

Google Colaboratory como ferramenta no ensino de controladores PID: um relato de experiência no curso de engenharia de energia

José Wilen Gomes Oliveira¹, Marcus Vinicius Araújo Fernandes¹

¹Diretoria de Indústria – Campus Natal-Central – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN)
– 59015-000 – Natal – RN – Brasil

wilen.j@escolar.ifrn.edu.br, marcus.fernandes@ifrn.edu.br

Abstract. *This report describes the use of Google Colaboratory as a didactic tool for teaching PID controllers in an Energy Engineering program. The experience was carried out by a seventh-semester student as part of the Integrative Project, through the development of an interactive Python notebook. The activity integrated content from control systems, programming, and computational mathematics, promoting active and interdisciplinary learning. The material included simulations, graphical visualizations, and the use of artificial intelligence as learning support. The results indicate conceptual and technical progress and highlight Colab's potential as an accessible and effective tool for engineering education.*

Resumo. *Este relato descreve o uso do Google Colaboratory como ferramenta didática no ensino de controladores PID no curso de Engenharia de Energia. A experiência foi conduzida por um estudante do sétimo período, no contexto do Projeto Integrador, com a criação de um notebook interativo em Python. A proposta integrou conteúdos de sistemas de controle, programação e matemática computacional, promovendo uma aprendizagem ativa e interdisciplinar. O material incluiu simulações, visualizações gráficas e uso de inteligência artificial como apoio. Os resultados apontam avanços conceituais e técnicos e destacam o potencial do Colab como ferramenta acessível e eficaz para o ensino de engenharia.*

1. Introdução

O ensino de sistemas de controle em cursos de engenharia é tradicionalmente marcado por desafios relacionados à complexidade matemática e à abstração dos conceitos. Embora a apresentação teórica e a resolução de problemas em papel ainda sejam práticas comuns em sala de aula, o uso de ferramentas computacionais e ambientes interativos já está consolidado, há décadas, como estratégia pedagógica. Desde os anos 1990, iniciativas como a de Fujiwara e Tsuboi (1992) demonstram que simulações digitais oferecem apoio relevante à compreensão de conceitos como os controladores Proporcional-Integral-Derivativo (PID). Atualmente, os principais livros adotados como bibliografia básica no ensino de controle, como Nise (2023) e Dorf e Bishop (2024), apresentam exemplos, exercícios e aplicações que envolvem a simulação de sistemas dinâmicos, frequentemente sugerindo o uso de ferramentas como MATLAB (*Matrix Laboratory*) e SciLab (*Scientific Laboratory*).

Diversas ferramentas computacionais vêm sendo amplamente utilizadas no ensino de sistemas de controle, com destaque para ambientes clássicos como MATLAB e SciLab, que permitem a modelagem e simulação de sistemas dinâmicos por meio de interfaces gráficas intuitivas. Embora esses ambientes favoreçam a visualização e a experimentação de conceitos como estabilidade, resposta temporal e sintonia de controladores PID, sua adoção pode ser limitada pela necessidade de instalação local e configurações específicas. Em resposta a essas limitações, têm ganhado espaço plataformas mais acessíveis e colaborativas, como o Google Colaboratory (ou simplesmente Colab), que permite a execução de código na nuvem e integração com bibliotecas em Python. Além do Colab, outras soluções como Jupyter *Notebooks* locais, Anaconda, JupyterHub e até IDEs (*Integrated Development Environment* – Ambiente de Desenvolvimento Integrado) online como Replit e Deepnote vêm sendo exploradas como alternativas eficazes para práticas educacionais em engenharia, proporcionando interatividade, compartilhamento facilitado e menor dependência de infraestrutura computacional local.

Nesse contexto, o uso do Google Colaboratory não se configura como uma inovação disruptiva, mas como uma continuidade e atualização dessas abordagens, incorporando acessibilidade, flexibilidade e integração com linguagens computacionais modernas ao processo de ensino-aprendizagem. O Colab não atua apenas como um simulador, mas como um ambiente de mediação didática que favorece a autoria, a interatividade e o compartilhamento entre pares. Tal como discutido por Rincon e outros (2023), o Colab permite que os estudantes se envolvam ativamente na construção do conhecimento científico, desenvolvendo códigos, documentando conceitos e trocando experiências com colegas e docentes em tempo real. Assim, ao incorporar o Colab no ensino de controle, promove-se não apenas a visualização dos fenômenos dinâmicos, mas também uma cultura de aprendizagem colaborativa, alinhada às práticas contemporâneas da ciência e da engenharia.

O presente relato descreve uma experiência pedagógica desenvolvida no curso de Engenharia de Energia, utilizando o Colab como plataforma para promover uma aprendizagem ativa e interdisciplinar. A proposta envolveu a criação de um ambiente interativo em Python, no qual o estudante pode explorar, simular e analisar diferentes configurações de controladores PID, integrando conhecimentos adquiridos em diversas disciplinas ao longo do curso.

2. Referencial teórico

As metodologias ativas de ensino-aprendizagem representam um paradigma educacional que busca superar a passividade do modelo tradicional e promover maior protagonismo dos estudantes no processo formativo. Entre essas abordagens, destacam-se a Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL – *Problem-Based Learning*) e a aprendizagem entre pares (*peer instruction*), que incentivam a resolução colaborativa de desafios, o debate crítico e a autonomia intelectual. Essas estratégias valorizam o estudante como agente ativo na construção do conhecimento, desenvolvendo competências analíticas e práticas por meio da participação em atividades que envolvem investigação, experimentação e tomada de decisão [Marques et al., 2021].

A integração de Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) no ensino superior tem se consolidado como uma estratégia eficaz para promover ambientes de

aprendizagem mais interativos, colaborativos e centrados no estudante [Moran, 2015]. No campo da engenharia, especialmente em disciplinas de alta abstração como controle de sistemas, o uso de simulações computacionais oferece suporte relevante à aprendizagem ativa, permitindo testar hipóteses, visualizar respostas dinâmicas e explorar diferentes cenários de forma interativa.

Entre as ferramentas computacionais mais utilizadas no ensino de sistemas de controle, destacam-se o MATLAB e o SciLab, amplamente empregados na formação em engenharia. O MATLAB, por ser uma ferramenta comercial consolidada, oferece o Simulink como ambiente gráfico para modelagem, simulação e análise de sistemas dinâmicos, permitindo aos estudantes manipular blocos funcionais e construir representações visuais de sistemas de controle. O SciLab, como alternativa gratuita e de código aberto, disponibiliza o Scicos, um ambiente semelhante voltado à simulação de sistemas híbridos. Essas ferramentas favorecem a visualização e experimentação de conceitos como estabilidade, resposta temporal e sintonia de controladores PID, sendo tradicionalmente adotadas por sua capacidade de integrar teoria e prática. No entanto, ambas exigem instalação local e configurações específicas, o que pode limitar sua acessibilidade em contextos educacionais mais dinâmicos ou com menor infraestrutura.

Nesse cenário, ferramentas baseadas na nuvem vêm se consolidando como alternativas viáveis, flexíveis e colaborativas. O Google Colaboratory (ou simplesmente Colab) é uma dessas ferramentas, permitindo a criação e execução de *notebooks* interativos em Python diretamente no navegador, com suporte a bibliotecas científicas, visualizações gráficas e execução de código em tempo real. Integrado ao Google Drive, o Colab também possibilita o compartilhamento e a edição simultânea de documentos, favorecendo práticas de aprendizagem ativa e colaborativa. Seu uso tem se ampliado no ensino de engenharia, especialmente por permitir a experimentação computacional, o raciocínio lógico e a integração entre conteúdos teóricos e práticos. Como limitação em relação às ferramentas tradicionais, destaca-se a ausência de um ambiente de simulação visual específico para sistemas de controle, como o Simulink e o Scicos, nos quais o estudante pode modificar estruturas de sistemas de forma simplificada e gráfica.

A combinação de metodologias ativas com o uso de tecnologias educacionais, como o Colab e ambientes de simulação em Python, contribui para a construção de experiências de aprendizagem mais significativas, contextualizadas e alinhadas às demandas da formação contemporânea em engenharia [Rincón et al., 2023].

3. Metodologia

A experiência relatada neste trabalho integrou a modalidade obrigatória de prática profissional do curso de Engenharia de Energia, denominada Projeto Integrador, com carga horária de 30 horas, desenvolvida no 7º período. Essa atividade pode ser realizada em grupo ou individualmente, sob orientação de um professor do curso, sendo sua temática definida em conjunto com os discentes. O Projeto Integrador tem como objetivo promover a interdisciplinaridade, a contextualização dos saberes e a inter-relação entre teoria e prática [IFRN, 2015]. Neste caso, as disciplinas integradas foram: Sistemas de Controle, Modelagem de Sistemas Lineares, Matemática Computacional e Linguagem de Programação.

A proposta desenvolvida foi inserida no escopo de um projeto mais amplo, intitulado “Plataforma de ensino para operação e testes experimentais de geradores eólicos”, no

qual o estudante elaborou um anteprojeto de controlador PID destinado ao acionamento de um motor de indução, utilizado para emular o comportamento do conjunto turbina-vento. Essa aplicação prática orientou demandas específicas do desenvolvimento, como a necessidade de implementar filtro derivativo, saturação de sinais e integração de ordem superior a um [Dorf e Bishop, 2024; Nise, 2023]. Para além da fundamentação técnica, uma premissa importante foi garantir que o produto final — um *notebook* interativo desenvolvido no ambiente Colab — tivesse um caráter didático, permitindo que outros estudantes do curso de Engenharia de Energia pudessem consultá-lo e utilizá-lo como material de apoio nas disciplinas relacionadas a sistemas de controle.

A avaliação da experiência ocorreu de forma contínua ao longo do semestre letivo 2024.1 e considerou aspectos como a construção técnica do *notebook*, a qualidade das simulações realizadas, a clareza conceitual nas explicações e a elaboração de uma análise reflexiva final por parte do estudante, abordando o processo de aprendizagem vivenciado. O desenvolvimento da atividade foi acompanhado por encontros periódicos entre estudante e professor orientador, com momentos dedicados à discussão e aprofundamento conceitual sobre a linguagem de programação utilizada e os fundamentos teóricos dos sistemas de controle.

4. Desenvolvimento da Experiência

O *notebook* desenvolvido no ambiente Colab foi estruturado como um recurso didático e interativo voltado à aprendizagem de controladores PID. O material foi organizado em seções teóricas e práticas, com complexidade crescente, utilizando diferentes tipos de sistemas e recursos gráficos para demonstrar os efeitos de cada componente do controlador — tanto de forma isolada quanto combinada — além de suas modificações frequentemente adotadas em implementações práticas. Inicialmente, o conteúdo apresenta os fundamentos conceituais do controle PID e sua influência sobre a estabilidade e o desempenho de sistemas dinâmicos. Em seguida, são definidos os parâmetros e funções em Python, com uso de bibliotecas como “graphviz”, “matplotlib”, “numpy”, “scipy” e “control”, essenciais para a simulação e análise do comportamento temporal dos sistemas.

O produto digital orienta o leitor na simulação de sistemas em malha aberta e malha fechada, explorando características de desempenho como tempo de acomodação, sobressinal, valor final e estabilidade. As simulações visuais demonstram o impacto da variação dos ganhos do controlador, auxiliando na compreensão do processo de sintonia. Para facilitar a exploração prática, foi desenvolvida uma interface gráfica simples (Figura 1), que permite a alteração interativa dos parâmetros do controlador, contribuindo significativamente para a compreensão do funcionamento do PID e o desenvolvimento da intuição dos estudantes quanto ao ajuste dos parâmetros.

Os trechos de código são acompanhados por comentários explicativos, promovendo o entendimento tanto da lógica computacional quanto dos princípios de controle (Figura 2). Além disso, os códigos foram organizados de forma modular, ou seja, compostos por funções reutilizáveis, como: modelagem da planta, implementação do controlador (com diversas opções de funcionamento e adaptações), cálculo dos parâmetros de desempenho a partir das respostas temporais, exibição de resultados gráficos, adição de ruído, integração numérica pelo método de Runge-Kutta de quarta ordem, além da

geração de sinais de entrada como degrau, rampa e parábola, todos com ajustes de ganho e atraso.

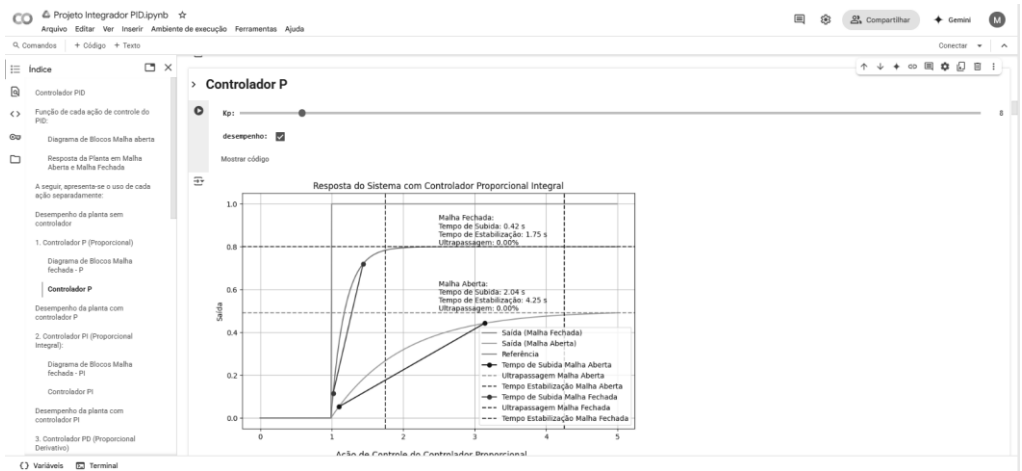


Figura 1. Tela do *notebook* mostrando o gráfico correspondente ao controlador proporcional.

Projeto Integrador PID.ipynb

Arquivo Editar Ver Inserir Ambiente de execução Ferramentas Ajuda

Comandos + Código + Texto Executar tudo

Compartilhar Gemini

Controlador PD

```
# @title ***Controlador PD** {"run": "auto"}

# Parâmetros do sistema
Kp = 10 # @param {"type": "slider", "min": 0, "max": 100, "step": 1}
tau_d = 0.05 # @param {"type": "slider", "min": 0, "max": 5, "step": 0.01}
Desempenho = True # @param {"type": "boolean"}
k = 0.5 # Ganho da planta
dt = 0.01 # Passo de integração do tempo (em segundos)
t_final = 5 # Tempo final da simulação (em segundos)
k_deg = 1 # Amplitude do sinal degrau
t_deg = 1 # Tempo de início do sinal degrau (em segundos)

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

def planta(u, tau, dt, y, i):
    """
    Planta de primeira ordem discretizada.

    Args:
        u: Sinal de entrada da planta (u[i]).
        tau: Constante de tempo da planta.
    """
```

Kp: 10

tau_d: 0.05

Desempenho: ☒

Variáveis Terminal

Figura 2. Tela do *notebook* mostrando trecho do código do controlador proporcional-derivativo.

Na Figura 1 é apresentada uma tela do *notebook* referente ao comportamento do controlador Proporcional (P). Nessa interface, é possível observar que as características de desempenho são exibidas diretamente no gráfico, com a opção de ativar ou ocultar

marcadores que indicam os parâmetros de desempenho. Além disso, o valor do ganho proporcional (K_p) pode ser ajustado dinamicamente por meio de controles na própria interface, e os efeitos dessa modificação são imediatamente refletidos na visualização gráfica.

Na Figura 2, é apresentado um trecho do *notebook* contendo o controlador Proporcional-Derivativo (PD), no qual são demonstradas a declaração de variáveis, a importação das bibliotecas necessárias para execução deste trecho e, parcialmente, a função construída para a simulação de uma planta de primeira ordem. O ajuste do controlador é realizado por meio das variáveis de ganho proporcional e da constante de tempo derivativa (τ_d ou τ_d) [Dorf e Bishop, 2024; Nise, 2023].

Na Figura 3 é exibido o diagrama de blocos do controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID), gerado por meio da biblioteca “graphviz”. Todas as figuras utilizadas no *notebook* são capturas de gráficos e diagramas produzidos diretamente a partir de vetores ou comandos em código, o que torna o material leve, autocontido e funcional em diferentes ambientes de execução.

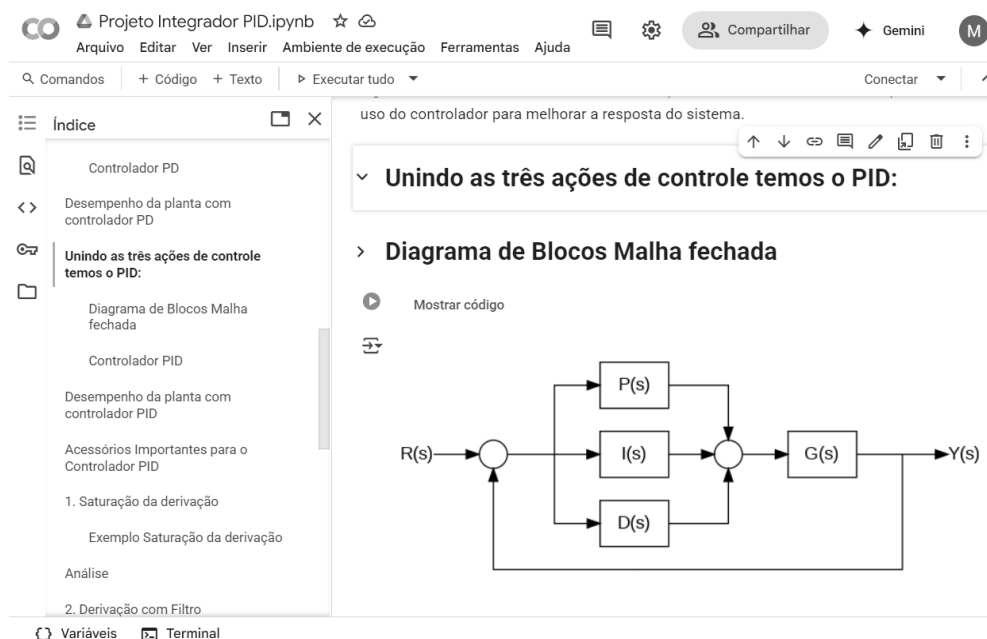


Figura 3. Tela do *notebook* mostrando o diagrama de blocos, produzido por meio da biblioteca “graphviz”, do controlador PID utilizado no projeto.

Durante o desenvolvimento do projeto, alguns desafios foram enfrentados. O principal deles foi a inexperiência prévia com a linguagem de programação Python, uma vez que o estudante havia tido contato apenas com o ambiente Scicos do SciLab nas disciplinas regulares, sem familiaridade com simulações baseadas em *scripts*. No entanto, o uso do Python via Colab mostrou-se acessível, especialmente com o apoio de ferramentas de inteligência artificial como ChatGPT e Google Gemini, que auxiliaram na depuração de

erros, na adaptação de algoritmos e na otimização do desempenho dos sistemas simulados.

Outro desafio relevante foi o desconhecimento inicial sobre adaptações necessárias para implementação prática do controlador PID, como o uso de filtro derivativo, saturação de sinais e integração de ordem superior a um. O enfrentamento dessas dificuldades fez parte do processo de aprendizagem e contribuiu diretamente para o amadurecimento técnico do estudante. Ao final do *notebook*, o estudante elaborou uma reflexão escrita destacando os avanços na compreensão dos conceitos de controle, o desenvolvimento de habilidades em programação e o valor da interdisciplinaridade. A atividade também gerou um desdobramento colaborativo: o *notebook* passou a ser utilizado por outros estudantes do curso como referência prática, motivando interações em que o autor auxiliou colegas com dúvidas relacionadas a bibliotecas, códigos e fundamentos teóricos – promovendo aprendizagem entre pares.

Essa experiência demonstrou o potencial do Colab como ferramenta integradora para o ensino de engenharia, especialmente em atividades que envolvem simulação computacional, visualização de dados e aprendizado ativo. A construção do *notebook* permitiu o desenvolvimento de competências técnicas, raciocínio lógico e autonomia na aprendizagem, com impacto positivo na formação do estudante.

6. Considerações finais

A experiência relatada neste artigo demonstra como o uso do Colab pode enriquecer o ensino de sistemas de controle ao promover a integração entre teoria, prática e tecnologia. No contexto do Projeto Integrador, a atividade permitiu que o estudante aplicasse conhecimentos de diferentes disciplinas por meio de uma abordagem ativa, interdisciplinar e orientada à resolução de problemas, alinhada aos princípios da Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL). A definição de um desafio realista — o desenvolvimento de um controlador PID aplicável a sistemas industriais — impulsionou a investigação, a experimentação e a tomada de decisões técnicas fundamentadas.

Além disso, a circulação do *notebook* entre colegas e o apoio prestado pelo autor a outros estudantes caracterizam práticas próximas à aprendizagem entre pares (*peer instruction*), reforçando o papel colaborativo do conhecimento no ambiente acadêmico. Mesmo em uma atividade inicialmente individual, a troca de experiências, dúvidas e soluções criou oportunidades significativas de aprendizagem mútua, fortalecendo o protagonismo estudantil e a construção coletiva do saber.

A metodologia adotada favoreceu o desenvolvimento de competências técnicas e metacognitivas, estimulando a autonomia, o raciocínio crítico e a capacidade de adaptação a diferentes ferramentas computacionais. O uso do Colab, por sua acessibilidade, flexibilidade e integração com bibliotecas modernas, mostrou-se uma alternativa eficaz às ferramentas tradicionais, especialmente em contextos que demandam ambientes de programação modernos, colaborativos e com menor exigência de infraestrutura.

Embora tenha envolvido apenas um participante, a proposta revelou potencial de ampliação para turmas maiores e para outras disciplinas. A atividade também reforçou a importância de se criarem espaços educacionais que valorizem a experimentação, o erro construtivo e a investigação orientada — elementos essenciais para uma formação crítica, criativa e tecnicamente robusta em engenharia.

Como desdobramento, recomenda-se a institucionalização de práticas semelhantes em outros Projetos Integradores e componentes curriculares do curso, bem como a sistematização de experiências que explorem o uso de ferramentas computacionais abertas no ensino superior. Isso contribuirá para a construção de uma cultura educacional mais inovadora, colaborativa e alinhada aos desafios contemporâneos da formação em engenharia.

Referencias

- IFRN (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte). Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Energia. Natal, 2015. Disponível em: <https://tinyurl.com/ywpdhepd>. Acesso em: 30 abr. 2025.
- Rincon, P. I. D.; Pacheco, O. A. B.; Alvarado, J. L. Z. The Photoelectric Effect: An Example of the Mediation of Teaching Learning Processes with Google Collaboratory. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, v. 18, n. Extra 2, p. 387-403, 2023.
- Dorf, R. C.; Bishop, R. H. *Sistemas de Controle Modernos*. 14. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2024.
- Fujiwara, R.; Tsuboi, Y. Computer-Aided Education in Automatic Control Engineering. In: *FRONTIERS IN EDUCATION CONFERENCE*, 1992, IEEE, 1992.
- Marques, H. M.; Campos, A. C.; Andrade, D. M.; Zambalde, A. L. Inovação no ensino: uma revisão sistemática das metodologias ativas de ensino-aprendizagem. *Avaliação (Campinas)*, Campinas, v. 26, n. 3, p. 718-741, set./dez. DOI: 10.1590/S1414-40772021000300005. 2021.
- Moran, J. M. *A educação que desejamos: novos desafios e como chegar lá*. Papirus, 2015.
- Nise, N. S. *Engenharia de Sistemas de Controle*. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2023.