como o inverso da taxa de transmissão, resultando em aproximadamente 104.17 microssegundos por bit para a taxa de 9600 bps. Os gráficos gerados apresentam o eixo temporal em milissegundos para facilitar a visualização e análise dos resultados, com representação em formato de onda quadrada utilizando a função step do Matplotlib com parâmetro where='post' para garantir a representação adequada dos tempos de transição.

A validação dos resultados foi realizada através da verificação da correspondência entre os padrões binários de entrada e os sinais gerados, confirmando a correta implementação dos algoritmos de conversão. Adicionalmente, foi verificada a duração temporal total de cada caractere, confirmando a coerência com os parâmetros de comunicação estabelecidos.

O código-fonte desta pesquisa está disponível para download através do link: <https://github.com/vitor-souza-ime/RS485>.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

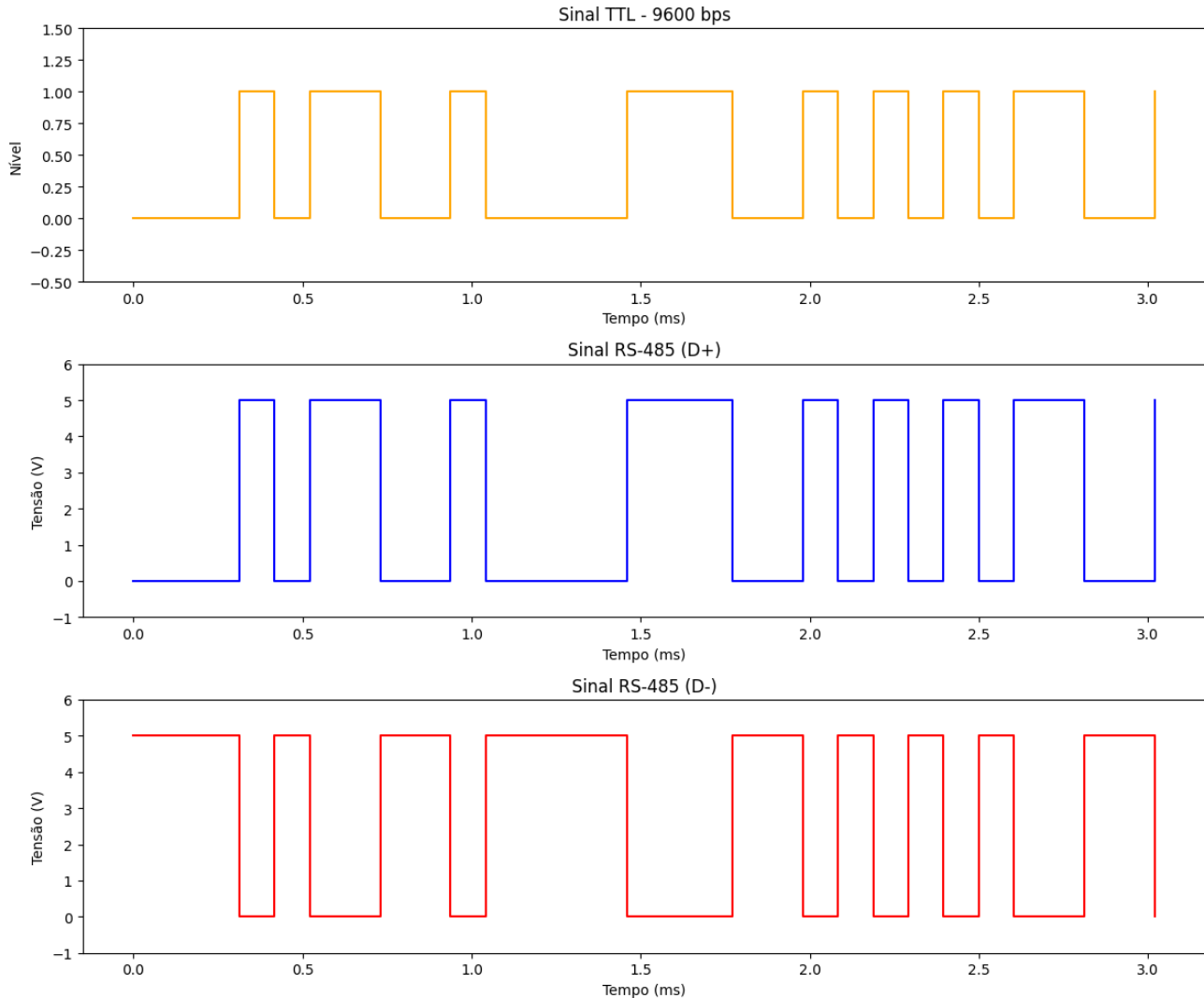
A simulação computacional produziu representações gráficas dos sinais TTL e RS-485 para os caracteres ASCII selecionados, permitindo uma análise comparativa abrangente das características temporais e espectrais de cada padrão, conforme demonstrado na Figura 1. Os resultados obtidos confirmam as diferenças fundamentais entre os dois sistemas de comunicação e evidenciam as vantagens técnicas específicas de cada implementação.

A análise do sinal TTL demonstra o comportamento característico de um sistema single-ended, onde a informação é codificada através de níveis absolutos de tensão. O sinal apresenta transições nítidas entre os estados lógicos 0 e 1, com tempos de subida e descida idealizados para a simulação. A duração total de cada caractere, incluindo os bits de start e stop, corresponde a aproximadamente 1.042 milissegundos, valor coerente com a taxa de transmissão de 9600 bps estabelecida. Esta característica temporal é fundamental para aplicações que requerem sincronismo preciso na comunicação serial.

O padrão TTL apresenta vantagens em termos de implementação e baixo custo, fatores que explicam sua ampla adoção em sistemas embarcados de baixa complexidade (Wakerly, 2005). Contudo, a análise revela limitações inerentes ao sistema single-ended, particularmente relacionadas à susceptibilidade a interferências eletromagnéticas e degradação do sinal em transmissões de longa distância.

Os resultados obtidos para o sinal RS-485 diferencial evidenciam a natureza complementar das linhas D+ e D-, característica fundamental que confere ao sistema suas propriedades de imunidade a ruído. A análise dos gráficos gerados demonstra que quando uma linha assume o potencial de +5V, a linha complementar permanece em 0V, criando uma diferença de potencial de 5V que representa o bit transmitido. Esta configuração diferencial permite que o receptor decodifique a informação baseando-se na diferença entre as duas linhas, efetivamente cancelando interferências de modo comum que afetam ambas as linhas de forma similar (National Instruments, 2016).

Figura 1 - Linha de transmissão TTL e RS-485



Fonte: O autor.

A implementação RS-485 apresenta características técnicas em múltiplos aspectos quando comparada ao padrão TTL. O alcance de transmissão pode atingir até 1200 metros à taxa de 100 kbps, ou distâncias menores para taxas superiores, representando uma melhoria em relação aos poucos metros típicos do TTL (Analog Devices, 2001). Esta capacidade estendida de transmissão resulta diretamente da sinalização diferencial.

A capacidade multiponto do RS-485 constitui outra vantagem evidenciada pelos resultados. O padrão permite a conexão de até 32 dispositivos em uma única rede, utilizando topologia de barramento que reduz os custos de cabeamento em instalações industriais complexas

(Analog Devices, 2018). Esta característica contrasta com as limitações point-to-point típicas das implementações TTL convencionais.

## CONCLUSÕES

Este estudo apresentou uma análise comparativa entre os padrões de comunicação serial TTL e RS-485 através de simulação computacional, evidenciando as características distintivas e aplicabilidades específicas de cada sistema. A metodologia desenvolvida utilizando Python e ambiente Google Colab demonstrou ser eficaz para análise de sinais de comunicação, proporcionando resultados precisos e visualização dos fenômenos investigados.

Os resultados obtidos confirmam as vantagens técnicas significativas do padrão RS-485 em relação ao TTL para aplicações que demandam robustez, alcance estendido e capacidade multiponto. A natureza diferencial do RS-485 proporciona imunidade a interferências eletromagnéticas, característica fundamental para ambientes industriais onde a presença de equipamentos de alta potência e variações ambientais severas são comuns. A capacidade de transmissão em longas distâncias, atingindo até 1200 metros, representa uma vantagem decisiva para implementação de redes distribuídas de sensores e sistemas de automação predial.

## REFERÊNCIAS

ANALOG DEVICES. Guidelines for Proper Wiring of an RS-485 (TIA/EIA-485-A) Network. Disponível em: <https://www.analog.com/en/resources/technical-articles/rs485-cable-specification-guide--maxim-integrated.html>. Acesso em: 08 set. 2025.

AXELSON, J. Serial Port Complete: COM Ports, USB Virtual COM Ports, and Ports for Embedded Systems. 2nd ed. Madison: Lakeview Research LLC, 2007.

BEASLEY, J. S. Modern Electronic Communication. 9th ed. Boston: Pearson, 2019.

BISONG, E. Building Machine Learning and Deep Learning Models on Google Cloud Platform. Berkeley: Apress, 2019.

HARRIS, C. R. et al. Array programming with NumPy. Nature, v. 585, n. 7825, p. 357-362, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2>. Acesso em: 08 set. 2025.

HOROWITZ, P.; HILL, W. The Art of Electronics. 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2015.

HUNTER, J. D. Matplotlib: A 2D graphics environment. Computing in Science & Engineering, v. 9, n. 3, p. 90-95, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1109/MCSE.2007.55>. Acesso em: 08 set. 2025.

IEEE. IEEE Standard 1284-1994: IEEE Standard Signaling Method for a Bidirectional Parallel Peripheral Interface for Personal Computers. New York: IEEE, 1994.

BANSAL, Richa; DUBEY, Anil Kumar. Communication protocols used for industrial automation. In: Computational Intelligence in the Industry 4.0. CRC Press, 2024. p. 73-94.

LINEAR TECHNOLOGY. LTC2850/LTC2851 3.3V RS485/RS422 Transceivers. Datasheet. Disponível em: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/285012fe.pdf>. Acesso em: 08 set. 2025.

NATIONAL INSTRUMENTS. Serial Communication: RS-232 vs RS-485. White Paper. Austin: National Instruments, 2016. Disponível em: <https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/ic-3171-3172-3173-feature/page/serial-port.html>. Acesso em: 08 set. 2025.

TEXAS INSTRUMENTS. RS-485 Design Guide. Application Report SLLA272D. Dallas: Texas Instruments, 2021. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/an/slla272d/slla272d.pdf>. Acesso em: 08 set. 2025.

WAKERLY, J. F. Digital Design: Principles and Practices. 4th ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2005.