

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CAMPUS TIMÓTEO**

Bruna Lívia Oliveira Silva

**SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA PROJETO CONTROLADOR
PROPORCIONAL INTEGRAL E DERIVATIVO (PID) DE CONTROLE
DE SISTEMAS DINÂMICOS COM ARDUINO**

Timóteo

2023

Bruna Livia Oliveira Silva

**SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA PROJETO CONTROLADOR
PROPORCIONAL INTEGRAL E DERIVATIVO (PID) DE CONTROLE
DE SISTEMAS DINÂMICOS COM ARDUINO**

Monografia apresentada à Coordenação de Engenharia de Computação do Campus Timóteo do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Computação.

Orientador: Viviane Cota

Timóteo

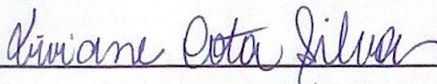
2023

Bruna Livia Oliveira Silva

**SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA PROJETO CONTROLADOR
PROPORCIONAL INTEGRAL E DERIVATIVO (PID) DE CONTROLE
DE SISTEMAS DINÂMICOS COM ARDUINO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Computação do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, campus Timóteo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Computação.

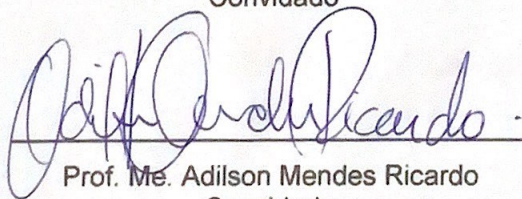
Trabalho aprovado. Timóteo, 7 de junho de 2023:



Prof.ª Dr.ª. Viviane Cota Silva
Orientadora



Prof. Me. Odilon Correa da Silva
Convidado



Prof. Me. Adilson Mendes Ricardo
Convidado

Timóteo
2023

Dedico este trabalho a Deus,
meus pais e a todos que me ajudaram ao longo desta caminhada.

Agradecimentos

Agradeço primeiro a Deus por ter me mostrado o caminho certo durante todo o curso até este projeto de pesquisa e me mantido com saúde e forças para chegar até ao final.

Sou grato à minha família pelo apoio que sempre me deram durante toda a minha vida. Em especial ao meu Pai Graciano que me incentivou a iniciar o curso e à minha mãe Miriã que me deu todo suporte durante os anos de estudo e dedicação. E às minhas irmãs Lara e Vitória.

Deixo um agradecimento especial à minha orientadora Professora Doutora Viviane Cota pelo incentivo e pela dedicação do seu escasso tempo ao meu projeto de pesquisa.

Também quero agradecer ao Centro Federal Tecnológico de Minas Gerais - CEFET-MG e a todos os professores do meu curso pela alta qualidade do ensino oferecido.

*“Os grandes navegadores
devem sua reputação aos temporais e tempestades”.*
Epicuro

Resumo

Neste trabalho de conclusão de curso foi desenvolvida uma sequência didática de aula laboratorial com o objetivo de auxiliar o ensino do projeto Controlador PID (Proporcional Integral Derivativo) para a disciplina de Controle de Sistemas Dinâmicos do CEFET-MG Campus Timóteo com o auxílio do microcontrolador Arduino para controle de luminosidade. Para a realização desta pesquisa, foi introduzida uma revisão de literatura de trabalhos acadêmicos que discorrem sobre o assunto referido. Também, foi estruturado um aprofundamento teórico sobre o conceito de sequência didática, controle de sistemas dinâmicos e a biblioteca Arduino utilizada. A sequência didática foi baseada em divisão de aulas teóricas de controle, apresentação do Arduino e implementação e análise do projeto. Ela permitirá que sejam utilizados dados para análise e implementação prática de um controlador PID em laboratório. Para visualização dos dados foi utilizada a biblioteca do Arduino PIDLibrary com Plotter Serial do microcontrolador.

Palavras-chave: sequência didática, controle, microcontrolador Arduino, aulas teóricas, aulas práticas.

Abstract

In this undergraduate thesis, a didactic sequence of laboratory classes was developed with the aim of assisting the teaching of the PID Controller (Proportional Integral Derivative) project for the Dynamic Systems Control discipline at CEFET-MG Campus Timóteo, using the Arduino microcontroller for brightness control . To carry out this research, a literature review of academic papers addressing the subject was conducted. Furthermore, a theoretical deepening was structured on the concept of didactic sequence, dynamic systems control, and the Arduino library used. The didactic sequence was based on the division of theoretical control classes, Arduino presentation, project implementation, and analysis. It will allow the use of real data for analysis and practical implementation of a PID controller in the laboratory. The Arduino PIDLibrary and Serial Plotter were used for data visualization.

Keywords: didactic sequence, control, Arduino microcontroller, theoretical classes, practical classes.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Descrição simplificada de um sistema de controle.	16
Figura 2 – Representação de um sistema ou processo a ser controlado.	17
Figura 3 – Representação de um sistema em malha aberta.	18
Figura 4 – Representação de um sistema de troca de calor em malha aberta.	19
Figura 5 – Representação de um sistema em malha fechada.	19
Figura 6 – Representação de um sistema de troca de calor em malha fechada.	20
Figura 7 – Gráfico da função impulso.	21
Figura 8 – Gráfico da função degrau.	21
Figura 9 – Gráfico da função rampa.	21
Figura 10 – Gráfico da função parábola.	22
Figura 11 – Gráfico da função senoide.	22
Figura 12 – Diagrama de blocos do controlador PID.	26
Figura 13 – Placa de Arduino UNO.	27
Figura 14 – Interface de desenvolvimento do Arduino UNO.	27
Figura 15 – Código <i>basic</i> da biblioteca <i>PID Library</i>	28
Figura 16 – Estrutura de base de uma Sequência Didática.	30
Figura 17 – Decomposição do problema de pesquisa sobre Pensamento Computacional com Arduino.	33
Figura 18 – Abstração da sequência didática.	34
Figura 19 – Decomposição do problema de pesquisa	38
Figura 20 – Ilustração do circuito de controle de luminosidade.	41
Figura 21 – Esquema do circuito de controle de luminosidade.	41
Figura 22 – <i>Plotter Serial</i>	42
Figura 23 – Gráfico de controle.	43
Figura 24 – Gráfico de controle com <i>setpoint</i> baixo.	44
Figura 25 – Gráfico de controle com distúrbio.	44

Lista de tabelas

Tabela 1 – Cronograma de aulas da Sequência Didática	37
Tabela 2 – Ferramentas sugeridas para atividades híbridas.	37
Tabela 3 – Descrição da Sequência Didática.	39

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
1.0.1	Apresentação	12
1.0.2	Proposta	12
1.1	Objetivos	13
1.2	Justificativa	14
1.3	Estrutura da monografia	14
2	FUNDAMENTOS HISTÓRICOS, TEÓRICOS E METODOLÓGICOS	16
2.1	Conceitos iniciais	16
2.1.1	Sistemas de controle	16
2.1.2	Plantas	17
2.1.3	Processos	17
2.1.4	Distúrbios	17
2.1.5	<i>Set Point</i> (SP)	18
2.1.6	Controle em malha aberta	18
2.1.7	Controle em malha fechada	19
2.1.8	Tipos de entrada	20
2.2	Função de Transferência	22
2.3	Estabilidade	24
2.4	Sistemas PID	24
2.4.1	Controlador Proporcional (P)	24
2.4.2	Controlador Integral (I)	25
2.4.3	Controlador Proporcional Integral (PI)	25
2.4.4	Controlador Proporcional Derivativo (PD)	25
2.4.5	Controlador Proporcional Integral Derivativo (PID)	26
2.5	Ferramentas	26
2.5.1	Arduíno	26
2.5.2	<i>PID Library</i>	28
2.5.3	Sequência Didática	29
2.6	Trabalhos correlatos	30
2.6.1	Sistema Didático para aplicação de técnicas de controle	30
2.6.2	Introdução à Identificação de Sistemas utilizando o System Identification Toolbox do MATLAB em conjunto com o Arduino para o Laboratório de Controle Linear	31
2.6.3	Sistema Didático de controle de nível em tanques acoplados	32
2.6.4	Desenvolvimento do pensamento computacional nas aulas de Matemática: uma pesquisa bibliográfica para elaboração de uma sequência didática utilizando como ferramenta o Arduíno	32

3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	35
3.1	Planejamento da Sequência Didática	36
3.2	Descrição da Sequência Didática	38
3.3	Implementação do Projeto PID	39
4	RESULTADOS OBTIDOS	42
4.1	Resultados	42
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
5.1	Conclusão	45
5.2	Trabalhos futuros	46
6	REFERÊNCIAS	47
	 APÊNDICES	 50
	APÊNDICE A – SEQUÊNCIA DIDÁTICA	51
	APÊNDICE B – SLIDES AULA 1 - CONTROLE PID	61
	APÊNDICE C – SLIDES AULA 2 - INTRODUÇÃO AO MICROCONTROLA- DOR ARDUÍNO	71
	APÊNDICE D – CIRCUITO ELETRÔNICO E ALGORITMO DE CONTROLE PID PARA CONTROLE DE LUMINOSIDADE	79

1 Introdução

*“A resposta certa, não importa nada:
o essencial é que as perguntas estejam certas”.*
Mário Quintana

1.0.1 Apresentação

Desde os tempos antigos é fato que os seres humanos procuram representar matematicamente sistemas do cotidiano. Estes possuem o intuito de entender melhor o mundo real e, assim, resolverem de forma facilitada os problemas que surgem a partir deles (AGUIRRE, 2007). Esta representação é feita por meio de modelos matemáticos. Tais modelos possuem várias finalidades, entre elas, monitorar e controlar sistemas reais.

Atualmente, indústrias, fábricas, aviões, navegações, naves espaciais e mísseis buscam maior nível de padronização de suas técnicas e um alto volume de produção. Os sistemas de controle são determinantes para esses tipos de processos. Para naves espaciais, por exemplo, inúmeros sistemas de controle compõem suas centrais de comando. Além disso, são utilizados computadores com dados em tempo real e base de tempo compartilhada. Esses dados são imprescindíveis para manter a vida humana no interior dessas naves em órbita (NISE, p.5, 2011).

Na engenharia existem disciplinas que identificam, analisam e modelam esses sistemas do mundo real partindo de dados de entrada e obtendo as saídas. Não somente na engenharia, mas diversas áreas de conhecimento utilizam sensores para a coleta de dados com o objetivo de identificar os sistemas dinâmicos, sendo eles: medidores de temperatura, pressão, nível, leitores de tensão, corrente e outras grandezas físicas. Esses dados captados podem ser analógicos ou digitais, utilizando interfaces simples ou mesmo um computador para processá-los. Com esses dados é possível identificar qual tipo de controle está sendo utilizado e prever possíveis problemas. A proposta desse trabalho é a realização de uma sequência didática para a disciplina de controle. Para a elaboração desse material será utilizado o microcontrolador Arduino Uno com a função de captar dados de entrada e o software MATLAB para o processamento e controle desses dados por meio de cálculos matemáticos e gráficos.

1.0.2 Proposta

Um sistema de controle pode ser entendido como um composto de vários mecanismos que utilizam de comandos comportamentais para controlar outros mecanismos. Por causa desse conceito aberto e amplo de sistemas de controle, torna-se imprescindível a criação de novas tecnologias e aplicações que contribuam com o desenvolvimento dessa área tão importante. Neste trabalho foram desenvolvidas práticas de controle com o auxílio do controlador Arduino para realizar a captação dos dados de entrada de um projeto controlador Proporcional Integral e Derivativo com a análise do comportamento dinâmico do mesmo.

Através de uma sequência didática é possível obter demonstrações de técnicas de controle que serão utilizadas em simulações por parte dos alunos da disciplina. Com isso, terão um maior contato e uma melhor visibilidade do comportamento dos sistemas que estão sendo analisados. A sequência didática é uma ferramenta que auxilia no entendimento e compreensão dos estudantes, com o objetivo de agregar conhecimento. De acordo com Araújo (2013) uma sequência didática é uma maneira de o professor organizar as atividades de ensino em função de núcleos temáticos e procedimentais. Ainda segundo Araújo (2013), a estrutura de base de uma sequência contém uma seção de abertura com a apresentação da situação de estudo na qual é descrita de maneira detalhada a tarefa de exposição oral ou escrita que os alunos deverão realizar.

Um objeto de aprendizagem pode ser definido como qualquer conteúdo digital ou não digital que possa ser reutilizado para a aprendizagem (BRAGA, 2014). Uma sequência didática pode ser considerada um objeto de aprendizagem composto por uma sequência de aulas laboratoriais contendo um microcontrolador Arduino UNO e um computador que executa o software MATLAB, além do conteúdo teórico e os ambientes virtuais de aprendizagem.

A proposta deste trabalho foi baseada em alguns trabalhos de conclusão de curso e estudos como a experiência de Al-Busaidi (2012). Ele desenvolveu um material didático de baixo custo com o objetivo de controlar um robô bípede com Arduino e o software MATLAB. O software foi utilizado para realizar o controle dos dados e visualizar o processo feito. O Arduino foi utilizado para o controle dos servos atuadores instalados no “pé” do robô. Além desse trabalho, Borges (2016) desenvolveu um sistema didático para a aplicação de técnicas de controle com a modelagem de um circuito elétrico, comunicação com o Arduino e o software MATLAB, confecção de uma placa de circuito impresso e interface gráfica.

Neste contexto, surge a pergunta de pesquisa deste trabalho: Como elaborar uma sequência didática para ser utilizada nas aulas da disciplina de Controle de Sistemas Dinâmicos do curso de Engenharia de Computação do CEFET-MG campus Timóteo?

Portanto, pode-se entender que a implementação de uma sequência didática que propõe a interação dos estudantes com objetos de eletrônica nos estudos de Controle de Sistemas Dinâmicos ajuda no entendimento das técnicas utilizadas. Essa ferramenta pode ser eficaz no aprendizado do conteúdo teórico aplicado a circuitos eletrônicos e programação.

1.1 Objetivos

Para responder ao problema proposto, o objetivo geral deste trabalho é sugerir um modelo de sequência didática de aula laboratorial para o auxílio do ensino do projeto Controlador PID (Proporcional Integral Derivativo) com controle de luminosidade para a disciplina de Controle de Sistemas Dinâmicos, ministrada pela Prof^a Viviane Cota nas turmas de Engenharia de Computação do CEFET-MG Campus Timóteo. Para a aquisição de dados de entrada de um sistema de controle será utilizada a plataforma Arduino com programação em linguagem C++.

Também, objetivam-se mais especificamente:

1. Realizar uma revisão de literaturas à procura de trabalhos acadêmicos que discorram sobre a criação de uma sequência didática aplicada em controle de sistemas dinâmicos;
2. Realizar um aprofundamento teórico em literaturas sobre o conceito fundamental de sequência didática, controle de sistemas dinâmicos com Arduino;
3. Utilizar de maneira prática o microcontrolador Arduino para a coleta e análise de dados para demonstração do Controlador PID.
4. Elaborar um material didático de estudo para auxílio na disciplina de Controle de Sistemas Dinâmicos para estudantes de Engenharia de Computação;

1.2 Justificativa

Uma boa formação de profissionais, independentemente da área, é de suma importância para o mercado de trabalho. Os engenheiros possuem diversas áreas de atuação na sociedade e seus feitos afetam diretamente a população. Por isso, é de suma importância que, durante o período de formação, eles absorvam o máximo de informações possíveis para que estejam preparados para atuar de maneira eficaz na profissão.

Dessa forma, a estrutura didática e laboratorial das instituições que formam esses profissionais deve ser suficientemente qualificada para ajudá-lo a desenvolver suas habilidades e ter um contato mais próximo com dados reais e com o mercado de trabalho no qual será inserido futuramente.

É comum que estudantes de engenharia tenham dificuldades para compreender a necessidade de uma base teórica forte para ser utilizada na prática, em ambientes de simulação do mercado ou mesmo o próprio ambiente de trabalho. Por isso, este trabalho visa como motivação auxiliar na compreensão de sistemas de Controle de Sistemas Dinâmicos, com a inserção da ferramenta Arduino, além de aumentar o contato desses estudantes com dados mais próximos à realidade e incentivar no estudo de disciplinas de difícil compreensão.

1.3 Estrutura da monografia

Esta monografia está estruturada em seis capítulos, ordenados pelo momento em que foram concluídos dentro do ciclo de vida desta pesquisa, e anexos, a saber:

- As bases teóricas são apresentadas em seguida, no capítulo 2, o que inclui marcos conceituais iniciais importantes para o contexto de Controle de Sistemas Dinâmicos, além de informações sobre as ferramentas utilizadas para a realização desse trabalho e uma breve dissertação sobre os trabalhos utilizados como fundamentação para o desenvolvimento.
- O capítulo 3 apresenta os procedimentos metodológicos através dos quais este trabalho se desenvolve, o que inclui a formação e estruturação de uma sequência didática e estratégias de implementação do projeto PID para controle de luminosidade.

- O capítulo 4 apresenta os resultados obtidos de acordo com o objetivo da pesquisa e implementação e análise do projeto.
- Finalmente, no capítulo 5 são apresentadas as conclusões e considerações finais, indicadas algumas direções para trabalhos futuros.
- A monografia inclui parte dos seus produtos em apêndices, tendo em vista que sua extensão poderia comprometer a legibilidade do texto e a compreensão do leitor.

2 Fundamentos históricos, teóricos e metodológicos

*“O período de maior ganho em conhecimento e experiência
é o período mais difícil da vida”.*

Dalai Lama

O principal objetivo deste capítulo é apresentar os fundamentos históricos, teóricos e metodológicos sobre os quais esta pesquisa é executada, além de mapear os principais trabalhos encontrados em análise de domínio e organização da informação corporativa. As seções seguintes reúnem os principais e mais importantes trabalhos que versam sobre conceitos iniciais importantes na disciplina de Controle de Sistemas Dinâmicos, ferramenta microcontrolador Arduíno utilizada para compor a sequência didática e a análise comportamental dos sistemas estudados na disciplina. Além disso, será discorrido os trabalhos utilizados como material referencial para o desenvolvimento dessa pesquisa.

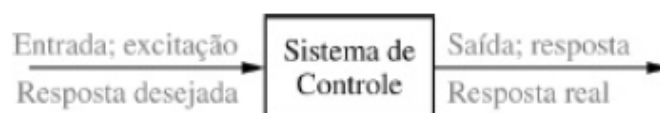
2.1 Conceitos iniciais

2.1.1 Sistemas de controle

Os sistemas de controle fazem parte da sociedade desde os tempos antigos. Eles representam um marco no desenvolvimento da engenharia. O primeiro sistema de controle automático foi um controlador centrífugo desenvolvido por James Watt no século XVIII para controlar a velocidade de uma máquina a vapor (OGATA, p.1, 2010).

"Um sistema de controle consiste em subsistemas e processos (ou plantas) construídos com o objetivo de se obter uma saída desejada com um desempenho desejado, dada uma entrada especificada."(NISE, p.2, 2011).

Figura 1 – Descrição simplificada de um sistema de controle.



Fonte: (NISE, p.2, 2011).

De acordo com a Figura 1, um sistema de controle recebe dados de entrada, também considerado estímulo ou resposta desejada e possui como saída a resposta real (NISE, p.2, 2011).

Segundo Nise (p.2, 2011), a utilização de sistemas de controle permite uma grande vantagem:

Utilizando os sistemas de controle, podemos movimentar grandes equipamentos com uma precisão que, de outra forma, não seria possível. Podemos apontar enormes antenas em direção às maiores distâncias do universo para capturar sinais de rádio de baixa intensidade; o que, manualmente, seria impossível.

Pode-se perceber que a utilização de sistemas de controle automatizados proporciona a realização de diversas tarefas de larga escala que não seria viável sem o auxílio desse recurso importante no utilizado no cotidiano.

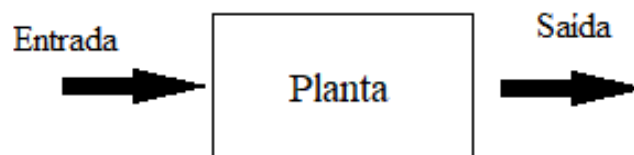
2.1.2 Plantas

Parte de um equipamento ou uma junção de componentes que funcionam de maneira integrada em uma máquina controlada com o objetivo de realizar uma determinada operação é a definição de planta para Ogata (p.1, 2010).

Para Nise (p.9, 2011) uma planta pode ser exemplificada como uma fornalha, chuveiro elétrico ou um simples sistema de ar condicionado.

O esquema de uma planta é representado na Figura 2.

Figura 2 – Representação de um sistema ou processo a ser controlado.



Fonte: Própria baseado em (OGATA, 2010).

2.1.3 Processos

De acordo com Ogata (p.2, 2010) um processo é um desenvolvimento natural que cresce gradativamente e que possui mudanças sucessíveis durante esse crescimento em que cada mudança depende da outra com o objetivo de um resultado final. Uma operação pode ser artificial, causada por um fator físico relevante, ou voluntária resultante de uma ação automática como os processos dentro do organismo humano.

Ainda segundo Ogata (p.2, 2010), qualquer tipo de operação controlada pode ser considerado um processo. Podem ser físicos, químicos, biológicos e econômicos.

2.1.4 Distúrbios

Um distúrbio é um sinal introduzido no processo, também considerado uma perturbação ou interferência que influencia diretamente no resultado final, ou valor de saída do pro-

cesso, e que pode levá-lo à divergência ou instabilidade(OGATA, p.3, 2010).

O distúrbio, ou perturbação, pode ser interno ou externo. Ele é interno quando é formado dentro do sistema e é externo quando é formado fora do sistema e é introduzido ao mesmo por meio da entrada (OGATA, p.3, 2010).

2.1.5 Set Point (SP)

O set point é também considerado como valor de referência ou valor desejado. Ele é estabelecido no início do sistema e torna-se um referencial para que o sistema, por meio do processamento, alcance esse resultado e tende a mantê-lo.

Por meio do valor do *set point* é possível determinar a variável de erro, ou se o desvio foi alto ou baixo de acordo com o referencial.

2.1.6 Controle em malha aberta

Sistemas de controle em malha aberta são sistemas em que o valor de saída não é referenciado, ou seja, não possui efeito para a ação de controle no sistema. Em um sistema em malha fechada, o valor de saída não é medido e não é realimentado para poder haver comparação com o valor de entrada (OGATA, p.6, 2010).

O esquema de um sistema de controle em malha aberta está representado na Figura 3.

Figura 3 – Representação de um sistema em malha aberta.



Fonte: Própria baseado em (OGATA, p.7, 2010).

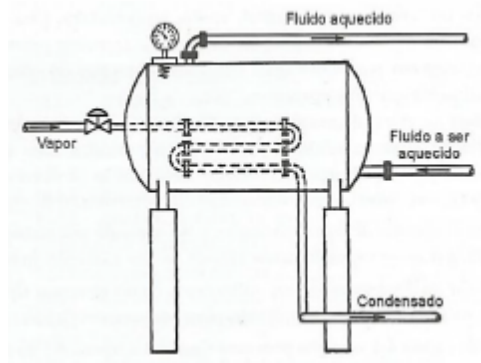
Um exemplo prático de um sistema de malha aberta é a máquina de lavar roupa. Esse tipo de sistema possui várias operações como molhar, lavar, enxaguar e secar. Essas operações são realizadas ordenadamente em um período de tempo, mas quando finaliza os processos a máquina não garante que a roupa sairá limpa como desejado, ou seja, esse sinal de saída não é medido (OGATA, p.6, 2010).

Outro exemplo de sistema não realimentado é o processo de troca de calor. Na figura 4 é possível receber o dado da temperatura do fluido no final do processo. Esse valor de temperatura (que é a variável controlada) não é utilizado como referência para um possível ajuste na entrada dos dados.

O esquema de um sistema de controle em malha fechada está representado na Figura 5.

Em um sistema de malha aberta o sinal de saída não é comparado com o sinal de entrada (*set point*). Dessa forma, cada sinal de entrada confere um resultado de saída diferente e fixa. O controle em malha aberta poderá ser usado somente se não houver distúrbios ou

Figura 4 – Representação de um sistema de troca de calor em malha aberta.



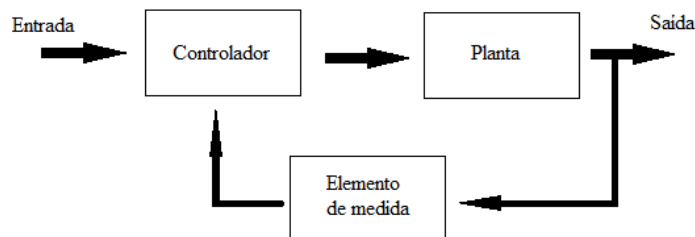
Fonte: BEGA(p.2, 2006).

perturbações, pois se houver, nenhuma ação será tomada para a correção do sinal de saída, segundo (OGATA, p.6, 2010).

2.1.7 Controle em malha fechada

Um sistema de controle em malha fechada é um sistema que o sinal de saída interfere diretamente na ação de controle do sistema. Ou seja, um sistema em malha fechada é um sistema realimentado pelo sinal de erro (OGATA, p.4, 2010). O sinal de erro é calculado pela diferença do valor de referência (*set point*) com o valor real medido na saída do processo. O objetivo é que o valor do erro seja reduzido à medida em que o sistema seja controlado por meio de ações de controle (NISE, p.8, 2011).

Figura 5 – Representação de um sistema em malha fechada.



Fonte: Própria baseado em (OGATA, p.7, 2010).

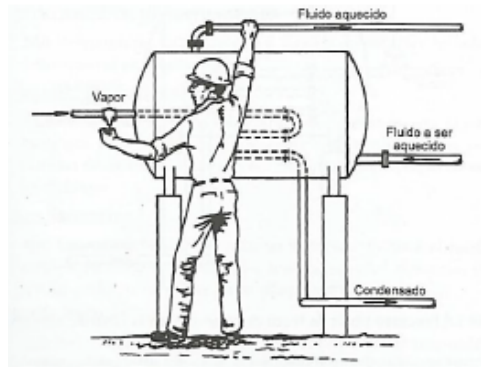
Para Bega (p.3, 2006):

O controle manual em malha fechada pode ser realizado por um operador humano (controle manual) ou mediante a utilização de instrumentação (controle automático).

A figura 6 possui a demonstração de um sistema de controle de temperatura de um fluido com ação de controle externa. O ser humano, considerado como o operador do sistema, irá medir a temperatura (variável controlada) do fluido depois de aquecido pelo sistema. Dessa forma, ele atua alterando a vazão de vapor que entra (considerada a variável manipulada

do sistema). A forma de medição da temperatura é o próprio tato do operador, assim, ele determina a temperatura referência do sistema e vai controlando até que essa temperatura do fluido alcance o valor desejado. Neste caso, o tato do operador é considerado o sensor e o cérebro do mesmo é o controlador.

Figura 6 – Representação de um sistema de troca de calor em malha fechada.



Fonte: BEGA(p.2, 2006).

Dessa forma, pode-se concluir, de acordo com (NISE, p.8, 2011):

Assim, os sistemas de malha fechada possuem a vantagem óbvia de apresentar uma acurácia superior à dos sistemas de malha aberta. Eles são menos sensíveis a ruídos, perturbações e alterações do ambiente.

2.1.8 Tipos de entrada

Os sinais de entrada são determinantes para ocorrer o processamento. Eles são utilizados para investigar o comportamento do sistema. Para o problema ser menos complexo, os sinais de entrada são mais simples como impulso, rampa, degrau, parábolas, senóide, entre outros.

O tipo de entrada impulso é caracterizado por possuir no instante $t = 0$ o valor infinito e 0 para qualquer $t > 0$. A área ante um impulso unitário é igual a 1. Esse tipo de entrada é utilizada quando o sistema precisa de uma energia inicial, como é representado na Figura 7 (NISE, p.17, 2011).

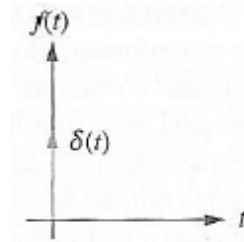
A entrada do tipo função degrau é caracterizada por um sinal constante assim como grandezas físicas do tipo posição, velocidade e aceleração. Na função degrau, representado na Figura 8, o comando de entrada e saída possui a mesma forma. Esse tipo de entrada é comumente usada pois tanto a resposta em regime permanente quanto transitória são observadas de forma mais clara e visíveis, com isso, podem ser avaliadas (NISE, p.17, 2011).

O sinal de entrada do tipo rampa é caracterizado por um comando crescente de forma linear. Ou seja, se o sinal de saída é representado por uma posição então a entrada de uma função em rampa é um sinal linearmente crescente. O erro em regime permanente é detectado mais claramente em um sinal de entrada em rampa (NISE, p.17, 2011).

O comportamento do sinal de entrada do tipo rampa está representado na Figura 9.

Figura 7 – Gráfico da função impulso.

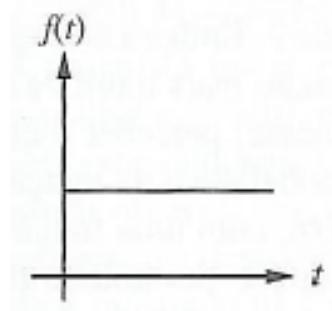
$$\delta(t) = \begin{cases} \infty, & t = 0 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$



Fonte: (NISE, p.16, 2011).

Figura 8 – Gráfico da função degrau.

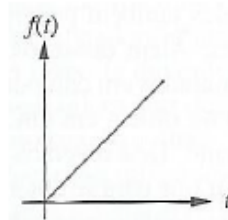
$$u(t) = \begin{cases} 1, & t > 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}$$



Fonte: (NISE, p.16, 2011).

Figura 9 – Gráfico da função rampa.

$$tu(t) = \begin{cases} t, & t \geq 0 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$



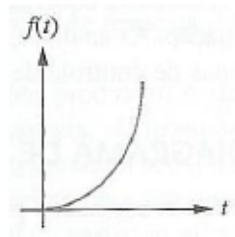
Fonte: (NISE, p.16, 2011).

O sinal de entrada do tipo parábola possui as mesmas propriedades da entrada em rampa, como pode-se ver na Figura 10. Ambas são utilizadas para a análise do erro em regime permanente dos sistemas (NISE, p.17, 2011).

O sinal de entrada do tipo senóide é caracterizado por testar sistemas físicos com o objetivo de obter a função de transferência dos mesmos (NISE, p.17, 2011).

Figura 10 – Gráfico da função parábola.

$$\frac{1}{2}t^2u(t) = \begin{cases} \frac{1}{2}t^2, & t \geq 0 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

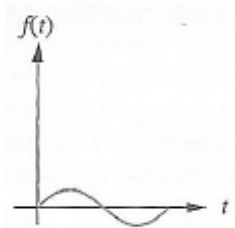


Fonte: (NISE, p.16, 2011).

O comportamento do sinal de entrada do tipo senóide está representado na Figura 11.

Figura 11 – Gráfico da função senoide.

$$u(t) = \begin{cases} \sin \omega t, & t \geq 0 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$



Fonte: (NISE, p.16, 2011).

2.2 Função de Transferência

A função de transferência segundo Ogata (p.12, 2010) relaciona as entradas e saídas dos componentes ou sistemas lineares que não variam de acordo com o tempo.

De acordo com Maya (p.46, 2014):

“Denomina-se função de transferência $G(s)$ de um sistema linear, de parâmetros concentrados, invariantes no tempo e de entrada e saída únicas a relação entre as transformadas de Laplace da variável de saída e da variável de entrada, supondo as condições iniciais nulas.”

Considere a equação abaixo um sistema linear invariável no tempo com condições iniciais nulas e apenas uma entrada e saída:

$$q_n y(t)^n + q_{n-1} y(t)^{(n-1)} + \dots + q_2 y''(t) + q_1 y'(t) + q_0 y(t) = p_m u(t)^m + p_{m-1} u(t)^{m-1} + \dots + p_1 u'(t) + p_0 u(t) \quad (2.1)$$

Sendo $y(t)$ a entrada e $u(t)$ a saída, temos:

$$y(t)^n = \frac{d^n}{dt^n} y(t), y(t)^{n-1} = \frac{d^{(n-1)}}{dt^{(n-1)}} y(t), \dots, y'(t) = \frac{d}{dt} y(t) \quad (2.2)$$

$$u(t)^n = \frac{d^n}{dt^n} u(t), u(t)^{m-1} = \frac{d^{(m-1)}}{dt^{(m-1)}} u(t), \dots, u'(t) = \frac{d}{dt} u(t) \quad (2.3)$$

Os coeficientes q e p são considerados constantes que variam, respectivamente entre n e m , com $n > m$. O valor que n possui representa o grau da equação, ou seja, a ordem em que o sistema se apresenta. Assim, se aplicar a transformada de Laplace na equação 2.1, considerando as condições iniciais nulas, obtém-se a seguinte equação:

$$(q_n s^n + q_{n-1} s^{(n-1)} + \dots + q_2 s^2 + q_1 s + q_0) Y(s) = (p_m s^m + p_{(m-1)} s^{(m-1)} + \dots + p_2 s^2 + p_1 s + p_0) U(s) \quad (2.4)$$

Aplicando a transformada de Laplace nas equações 2.2 e 2.3, de forma análoga à equação 2.4, obtém-se:

$$Y(s) = L[y(t)], sY(s) = L[y'(t)], s^2 Y(s) = L[y''(t)], \dots \quad (2.5)$$

$$U(s) = L[u(t)], sU(s) = L[u'(t)], s^2 U(s) = L[u''(t)], \dots \quad (2.6)$$

Dessa forma, obtém-se a equação $G(s)$ considerada a equação da função de transferência em malha aberta de acordo com Maya (p.46, 2014):

$$G(s) = \frac{L[\text{saída}]}{L[\text{entrada}]} = \frac{Y(s)}{U(s)} \quad (2.7)$$

A equação de transferência em um sistema de malha fechada como demonstrado na seção 2.1.7 é demonstrada da seguinte forma de acordo com Ogata (p.12, 2010):

$$Y(s) = G(s)E(s) \quad (2.8)$$

sendo $E(s)$ é a representação do erro atuante no sistema. Esse erro pode ser expresso da seguinte maneira:

$$E(s) = U(s) - B(s) \quad (2.9)$$

Sendo $B(s) = H(s)Y(s)$, logo:

$$E(s) = U(s) - H(s)Y(s) \quad (2.10)$$

Substituindo o $E(s)$ da equação 2.10 na equação 2.8, obtém-se:

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)} \quad (2.11)$$

É importante ressaltar que a função de transferência é aplicada a apenas sistemas lineares que não variam com o tempo. Ela é uma característica importante e contida no sistema e não depende da origem da função de entrada ou alteração. A função de transferência pode ser determinada por meio de experimentos com entradas conhecidas a análise das respostas (OGATA, p.13, 2010).

2.3 Estabilidade

De acordo com Nise (p.236, 2011), a estabilidade de um sistema é a especificação mais importante. Os erros em regime permanente e a resposta transitória não são uma questão relevante quando um sistema é considerado instável. Um sistema é considerado estável se toda entrada limitada gerar uma saída limitada (NISE, p.236, 2011).

Logo, segundo Nise (p.236, 2011), são apresentados os conceitos de sistemas estáveis, instáveis e marginalmente estáveis:

- Um sistema linear invariante no tempo é estável se a resposta natural tende a zero à medida que o tempo tende a infinito;
- Um sistema linear invariante no tempo é instável se a resposta natural aumenta sem limites à medida que o tempo tende a infinito.
- Um sistema linear invariante no tempo é marginalmente estável caso a resposta natural não decaia nem aumente, mas permaneça constante ou oscile à medida que o tempo tende a infinito.

2.4 Sistemas PID

O controle de sistemas dinâmicos são muito utilizados no ramo industrial atualmente. E para uma melhor aplicação, utiliza-se controles do tipo PID. Esse tipo de controle é muito aplicado a modelos matemáticos quando o mesmo de uma planta é desconhecido e os métodos convencionais e analíticos não são de fácil resolução (OGATA, p.557, 2010).

O controle PID utiliza de técnicas proporcionais, integrais e derivativas com o objetivo de minimizar o erro pelo controle proporcional, zerar o mesmo pelo controle integral e aumentar a velocidade de reação pela constante derivativa (OGATA, p.557, 2010).

Dessa forma, são utilizadas várias ações de controle que serão descritas a seguir.

2.4.1 Controlador Proporcional (P)

O controlador proporcional é caracterizado por atuar em proporção ao erro. Entretanto, quando esse tipo de controlador possui uma má regulação é gerado um erro estacionário

(residual). Em um controlador proporcional, a relação entre a saída e o erro atuante é definida pela seguinte equação, segundo Ogata (p.20, 2010):

$$u(t) = K_p e(t) \quad (2.12)$$

sendo $u(t)$ a saída, $e(t)$ o erro atuante e K_p a constante, ou ganho proporcional.

Ao aplicar a transformada de Laplace na equação anterior, obtém-se:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \quad (2.13)$$

Qualquer que seja o tipo de energia utilizada na operação e o mecanismo, o controlador que possui ação proporcional é essencialmente um amplificador de ganho ajustável (OGATA, p.53, 2010).

2.4.2 Controlador Integral (I)

O controlador integral é considerado um aperfeiçoamento do controle proporcional, pois ele elimina o erro estacionário do sistema com entrada em degrau, entretanto, isso não elimina o erro residual Ogata (p.197, 2010).

Para um controlador com ação integral, temos uma mudança proporcional no valor de saída relacionado ao erro real. Ou seja (OGATA, p.21, 2010):

$$\frac{du(t)}{dt} = K_i e(t) \quad (2.14)$$

Dessa forma, aplicando-se a transformada de Laplace obtém-se a função de transferência do controlador integral:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s} \quad (2.15)$$

2.4.3 Controlador Proporcional Integral (PI)

De forma análoga vista na seção anterior a função de transferência para o controlador integral segundo Ogata (p.21, 2010):

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) \quad (2.16)$$

Sendo T_i o tempo integrativo.

2.4.4 Controlador Proporcional Derivativo (PD)

O papel do controle derivativo quando adicionado a um controlador proporcional permite que o sistema obtenha um controlador de alta sensibilidade. Os benefícios de usar o efeito do controle diferencial é responder rapidamente à taxa de variação do erro aplicado. Portanto,

esse tipo de controle pode prever erros operacionais e iniciar as ações corretivas esperadas antes que o erro fique muito alto (OGATA, p.21, 2010).

A função de transferência desse tipo de controlador segundo Ogata (p.21, 2010) é:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p(1 + T_d s) \quad (2.17)$$

Sendo T_d o tempo derivativo.

2.4.5 Controlador Proporcional Integral Derivativo (PID)

A combinação de controle proporcional, controle integral e ações de controle derivativo é conhecida como ação de controle da Derivada Integral Proporcional (PID). Com esta combinação, as vantagens individuais de cada uma das três ações de controle são obtidas (OGATA, p.21, 2010).

O controlador PID permite controlar qualquer grandeza física que possa ser medida e que possua um atuador para permitir as alterações que a estabilize em um valor ideal.

A equação do controlador com a junção das três ações de controle é dada (OGATA, p.21, 2010):

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \cdot \int_0^t e(t) dt + K_p \cdot T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.18)$$

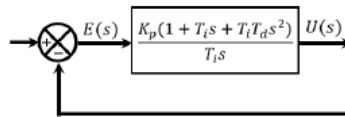
Portanto, a função de transferência de um controlador PID segundo Ogata (p.21, 2010) é:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (2.19)$$

sendo T_d o tempo derivativo e T_i o tempo integrativo.

O diagrama de blocos de um controlador proporcional-integral-derivativo é apresentado na figura a seguir.

Figura 12 – Diagrama de blocos do controlador PID.



Fonte: Própria baseada em OGATA (p.22, 2010).

2.5 Ferramentas

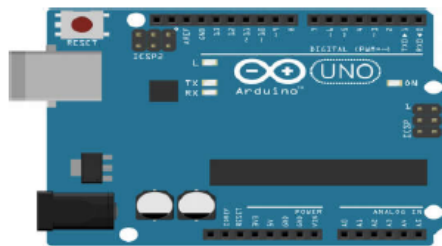
2.5.1 Arduíno

O Arduíno é uma plataforma de código aberto que utiliza hardware e software de maneira simples. Cada placa de Arduíno possui a capacidade de ler entradas, sendo elas digitais

ou analógicas, como por exemplo, a luminosidade através de um sensor, um botão acionado pelo dedo, ou até mesmo mensagens instantâneas via internet. Através de uma operação de processamento como acionar um motor, ligar um LED ou publicar algo na internet obtém-se os dados de saída. Para se fazer o processamento é necessário utilizar a linguagem de programação em uma interface de desenvolvimento (*software*) (Arduino.cc).

A Figura 13 mostra uma placa de Arduino UNO, esse tipo de placa é um dos mais usados pelo baixo custo e facilidade de manipulação. Essa placa possui pinos de entradas analógicas e digitais, entre outros. Para alimentação, ela utiliza a porta USB.

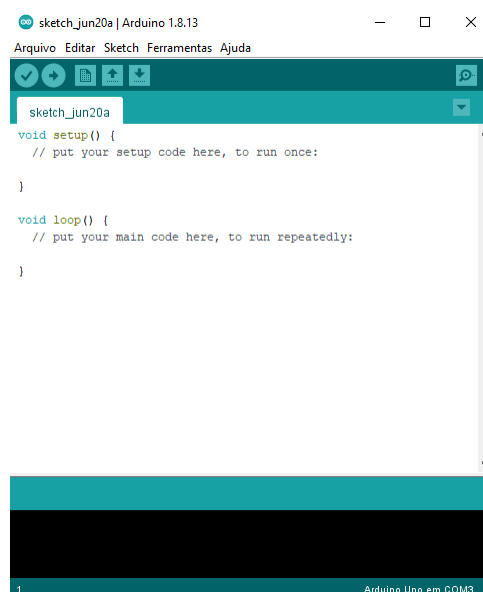
Figura 13 – Placa de Arduino UNO.



Fonte: (Arduino.cc).

Para o processamento é utilizado o *software* Arduino. A linguagem utilizada na interface de desenvolvimento é C++, ela é simples, compacta e de fácil adaptação. Na Figura 14 mostra o *software* Arduino pronto para ser inicializado. Ele possui duas funções necessárias para sua compilação, *void setup()* onde devem ser programados os códigos de inicialização do sistema, esse código será lido apenas uma vez. Possui também a função *void loop()* onde será introduzido o código principal que será repetido em forma de *loop* de acordo com a lógica descrita no programa.

Figura 14 – Interface de desenvolvimento do Arduino UNO.



Fonte: Própria.

O Arduino é utilizado em vários projetos em cursos de engenharia. Isso ocorre pelo fato de ser de fácil utilização e compreensão além do preço acessível. Os programas criados no Arduino são compilados em todos os sistemas operacionais. Cada vez mais instituições, professores e alunos estão utilizando essa plataforma para auxiliar no aprendizado de sistemas físicos, químicos, industriais, robótica, linguagem de programação e pensamento computacional (ELETROGATE, 2022).

2.5.2 *PID Library*

A biblioteca do Arduino escolhida para realização desta pesquisa é a *PID Library*. Ela foi desenvolvida por Brett Beauregard e está disponível para instalação dentro do gerenciador de bibliotecas do Arduino UNO. Ela é de simples instalação e fácil interpretação do código. Possui também sete métodos que auxiliam na solidificação do código além de diversos métodos de exibição.

Neste trabalho foi utilizado o código de exemplo *basic* disponibilizado na documentação da biblioteca. No código, é necessário definir as variáveis *Input*, *SetPoint* que *Output* e devem ser, necessariamente, do tipo *double*. Além disso, as constantes K_p , K_i e K_d devem ser especificadas e podem ser do tipo *float*. Posteriormente, na declaração do construtor PID são passadas as variáveis inicializadas anteriormente como parâmetro, assim como a direção para saber se a ação de controle é positiva ou negativa sobre o processo desenvolvido.

Figura 15 – Código *basic* da biblioteca *PID Library*.

PID Library

```
/*.....  
 * PID Basic Example  
 * Reading analog input 0 to control analog PWM output 3  
 *.....*/  
  
#include <PID_v1.h>  
  
//Define Variables we'll be connecting to  
double Setpoint, Input, Output;  
  
//Specify the links and initial tuning parameters  
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, 2, 5, 1, DIRECT);  
  
void setup()  
{  
  //initialize the variables we're linked to  
  Input = analogRead(0);  
  Setpoint = 100;  
  
  //turn the PID on  
  myPID.SetMode(AUTOMATIC);  
}  
  
void loop()  
{  
  Input = analogRead(0);  
  myPID.Compute();  
  analogWrite(3, Output);  
}
```

Fonte: (Arduino.cc).

O código da Figura 15 foi adaptado ao circuito eletrônico para controle de luminosidade e será disponibilizado no apêndice D neste trabalho.

2.5.3 Sequência Didática

Uma sequência didática é a maneira de um educador estruturar atividades ou procedimentos para o ensino de um assunto específico em uma determinada disciplina (ARAÚJO, 2013). Ela não se resume a apenas um planejamento de uma sequência de aulas, mas sim de uma metodologia específica que visa organização no planejamento, prevê possíveis acontecimentos e propõe uma maneira de expor o conhecimento de forma clara e de fácil compreensão.

Para Dolz, Noverraz e Schneuwly (2004, p. 97), autores precursores no estudo de sequências didáticas no Brasil, mesmo com foco na produção de conteúdo oral e escrita, desenvolveram um método que se aplica em qualquer área do conhecimento. Eles definem: "sequência didática é um conjunto de atividades escolares organizadas, de maneira sistemática, em torno de um gênero textual oral ou escrito."

Zabala (p.17,1998) diz: "planejamento e a avaliação dos processos educacionais são uma parte inseparável da atuação docente"(apud MANSUR, 2022, p. 41). Por isso, um professor não necessariamente precisa utilizar-se apenas da exposição de conteúdo teórico de um livro para cumprir a ementa curricular de uma disciplina, mas sim, seu ensino deve estar pautado em um planejamento consistente para melhor aprofundamento nos conteúdos, alinhados com uma avaliação sistemática e análise reflexiva. A elaboração de uma sequência didática permite o desenvolvimento de um planejamento consistente e bem avaliado.

Portanto, a definição de sequência didática para Zabala (1998, p. 18, apud MANSUR, 2022, p. 41) é:

um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos.

Zabala (1998, p. 56-68, apud MANSUR, 2022, p. 41) divide as sequências didáticas com 4 fases distintas. Ele define inicialmente um modelo mais tradicional, com foco em conteúdo conceitual, posteriormente um modelo mais avançado que equilibra conceitos, procedimentos e atitudes. A parte conceitual se baseia em objetos, fatos, símbolos e mudanças relacionadas a eles. A parte procedimental se baseia nas técnicas, metodologias, estratégias, habilidades, entre outras características com foco em ações para o cumprimento de uma meta ou objetivo. Já na parte atitudinal o foco são os valores, a ética, normas e outras características básicas e necessárias para o desenvolvimento do ser humano, que pode ser abordada em qualquer tipo de disciplina e ajuda na formação do caráter dos discentes.(ZABALA, 1998, p. 42-48, apud MANSUR, 2022, p. 41).

Generalizando a definição de Dolz, Noverraz e Schneuwly (2004, p. 96-97), de forma simples, uma sequência didática é uma série de atividades escolares organizadas sistematicamente por um professor sobre um conteúdo com o intuito de ajudar os alunos a dominá-lo.

A Figura 16 representa o esquema de uma estrutura de base de uma sequência didática. Essa estrutura possui 4 fases: apresentação da situação, produção inicial, módulos e produção final (DOLZ; NOVERRAZ; SCHNEUWLY, 2004, p. 98-107).

Figura 16 – Estrutura de base de uma Sequência Didática.



Fonte: Dolz, Noverraz e Schneuwly (2004)

A fase de apresentação da situação refere-se da introdução da situação problema. Essa introdução iniciará a evolução de toda a sequência didática. É nessa primeira fase que serão apresentados os conteúdos que serão abordados no estudo e a importância de cada um. Também são apresentadas as ferramentas de trabalho que serão utilizadas no decorrer das aulas.

Na etapa de produção inicial, os estudantes serão responsáveis por propor um recurso de solução para a situação apresentada na fase anterior. É importante que essa fase seja incentivadora e motivadora, onde os alunos começarão a praticar a sequência didática de fato.

Uma sequência didática pode possuir a quantidade de módulos que for necessária. Cada módulo irá desenvolver uma habilidade específica dos discentes para chegar no objetivo final. É necessário que os conteúdos abordados nos módulos tenham sido apresentados na primeira fase da sequência para que o conteúdo seja aproveitado da melhor maneira e a sequência cumpra seu objetivo de fixação do conhecimento e aprendizado.

A produção final é o fechamento da sequência didática. Nesta fase os discentes colocarão em prática todo o conteúdo apresentado durante a sequência em conjunto com os instrumentos desenvolvidos e abordados nos módulos.

2.6 Trabalhos correlatos

A ferramenta utilizada para a busca por trabalhos acadêmicos foi a *Google Acadêmico*. Essa ferramenta é uma plataforma virtual de pesquisa livre, gratuita e acessível que lista literaturas, artigos, trabalhos e textos com vários formatos de publicação, muito utilizado para consulta.

Inicialmente, foram escolhidas palavras chaves para a pesquisa na plataforma como: sequência didática, controle com Arduino e Matlab, sequência didática para controle com Arduino. E com essa pesquisa foram encontrados inúmeros resultados, sendo a maioria não contribuinte para esse trabalho. Porém, foram encontradas 4 literaturas que serviram de apoio para o desenvolvimento desta pesquisa, conforme se observa nos tópicos seguintes.

2.6.1 Sistema Didático para aplicação de técnicas de controle

O primeiro trabalho encontrado e utilizado como base para o progresso desse estudo foi o Trabalho de Conclusão de Curso de graduação em Engenharia de Automação Industrial

do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG campus Araxá. O autor Matheus Melo Borges publicou esse trabalho em 2016 com orientação da Professora Doutora Aline Fernanda Bianco e o Coorientador Professor Mestre Luis Paulo Fagundes, cujo tema abordado foi: Sistema Didático para aplicação de técnicas de controle (BORGES, 2016).

O trabalho apresenta, de forma sucinta, um estudo da teoria de controle. Possui uma introdução com conceitos básicos da teoria e as principais atuações do controle clássico, abordando enfaticamente sobre estabilidade, função de transferência, controladores PID e regras de sintonia. A metodologia abrangeu as teorias abordadas de forma prática com um modelamento matemático de um circuito elétrico com o objetivo de obter-se a função de transferência do sistema elétrico. O circuito elétrico foi montado utilizando o Arduino para captação dos dados de entrada do circuito e foi desenvolvida uma interface gráfica para tornar mais simples a operação do usuário com o algoritmo de controle. O desenvolvimento desta interface utilizou o recurso GUIDE disponibilizado pelo MATLAB.

A comunicação do Arduino com o MATLAB deu-se por meio de uma comunicação serial via cabo USB para alimentar o Arduino ao computador e, para conectar o Arduino ao MATLAB foi utilizado um programa suporte (*support package*) desenvolvido pela empresa desenvolvedora no MATLAB que auxilia nesta comunicação. Por fim, depois de montado o circuito, foram testados os dados de entrada e tratados pelo software que mostrava o comportamento via gráficos. No resultado foram apresentados dados positivos da utilização dessa ferramenta para a aprendizagem de controle de sistemas dinâmicos em ambiente escolar e como trabalhos futuros, o aprimoramento das técnicas apresentadas, assim como o desenvolvimento de novos métodos para abranger o conteúdo completo da disciplina.

2.6.2 Introdução à Identificação de Sistemas utilizando o System Identification Toolbox do MATLAB em conjunto com o Arduino para o Laboratório de Controle Linear

O segundo trabalho encontrado que pôde contribuir com o desenvolvimento dessa pesquisa foi da Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho- Unesp, campus Guaratinguetá. O desenvolvedor foi Rodolfo Pacheco da Silva, com orientação do Professor Doutor Francisco A. Lotufo. O tema é "Introdução à Identificação de Sistemas utilizando o System Identification Toolbox do MATLAB em conjunto com o Arduino para o Laboratório de Controle Linear", apresentado no ano de 2015 (SILVA, 2015).

O projeto desenvolvido teve como objetivo formular uma aula de laboratório da disciplina de Controle Linear com destaque para o conteúdo de identificação de sistemas lineares. Para obtenção de dados simples de entrada foi utilizada a plataforma Arduino e para a identificação dos sistemas, foi utilizado o software MATLAB, um software de alto desempenho para cálculos matemáticos. Para uma melhor análise e identificação dos sistemas lineares, foi utilizada a biblioteca *System Identification Toolbox*.

No desenvolvimento da pesquisa foram elaboradas duas atividades simples com o objetivo de apresentar o conteúdo de forma mais didática e de fácil compreensão. Na primeira atividade foram introduzidos os programas e hardwares que estão disponíveis no mercado

e que seriam utilizados na sequência didática, entre eles, o Arduino e a ferramenta *System Identification Toolbox* do MATLAB. A segunda atividade foi preparada com o objetivo de criar modelos novos mas com dados de outros sistemas para uma melhor fixação do conteúdo exposto na primeira atividade e apresentar ao discente as inúmeras ferramentas que podem ser utilizadas para a disciplina. Além disso, essa atividade proporciona aos alunos o maior contato com sistemas lineares no cenário atual da sociedade, explicando que coisas simples do dia a dia podem ser estimadas. O exemplo utilizado na segunda atividade é um sistema de controle onde o dado de entrada é potência de um secador de cabelo e a saída é a temperatura do ar onde o secador está. Portanto, a Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá possui todos os materiais necessários para a realização desse trabalho, e o projeto é uma opção para as aulas de Laboratório da disciplina de Controle Linear.

2.6.3 Sistema Didático de controle de nível em tanques acoplados

O terceiro trabalho encontrado foi do estudante de graduação em Engenharia Elétrica Izaac Vieira Jardim, na Universidade Federal do Espírito Santo - UFES em Vitória, no ano 2019 com o seguinte tema: Sistema didático de controle de nível em tanques acoplados (JARDIM, 2019).

O objetivo geral desse trabalho correlato foi a implementação de um sistema de controle de nível em tanques acoplados utilizando o microcontrolador Arduino Uno e o *software* MATLAB. Foram escolhidas essas ferramentas pois permitem a aplicação do conteúdo de forma rápida e de simples construção, além disso, são recursos de baixo custo e de fácil acesso.

O desenvolvimento do trabalho se deu na identificação dos processos que dependem do controle de nível de líquidos que são armazenados em tanques e o estudo da planta. Foi definida a malha de controle e os tanques foram dimensionados. Após esse estudo, os testes iniciaram com apenas um tanque e foi definido o valor da resistência da válvula de acoplamento. Logo depois foi inserido no sistema os sensores e atuadores, o microcontrolador Arduino, circuitos de acionamento e a comunicação com o *software* MATLAB. Também, foi utilizada uma interface gráfica para a inicialização e finalização da comunicação serial e ela permite que o usuário realize ensaios em malha aberta ou fechada. Foi desenvolvido um protótipo do sistema com o custo total de 412 reais.

O resultado final do trabalho foi satisfatório e o embasamento teórico apresentado foi importante para o desenvolvimento da pesquisa e dos testes. Foi uma aplicação prática dos conteúdos teóricos apresentados na grade curricular do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Espírito Santo.

2.6.4 Desenvolvimento do pensamento computacional nas aulas de Matemática: uma pesquisa bibliográfica para elaboração de uma sequência didática utilizando como ferramenta o Arduino

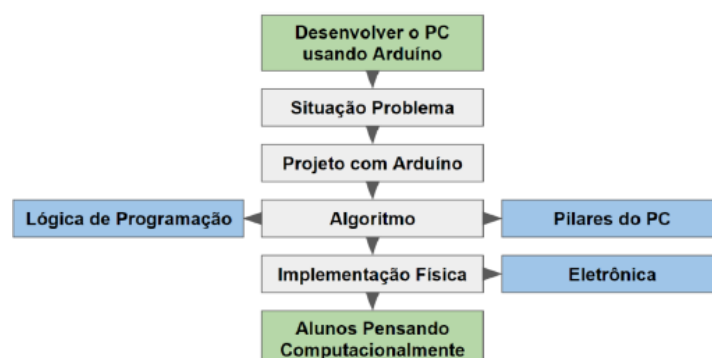
Por fim, o quarto trabalho que serviu como base para a elaboração dessa pesquisa foi a monografia apresentada à Coordenadoria do Curso de Licenciatura em Matemática do Instituto

Federal do Espírito Santo em Vitória - ES. O autor é Daniel Redinz Mansur, no ano de 2022 com o tema Desenvolvimento do pensamento computacional nas aulas de Matemática: uma pesquisa bibliográfica para elaboração de uma sequência didática utilizando como ferramenta o Arduino (MANSUR, 2022).

A questão que norteia essa pesquisa é: "Como produções científicas podem embasar a elaboração de uma sequência didática para aulas de matemática que promova o desenvolvimento do pensamento computacional utilizando como ferramenta o Arduino?". Para conseguir alcançar os objetivos desse trabalho e responder a pergunta norteadora, a metodologia abordada nesse trabalho correlato é uma pesquisa bibliográfica com uma revisão de literatura que busque trabalhos acadêmicos sobre os assuntos Pensamento Computacional, sequências didáticas e Arduino.

Após realizada a revisão de literatura utilizando a ferramenta Buscad, foi elaborada uma sequência didática para formar docentes da disciplina de matemática do ensino básico. Foram desenvolvidas uma sequência de aulas com o objetivo de aumentar a interação professor-aluno, imergir o aluno em práticas, conhecer ferramentas que auxiliam na fixação dos conteúdos abordados em sala de aula. O planejamento da sequência didática se deu na construção de 12 aulas com duração total de 40 horas. Por causa da pandemia de COVID-19, algumas aulas foram planejadas para serem aplicadas remotamente, logo, possuem momentos síncronos e assíncronos, sendo 6 aulas cada um. O problema de pesquisa é como ensinar o Pensamento Computacional usando Arduino e esse problema foi decomposto em etapas, sendo elas descritas na Figura 17.

Figura 17 – Decomposição do problema de pesquisa sobre Pensamento Computacional com Arduino.



Fonte: Mansur, 2022

Após a decomposição do problema foi realizada a abstração da sequência didática que abrange os pilares do desenvolvimento do pensamento computacional, como mostra a Figura 18.

É importante ressaltar que a sequência didática desenvolvida não foi aplicada devido ao tempo disponível para desenvolvimento da monografia.

Figura 18 – Abstração da sequência didática.

Aula 01	Aula 02	Aula 03	Aula 04	Aula 05	Aula 06	Aula 07	Aula 08	Aula 09	Aula 10	Aula 11	Aula 12
Situação Problema	Pilares do PC		Lógica de Programação	Projeto com Arduino	Eletrônica		Algoritmo		Implementação Física		Alunos com PC
Contexto histórico	Descrição de tarefas do Robô			Simulador Thinkercad	Componentes		Arduino IDE 1.8.19		Kit Arduino		Consolidação dos conhecimentos
Multidisciplinaridade	LPD			Códigos							
Problemas Robótica											
Situação Problema											

Fonte: Mansur, 2022

3 Procedimentos metodológicos

“Um bom começo é a metade”.

Aristóteles

Este trabalho apresenta uma pesquisa bibliográfica, pois possui uma revisão e um levantamento de literaturas publicadas que serviram de direcionamento para o desenvolvimento da análise e estudo sobre a teoria apresentada no capítulo 2. Além disso, é uma pesquisa documental e qualitativa, pois foram utilizadas documentações para uma melhor descrição dos métodos aplicados e aborda aspectos subjetivos sobre a elaboração e aplicação da sequência didática. Também pode ser considerada uma pesquisa laboratorial, pois foi realizada a implementação do circuito eletrônico e análise de dados do comportamento do sistema apresentados graficamente pela ferramenta *Plotter Serial* disponibilizada na IDE do Arduino.

De acordo com as teorias apresentadas além das experiências adquiridas no decorrer do curso de Engenharia de Computação, partimos para a criação da sequência didática para o auxílio dos professores de Controle de Sistemas Dinâmicos no CEFET-MG Campus Timóteo.

No Curso de Engenharia de Computação são oferecidas diversas matérias de acordo com o Projeto Pedagógico do Curso. Cada disciplina ofertada proporciona uma base sólida do conhecimento que é imprescindível para o desenvolvimento dos estudantes em projetos avançados. No caso específico apresentado nesta pesquisa sobre as aulas de Controladores PID com Arduino, as disciplinas anteriores preparam o aluno para enfrentar os desafios que a atividade proporciona.

É importante evidenciar que todas as disciplinas anteriores do curso se complementam. A integração desses conhecimentos permite aos alunos compreenderem os fundamentos teóricos, realizar as conexões corretas do circuito na placa Arduino UNO, programar de forma adequada e solucionar problemas que possam surgir durante o desenvolvimento do projeto.

Sobre as experiências obtidas ao longo do curso de Engenharia de Computação baseadas nos pré-requisitos apresentados no Projeto Pedagógico do Curso, pode-se destacar o seguinte:

- Disciplinas de Cálculo, realizadas nos quatro períodos iniciais do curso. Nessas disciplinas é desenvolvido o raciocínio matemático por meio de equações, limites, derivadas, integrais, equações diferenciais e gráficos. Com isso, o estudante desenvolve a capacidade de resolver problemas profundos com soluções compreensíveis, claras, organizadas e eficientes. Além disso permite a abstração do mundo real e a criação de novos modelos muito mais precisos.
- Disciplina de Matemática Discreta realizada no segundo período do curso. Nessa disciplina o aluno trabalha com um conjunto maior de números enumerados e discretos. Com

isso, desenvolve-se o raciocínio lógico-matemático, demonstrações e provas de fórmulas, probabilidades e conjuntos.

- A disciplina de Sistemas Digitais para a Computação, ofertada no segundo período do curso. Essa disciplina utiliza dos sinais digitais e analógicos, circuitos eletrônicos e grandezas físicas para o entendimento da computação. Além disso, desenvolve o pensamento computacional do aluno fazendo com que tenha contato com o tipo de informação mais próxima que o computador interpreta. Nesta disciplina os alunos possuem contato com circuitos eletrônicos na prática, assim como Arduino.
- Disciplinas de física e experimentais realizadas nos quatro primeiros períodos do curso de Engenharia de Computação. Essa disciplina permite que o aluno aplique o computador aos conhecimentos sobre a natureza e grandezas presentes no dia-a-dia. Além disso, permite a exploração de fenômenos extremos e perceber o comportamento desses fenômenos para o desenvolvimento de tecnologias que serão utilizadas e aprimoradas no futuro.

Seguindo o objetivo desse trabalho e a teoria apresentada anteriormente, estão relacionadas algumas premissas para o desenvolvimento da sequência didática:

- Proporcionar a interação entre alunos e professores;
- O professor possui um papel importante de mediador, autorizando a experimentação do conteúdo, manipulação das ferramentas e dissimulação do conhecimento;
- Todas as tarefas desenvolvidas têm como objetivo interação e melhor absorção do conteúdo;
- O computador e o Arduino serão ferramentas que proporcionam a interação e a aprendizagem dos alunos;
- As tarefas desenvolvidas devem considerar o contexto atual do aluno no curso de Engenharia, com o objetivo de aumentar o interesse na execução das atividades;
- Os conceitos novos abordados devem ser social e historicamente construídos para os alunos serem inseridos no contexto da disciplina;
- Perguntas como: Por quê? Quando? Como desenvolveu ao longo do tempo? Devem ser respondidas durante a aplicação da sequência didática;
- O conteúdo programado deve ser abordado de forma clara, simples e objetiva.

3.1 Planejamento da Sequência Didática

A Sequência Didática é elaborada para ser aplicada em 8 aulas de 1 hora e 40 minutos, com duração total de, aproximadamente 13 horas e 20 minutos. Com a pandemia da Covid-19 enfrentada nos anos de 2020 e 2021, a educação foi incentivada a adaptar ao modelo remoto,

com isso, essa sequência didática é pensada nessa modalidade dividindo as aulas remotas e presenciais em síncronas e assíncronas, respectivamente. Ela é composta com 3 aulas que podem ser síncronas ou assíncronas com duração de total de 5 horas e 5 aulas assíncronas com duração total de 8 horas e 20 minutos. É importante destacar que nos períodos assíncronos, o tempo gasto é uma estimativa, podendo ser menor ou maior.

Na Tabela 1 é detalhado o cronograma de aulas da Sequência Didática:

Tabela 1 – Cronograma de aulas da Sequência Didática

Momento	Descrição da atividade	Síncrona	Assíncrona	Tempo
1	Teoria Controle PID – Parte 1	X	X	1h40
2	Teoria Controle PID – Parte 2	X	X	1h40
3	Arduino - Parte 1	X	X	1h40
4	Arduino - Parte 2		X	1h40
5	Projeto de Controlador PID com Arduino - Montagem		X	1h40
6	Projeto de Controlador PID com Arduino - Análise		X	1h40
7	Apresentação do projeto - Parte 1		X	1h40
8	Apresentação do projeto - Parte 2		X	1h40
Total		4	8	13h20

Considerando um possível cenário futuro, onde a educação pode se manter de forma híbrida (remoto e presencial alternadas) a sequência didática apresentada é adaptada a esse cenário. As ferramentas sugeridas à essa modalidade de ensino híbrido detalhadas na Tabela 2 podem ser substituídas por outros à medida do desenvolvimento de novas tecnologias.

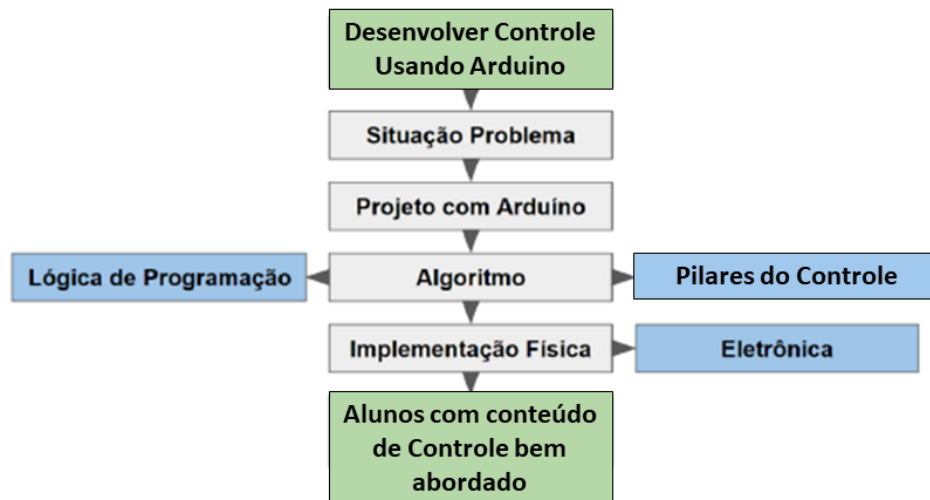
Tabela 2 – Ferramentas sugeridas para atividades híbridas.

Cenário	Síncronas	Assíncronas	Prática
Presencial	CEFET-MG	SIGAA	Kit físico
Remoto	Microsoft Teams	SIGAA	Simulador
Híbrido	Microsoft Teams/CEFET-MG	SIGAA	Kit Físico

Para o melhor entendimento da sequência didática elaborada, a Figura 19 mostra o objetivo desse trabalho, modificando-o ao diagrama de uma sequência didática decompondo o problema a ser resolvido.

Após a decomposição do problema, é necessário entender o passo a passo para um melhor aprendizado por parte do aluno. Por isso, entende-se que para desenvolver um bom algoritmo o aluno precisa ter o conhecimento da lógica e linguagem de programação e para desenvolver um bom algoritmo que abrange os conceitos de Controle é necessário dominar os assuntos relacionados a Controle de Sistema Dinâmicos. Para a implementação física o aluno precisa entender sobre os componentes eletrônicos e os objetos do Arduino. Portanto, para esses problemas serem sanados, a Sequência Didática precisa contemplar esses assuntos sem o aprofundamento que um curso avançado dessas técnicas possui. Para isso, a Sequência Didática foi elaborada com uma ordem para contemplar os problemas e reduzir ao máximo as dificuldades dos alunos ao realizar as atividades.

Figura 19 – Decomposição do problema de pesquisa



Fonte: Própria

3.2 Descrição da Sequência Didática

Diante do exposto anteriormente na seção 2.5.3, a sequência didática se estruturará da seguinte maneira: a etapa de apresentação da situação é contemplada em 3 aulas com apresentação de slides sobre os assuntos mais importantes sobre a teoria de Controle Proporcional Integral Derivativo e a ferramenta Arduino aplicada ao controle de luminosidade. Essa primeira parte será composta por 3 encontros que podem ser síncronos ou assíncronos, definido pelo professor. Sendo os encontros assíncronos para os alunos terem o contato inicial com a ferramenta, com o auxílio do professor. As aulas contarão com a divisão de grupos para uma melhor interação entre os alunos para que todos tenham contato com a ferramenta e disseminam seus conhecimentos e dúvidas com os colegas.

Na etapa de primeira produção serão colocados em prática os conceitos abordados sobre a ferramenta Arduino e a biblioteca PID Library. Na aula 4 os alunos terão o primeiro contato físico com o circuito eletrônico e as peças necessárias para a montagem do projeto, assim como alimentação da placa, compilação e transmissão de dados, portas analógicas e saída PWM, conceitos abordados em aula anteriormente. Nesta etapa, será utilizada uma aula com a duração de 1 hora e 40 minutos, de forma assíncrona.

Para a etapa de módulos, os momentos de aulas 5 e 6 serão compostos de um momento assíncrono que contempla as ferramentas para utilização prática e fixação dos conceitos abordados na disciplina sobre Projeto de controle PID. Nessa etapa será analisado através do *Plotter Serial* do Arduino o comportamento do sistema de luminosidade a ser controlado, tal como a resposta e os erros apresentados graficamente. Em todos os momentos assíncronos serão desenvolvidas as práticas com o auxílio do professor.

Na etapa de produção final foram reservadas as aulas 7 e 8 presenciais para a apresentação do um projeto final que contemple a atividade de um Controlador PID no controle da

luz de um LED. Cada grupo será responsável por desenvolver seu controlador com o Arduino para captar os dados de entrada e o *Plotter Serial* para visualizar o comportamento gráfico dos dados captados. Além disso, cada grupo apresentará seu projeto e será organizada uma discussão sobre a metodologia adotada a fim de verificar se as constantes proporcionais integrais e derivativas foram utilizadas de forma a controlar o sistema e ao final receber um *feedback* dos alunos sobre o novo método e a forma com que absorveram o conteúdo.

A descrição dos tópicos da sequência didática relacionado com o planejamento das aulas está detalhado na Tabela 3.

Tabela 3 – Descrição da Sequência Didática.

Descrição da Sequência Didática		
Estrutura	Aulas	Conteúdo
Apresentação da situação	Aula 1	Teoria Controle PID - Parte 1
	Aula 2	Teoria Controle PID - Parte 2
	Aula 3	Arduino - Parte 1
Primeira produção	Aula 4	Arduino - Parte 2
Módulos	Aula 5	Projeto de Controlador PID com Arduino - Montagem
	Aula 6	Projeto de Controlador PID com Arduino - Análise
Produção final	Aula 7	Apresentação do Projeto - Parte 1
	Aula 8	Apresentação do Projeto - Parte 2

É importante ressaltar que a metodologia desenvolvida nesse trabalho não foi aplicada na prática devido ao tempo disponível para a elaboração da pesquisa. Para a aplicação será necessário a coleta e análise dos dados além da adaptação com o professor da disciplina, o que demandaria um tempo a mais. Entretanto, é possível que seja aplicado em trabalhos futuros ou em pesquisas de mestrado.

3.3 Implementação do Projeto PID

Para a implementação de um projeto de controle, foi escolhido o sistema de controle de luminosidade. Este tipo de controle está presente em diversos ambientes do cotidiano e a capacidade de ajustar a intensidade da luz de acordo com as necessidades é ideal para criar ambientes mais confortáveis. A construção do projeto teve como base o desenvolvimento apresentado por Moraes (2013) e Cheetah E-Racing (2022).

Por esse motivo, foi explorado nessa pesquisa o conceito fácil e acessível para o controle de luminosidade. Independentemente do nível de experiência em eletrônica ou programação, a pesquisa mostra que é possível desenvolver e compreender os conceitos envolvidos nesse tipo de projeto.

Os elementos necessários para o desenvolvimento do controle são:

- *Protoboard*;

- Placa Arduino UNO;
- Fonte USB para alimentação;
- LED (vermelho/branco/amarelo);
- Resistor de 150ohms;
- Resistores de 10kohms;
- Sensor LDR;
- potenciômetro B10K;
- Jumps.

Inicialmente, foi colocada a placa Arduino UNO junto à *protoboard* e utilizado o cabeamento USB para fornecer alimentação ao circuito com a tensão de 5V. Para se conectar a placa com a *protoboard* foi utilizado *jump* para a ligação positiva no pino 5V e a negativa no pino GND da placa.

Para conectar o LED, foi utilizado o anodo ligado à coluna positiva da *protoboard* e o catodo conectado em série com o resistor 150ohms para limitar a corrente. O sinal do LED é relacionado à saída 3 PWM da placa Arduino. Com o objetivo de se ajustar a luminosidade e simbolizar o *setpoint* do sistema foi inserido um potenciômetro B10K com três pinos, um para a fonte, outro para a entrada A0 da placa Arduino e o outro para o negativo.

Agora, ao conectar o sensor LDR, percebe-se que ele não possui anodo e catodo definido, por isso uma das saídas é ligada ao positivo da *protoboard*. Um resistor de 10k ohms é ligado em série com o pino de entrada A1 na placa Arduino.

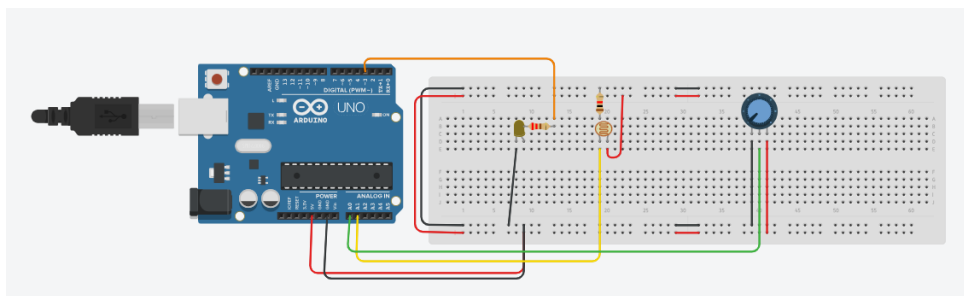
Nas Figuras 20 e 21 segue a ilustração e a vista esquemática do circuito para controle de luminosidade:

É interessante ressaltar que o potenciômetro atua como o *setpoint* do sistema, ou seja, o valor desejado. Também, a placa de Arduino exerce a função de controlador. O LED é a variável manipulada no sistema e o sensor LDR é o sensor de luminosidade. Este verifica se o LED reproduz a luminosidade desejada pelo potenciômetro (*setpoint*). Ademais, o sistema não está livre de distúrbios ou perturbações. Pode-se posicionar um papel ou um dedo da mão como objeto de ruído entre o sensor e o LED que o sistema se comportará de forma atípica.

Após a montagem do sistema é importante verificar se todas as conexões foram realizadas corretamente e as polaridades dos componentes foram utilizadas para não correr o risco de prejudicar os materiais utilizados. Com essa montagem é possível explorar os conceitos básicos de controle de luminosidade e ajustar a intensidade da luz de acordo com a medida do sensor e o valor do potenciômetro.

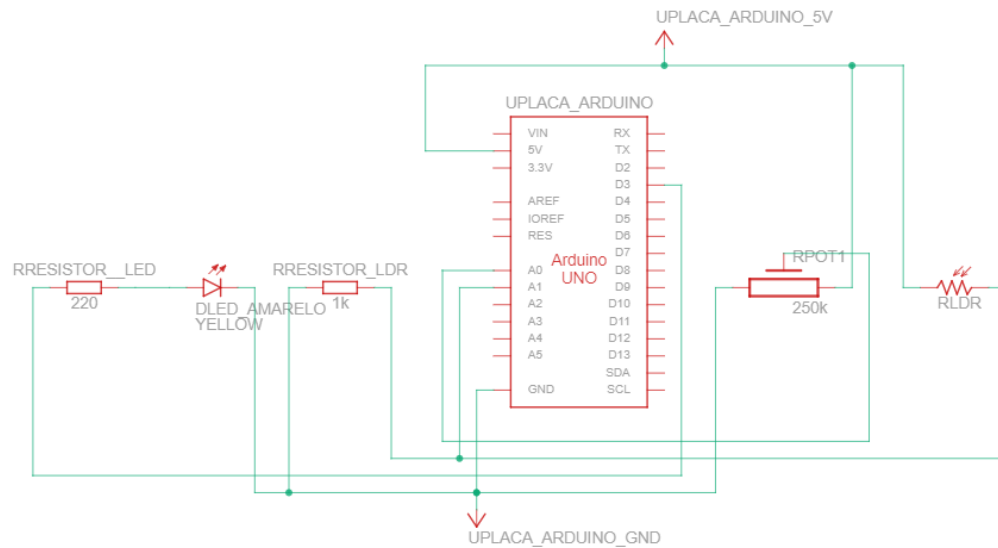
Foi utilizada a plataforma Arduino IDE para escrever o código necessário para controlar o LED com base na leitura do sensor LDR e no valor do potenciômetro. O código está disponível no apêndice D deste trabalho.

Figura 20 – Ilustração do circuito de controle de luminosidade.



Fonte: Própria

Figura 21 – Esquema do circuito de controle de luminosidade.



Fonte: Própria

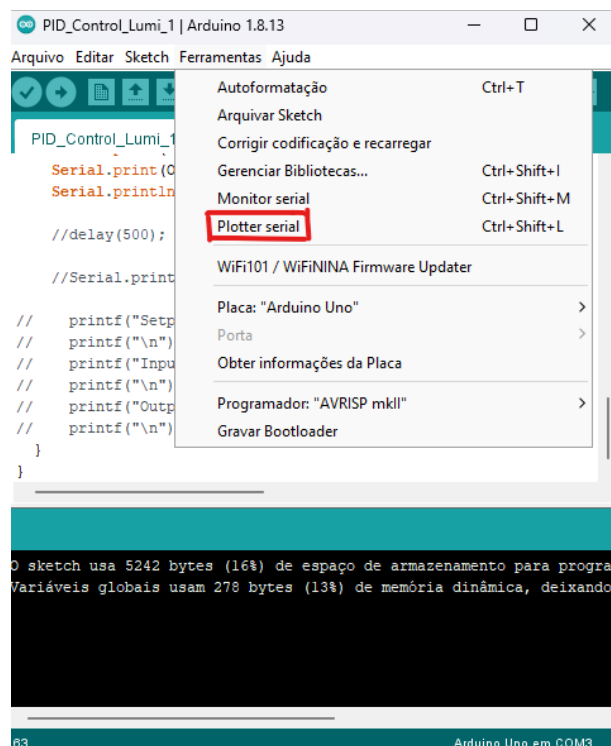
4 Resultados obtidos

“Não se possui o que não se compreende”.
Johann Goethe

4.1 Resultados

Após a montagem do circuito e da codificação apresentados com detalhes no apêndice D desta pesquisa, foi utilizado o recurso *Plotter Serial* disponibilizado na ferramenta IDE Arduino para a ilustração do comportamento do sistema por meio de gráfico de linha. A Figura 22 mostra como acessar o *Plotter Serial* na aba Ferramentas:

Figura 22 – *Plotter Serial*.

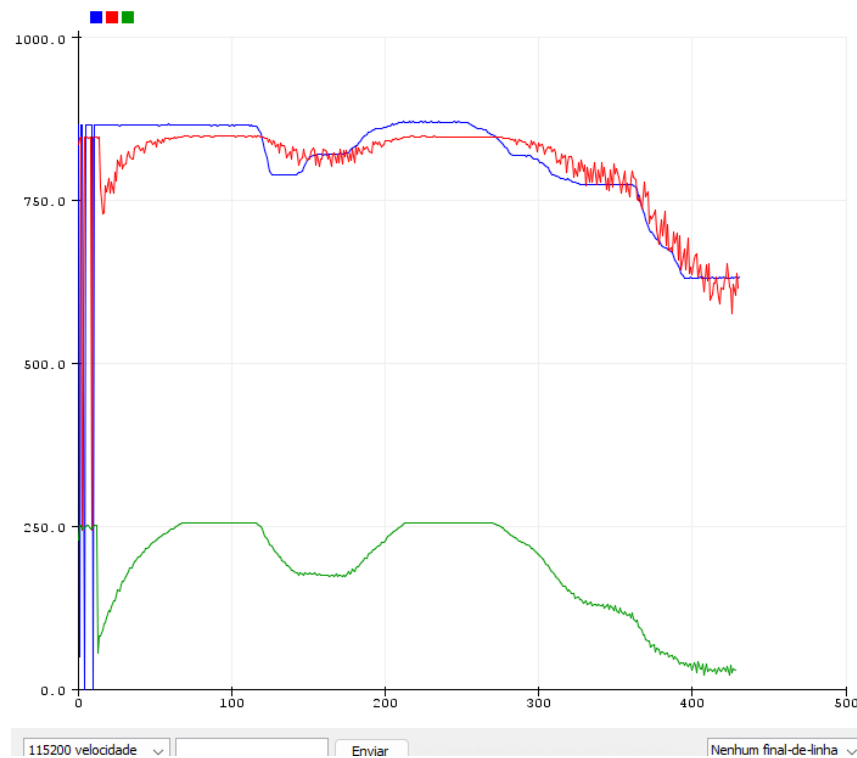


Fonte: Própria

O gráfico apresentado na Figura 23 é rateado em três linhas: a linha azul representada pelo valor do *setpoint* vindo do potenciômetro, vermelho é a leitura do sensor LDR e o verde é a saída, o que está sendo mandado para o controlador, neste caso o LED.

Na Figura 23 é apresentado o comportamento do sistema de controle de luminosidade. Sendo a linha azul o comportamento esperado do sistema e a linha vermelha o sinal captado. Percebe-se que o gráfico apresenta certo atraso e pequenas oscilações ao realizar o controle da luminosidade, porém o sistema está controlando de maneira aceitável de acordo com as

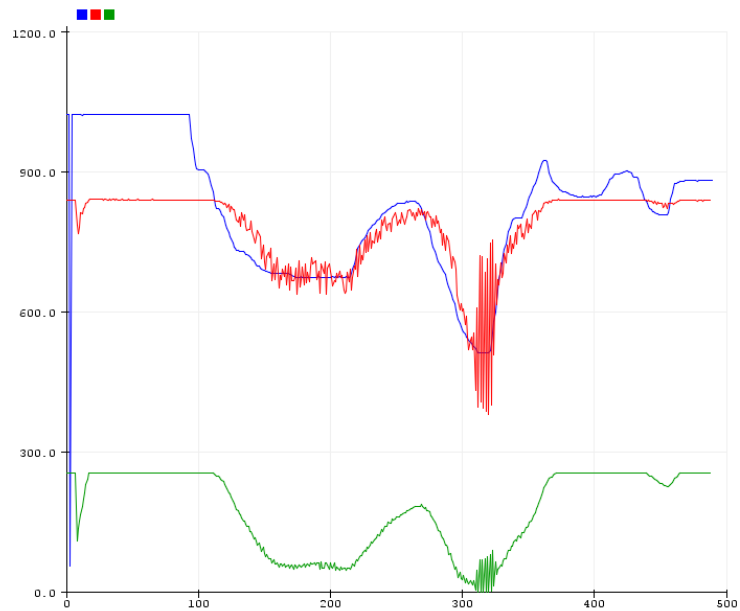
Figura 23 – Gráfico de controle.



Fonte: Própria

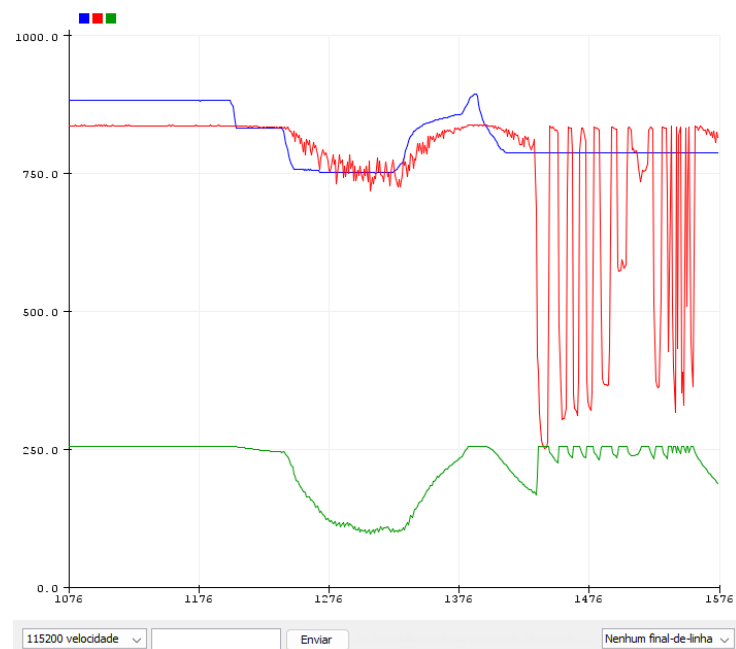
constantes com valores encontrados pelo método de tentativa e erro $K_p = 0.15$, $K_i = 0.8$ e $K_d = 0.0$.

Na Figura 24 mostra o sistema de controle quando o *setpoint* recebe um valor muito pequeno. Com as mesmas configurações das constantes ($K_p = 0.15$, $K_i = 0.8$ e $K_d = 0.0$), o sensor diverge com oscilações maiores ao tentar alcançar o valor desejado. Já no gráfico da Figura 25, é perceptível que ao inserir um distúrbio no sistema (neste caso foi o dedo de uma mão humana entre o LED e o sensor LDR) ele reage de forma muito inconsistente, pois o ruído impede que o sensor capte os dados vindo da luminosidade do LED e, consequentemente, aumenta a luminosidade do mesmo entendendo que o ambiente ficou mais escuro repentinamente.

Figura 24 – Gráfico de controle com *setpoint* baixo.

Fonte: Própria

Figura 25 – Gráfico de controle com distúrbio.



Fonte: Própria

5 Considerações finais

*“As palavras fogem quando precisamos delas e
sobram quando não pretendemos usá-las.”
Carlos Drummond de Andrade*

Em conclusão, este projeto de pesquisa buscou desenvolver uma sequência didática para a disciplina de Controle de Sistemas Dinâmicos do CEFET-MG Campus Timóteo, com foco na elaboração de um projeto de controlador PID para controle de luminosidade utilizando a plataforma Arduino.

5.1 Conclusão

Ao longo deste estudo, foram explorados os fundamentos teóricos do controle de sistemas dinâmicos, com ênfase nas técnicas de controle PID (Proporcional, Integral e Derivativo). Além disso, pesquisas científicas relacionadas à sequência didática e a utilização da ferramenta Arduino como complemento de conteúdo para o ensino de Controle de Sistemas Dinâmicos. Com base nesses conceitos, foi elaborada uma sequência didática estruturada, que permite aos estudantes de Engenharia de Computação compreenderem os princípios e a aplicação prática do controle PID em um sistema de luminosidade.

A utilização da plataforma Arduino foi uma escolha acertada, pois proporciona uma abordagem prática e acessível aos estudantes, permitindo que eles desenvolvam o projeto de controlador PID para controle de luminosidade de forma simples e eficiente. A combinação do Arduino com os componentes mencionados, como o sensor LDR e o potenciômetro, permite aos alunos realizarem experimentos, testes e análises em um ambiente controlado.

Durante a elaboração da sequência didática, foi dada uma atenção especial à contextualização do tema, estabelecendo uma conexão clara entre a teoria do controle de sistemas dinâmicos e a aplicação prática do controle de luminosidade ao projeto Controlador PID. Também foram propostas atividades práticas, como a montagem do circuito e a programação do controlador no Arduino, que proporciona aos estudantes uma experiência e reforça a compreensão dos conceitos estudados. A implementação do projeto permite aos alunos vislumbrarem o potencial do controle de sistemas dinâmicos em situações reais do cotidiano, despertando o interesse e estimulando a criatividade no desenvolvimento de futuros projetos e pesquisas.

É importante salientar que o modelo de sequência didática não foi aplicada em sala de aula devido ao tempo disponibilizado para a realização da mesma. Portanto, é possível uma continuidade para a aplicação dos conceitos abordados neste trabalho com levantamentos quantitativos sobre a eficácia da utilização do método exposto para uma melhor abordagem conceitual da matéria de Controle de Sistemas Dinâmicos no CEFET-MG Campus Timóteo.

Em suma, este projeto de pesquisa é um passo importante na criação de um modelo de

sequência didática para a disciplina de Controle de Sistemas Dinâmicos, envolvendo a elaboração de um projeto de controlador PID para controle de luminosidade utilizando a plataforma Arduino. Espera-se que esse estudo possa contribuir para o aprimoramento do ensino e aprendizado nessa área, fornecendo uma estrutura clara e orientações práticas para professores e alunos, capacitando os estudantes a aplicarem os conceitos teóricos em situações práticas e estimulando seu interesse e criatividade no campo do controle de sistemas dinâmicos.

5.2 Trabalhos futuros

Para dar continuidade ao projeto de pesquisa sobre a criação da sequência didática para a disciplina de Controle de Sistemas Dinâmicos, com o desenvolvimento do projeto de controlador PID de um controle de luminosidade utilizando Arduino, existem diversas possibilidades de trabalhos futuros.

Uma abordagem para a continuidade desta pesquisa é a realização de experimentos mais abrangentes e aprofundados para validar o desempenho do controlador PID desenvolvido. Isso pode envolver a utilização de diferentes configurações de luminosidade, análise de resultados e comparação com outros métodos de controle, assim como explorar técnicas de otimização do controlador PID para o controle de luminosidade utilizando os métodos de ajustamento dos ganhos, como exemplo o método de Ziegler-Nichols, tentativa e erro e análise de resposta em frequência.

Além disso, pode-se investigar a possibilidade de integrar o controle de luminosidade com outros sistemas, como controle de temperatura ou controle de umidade, também disponíveis no kit físico Arduino. Isso permitirá o desenvolvimento de um sistema de automação residencial mais completo e inteligente.

Também, existe a possibilidade de desenvolver interfaces de usuário intuitivas e amigáveis, utilizando a linguagem C++ ou Python, para o controle de luminosidade, possibilitando o ajuste da intensidade luminosa de forma fácil e personalizada. Isso poderia envolver o uso de displays LCD, aplicativos para dispositivos móveis ou interfaces web.

O campo de pesquisa em controle de sistemas dinâmicos, eletrônica e programação é vasto e em constante evolução. É importante explorar as oportunidades para aprimorar e expandir o conhecimento sobre o tema, buscando soluções cada vez mais eficientes e inovadoras, para serem usadas tanto em salas de aula como no cotidiano das pessoas.

6 Referências

AGUIRRE, L. A. et. al. **Enciclopédia de Automática Controle Automação**. 1. ed. São Paulo: Blücher, 2007.

AL-BUSAIDI, A. M. **Development of an Educational Enviroment for Online Control of a Biped Robot using MATLAB and Arduino**. 2012. Department of Mechanical and Industrial Engineering, College of Engineering, Sultan Qaboos University, Oman.

ARAÚJO, Denise Lino de et al. **O que é (e como faz) sequência didática? Entrepalavras**, Fortaleza, p. 322-334, jul. 2013. Disponível em: <http://www.entrepalavras.ufc.br/revista/index.php/Revista/article/view/148>. Acesso em: 4 abr. 2022.

ARDUINO, G. **Arduino Uno Rev3**. 2022. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/>>. Acessado em 3 jun. 2022.

BEGA, E. A. et. al. **Instrumentação Industrial**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

BORGES, Matheus Melo et al. **Sistema Didático para aplicação de técnicas de Controle**. 2016. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Automação Industrial, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais Unidade Araxá, Araxá, 2016. Disponível em: <https://www.eng-automacao.araxa.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/152/2018/01/Trabalho-de-Conclus%C3%A3o-de-Curso-Matheus-Melo-Borges-vers%C3%A3o-final.pdf>. Acesso em: 4 abr. 2022.

BRAGA (org), J. C. **Objetos de aprendizagem, volume 1: introdução e fundamentos**. Santo André: UFABC, 2014.

CHEETAH E-RACING. **Controle PID com Arduino**. Maker Hero, S.I., 29 dez. 2022. Disponível em: <https://www.makerhero.com/blog/controle-pid-com-arduino/>: :text=O %20algo-

ritmo%20de%20%20PID,afetem%20a%20din%C3%A2mica%20do%20sistema. Acesso em: 2 maio 2023.

CONTROLE PID Arduino - vídeo 1. Direção de Bruno Ranieri. S.I.: Bruno Ranieri - Projetos Eletrônicos, 2021. (27 min.), son., color. Legendado. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=LZkGY5ILMUM>. Acesso em: 2 maio 2023.

CONTROLE PID Arduino - vídeo 2. Direção de Bruno Ranieri. S.I.: Bruno Ranieri - Projetos Eletrônicos, 2021. (21 min.), son., color. Legendado. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ILj0K7zuYS8>. Acesso em: 2 maio 2023.

CONTROLE PID Arduino - vídeo 3. Direção de Bruno Ranieri. S.I.: Bruno Ranieri - Projetos Eletrônicos, 2021. (13 min.), son., color. Legendado. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=Zp_0ISnAmbl. Acesso em: 2 maio 2023.

DOLZ, Joaquim; NOVERRAZ, Michèle; SCHNEUWLY, Bernard. **Sequências didáticas para o oral e a escrita: apresentação de um procedimento**. In: SCHNEUWLY, B.; DOLZ, J. e colaboradores. Gêneros orais e escritos da escola. Tradução de Roxane Rojo e Glaís Sales Cordeiro. Campinas: Mercado de Letras, 2004. p. 81-108.

ELETROGATE. **O que é Arduino: Para que Serve, Vantagens e como Utilizar**. Eletrogate, S.I., 08 set. 2022. Disponível em: <https://blog.eletrogate.com/o-que-e-arduino-para-que-serve-vantagens-e-como-utilizar/>. Acesso em: 25 abr. 2023.

JARDIM, Izaac Vieira. **Sistema Didático de Controle de Nível em Tanques Acoplados**. 2019. 79 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2019. Disponível em: https://ele.ufes.br/sites/engenhariaeletrica.ufes.br/files/field/anexo/projeto_de_graduacao_ii_-_izaac_vieira_jardim.pdf. Acesso em: 10 maio 2022.

MANSUR, Daniel Redinz. **Desenvolvimento do Pensamento Computacional nas aulas de Matemática: Uma pesquisa bibliográfica para elaboração de Sequência Didática utilizando como ferramenta o Arduino**. 2022. 121 f. TCC (Graduação) - Curso de Li-

cenciatura em Matemática, Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/1742>. Acesso em: 4 abr. 2022.

MAYA, P.A. **Controle Essencial**. 2.ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2014.

MORAES, Marcelo. Controle de Luminosidade com Arduino PID. **Arduino By Myself**, S.I., 26 abr. 2013. Disponível em: <https://arduinobymyself.blogspot.com/2013/04/controle-de-luminosidade-com-arduino-pid.html>. Acesso em: 7 maio 2023.

NISE, N. S. **Engenharia de sistemas de controle**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. 5. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2010.

SILVA, Rodolfo Pacheco da. **Introdução à Identificação de Sistemas utilizando o System Identification Toolbox do MATLAB em conjunto com o Arduino para o Laboratório de Controle Linear Guaratinguetá – SP 2015**. 2015. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/139211?show=full>. Acesso em: 4 abr. 2022.

Apêndices

APÊNDICE A – Sequência Didática

Dados Gerais	
Título:	Projeto de um Controlador Proporcional Integral Derivativo (PID) com Arduino.
Público Alvo:	Alunos de Engenharia de Computação e professores que ensinam Controle de Sistemas Dinâmicos.
Problematização:	Uma boa formação de profissionais, independentemente da área, é de suma importância para o mercado de trabalho. Os engenheiros possuem diversas áreas de atuação na sociedade e seus feitos afetam diretamente a população. Por isso, é de suma importância que, durante o período de formação, eles absorvam o máximo de informações possíveis para que estejam preparados para atuar de maneira eficaz na profissão. Dessa forma, a estrutura didática e laboratorial das instituições que formam esses profissionais deve ser suficientemente qualificada para ajudá-lo a desenvolver suas habilidades e ter um contato mais próximo com dados reais e com o mercado de trabalho no qual será inserido futuramente. É comum que estudantes de engenharia tenham dificuldades para compreender a necessidade de uma base teórica forte pra ser utilizada na prática, em ambientes de simulação do mercado ou mesmo o próprio ambiente de trabalho. Por isso, este trabalho visa como motivação auxiliar na compreensão de sistemas de Controle de Sistemas de Dinâmicos, com a inserção da ferramenta Arduino. Também, aumentar o contato desses estudantes com dados mais próximos à realidade e incentivar no estudo de disciplinas de difícil compreensão. A partir do ano de 2020, com a pandemia, estabeleceu-se uma nova modalidade de estudos no Brasil e no mundo. Nesse processo, o uso das tecnologias foram fundamentais para o processo de ensino e aprendizagem nas instituições de ensino. O modelo inicialmente adotado foi o remoto, e com a amenização dos casos, o ensino migrou para o formato híbrido. Com isso, as aulas online se tornaram uma opção para que os educadores continuassem a cumprir seus papéis mesmo em situações inesperadas. Nesta sequência didática proposta, é mostrado uma metodologia de ensino adaptável ao modelo híbrido com interação entre alunos e professores, também entre alunos e o objeto de aprendizagem Arduino.
Objetivo Geral:	O objetivo geral deste trabalho é propor uma sequência didática de aula laboratorial para o auxílio do ensino do projeto Controlador PID (Proporcional Integral Derivativo) da disciplina de Controle de Sistemas Dinâmicos ministrada pela Prof ^a Viviane Cota nas turmas de Engenharia de Computação do CEFET-MG Campus Timóteo. Para a aquisição de dados de entrada de um sistema de controle será utilizada a plataforma Arduino com programação em linguagem C++.

Conteúdo:	• Teoria de controle; • Introdução ao Arduino; • Montagem do projeto Controlador PID; • Análise do projeto Controlador PID; • Apresentação do projeto.
Competências e Habilidades:	• Conceber, projetar e analisar sistemas, produtos (bens e serviços), componentes ou processos; • Ser capaz de conceber e projetar soluções criativas, desejáveis e viáveis, técnica e economicamente, nos contextos em que serão aplicadas; • Projetar e determinar os parâmetros construtivos e operacionais para as soluções de Engenharia; • Aplicar conceitos de gestão para planejar, supervisionar, elaborar e coordenar projetos e serviços de Engenharia; • Gerenciar projetos e manter sistemas de computação; • Realizar estudos de viabilidade técnico-econômica; • Comunicar-se eficazmente nas formas escrita, oral e gráfica, e ser capaz de expressar-se adequadamente, seja na língua pátria ou em idioma diferente do Português, inclusive por meio do uso consistente das tecnologias digitais de informação e comunicação (TDICs), mantendo-se sempre atualizado em termos de métodos e tecnologias disponíveis; • Ser capaz de interagir com as diferentes culturas, mediante o trabalho em equipes presenciais ou a distância, de modo que facilite a construção coletiva; • Atuar, de forma colaborativa, ética e profissional em equipes multidisciplinares, tanto localmente quanto em rede; • Gerenciar projetos e liderar, de forma proativa e colaborativa, definindo as estratégias e construindo o consenso nos grupos; • Reconhecer e conviver com as diferenças socioculturais nos mais diversos níveis em todos os contextos em que atua (locais e globais); • Preparar-se para liderar empreendimentos em todos os seus aspectos de produção, de finanças, de pessoal e de mercado; • Planejar, especificar, projetar, implementar, testar, verificar e validar sistemas de computação (sistemas digitais), incluindo computadores, sistemas baseados em microprocessadores, sistemas de comunicações e sistemas de automação, seguindo teorias, princípios, métodos, técnicas e procedimentos da Computação e da Engenharia.
Materiais:	• Computador com acesso à internet; • Webcam e microfone; • Kit Arduino.

Duração:	13h20.
Avaliação:	Participação nas aulas e apresentação do projeto final.
Referencial:	BORGES, Matheus Melo et al. Sistema Didático para aplicação de técnicas de Controle. 2016. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Automação Industrial, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais Unidade Araxá, Araxá, 2016. Disponível em: https://www.eng-automacao.araxa.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/152/2018/01/Trabalho-de-Conclus%C3%A3o-de-Curso-Matheus-Melo-Borges-vers%C3%A3o-final.pdf. Acesso em: 4 abr. 2022. JARDIM, Izaac Vieira. Sistema Didático de Controle de Nível em Tanques Acoplados. 2019. 79 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2019. Disponível em: https://ele.ufes.br/sites/engenhariaeletrica.ufes.br/files/field/anexo/projeto_de_graduacao_ii_-_izaac_vieira_jardim.pdf. Acesso em: 10 maio 2022. MANSUR, Daniel Redinz. Desenvolvimento do Pensamento Computacional nas aulas de Matemática: Uma pesquisa bibliográfica para elaboração de Sequência Didática utilizando como ferramenta o Arduino. 2022. 121 f. TCC (Graduação) - Curso de Licenciatura em Matemática, Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, 2022. Disponível em: https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/1742. Acesso em: 4 abr. 2022. SILVA, Rodolfo Pacheco da. Introdução à Identificação de Sistemas utilizando o System Identification Toolbox do MATLAB em conjunto com o Arduino para o Laboratório de Controle Linear Guaratinguetá – SP 2015. 2015. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/handle/11449/139211?show=full. Acesso em: 4 abr. 2022.
Bibliografia consultada:	MAYA, P.A. Controle Essencial. 2.ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2014. NISE, N. S. Engenharia de sistemas de controle. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. OGATA, K. Engenharia de Controle Moderno. 5. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2010. ARDUINO, G. Arduino Uno Rev3. 2022. Disponível em: <https://www.arduino.cc/>. Acessado em 3 jun. 2022. BEGA, E. A. et. al. Instrumentação Industrial. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

Aula 1		
Problematização inicial	Duração: 1h40	Presencial/Online
Objetivos Específicos:	Abordagem teórica sobre Controle de sistemas assim como suas variações.	
Conteúdos:	• Sistemas de Controle; • Controle Proporcional; • Controle Integral; • Controle Proporcional Integral; • Controle Proporcional Derivativo.	
Dinâmicas:	• Aula expositiva de conteúdo teórico com apresentação dos tipos de controle; • Discussão entre os alunos e professores; • Tira dúvidas.	
Detalhamento da aula		
No primeiro momento, será projetada uma apresentação de slides pelo professor e o mesmo abordará o assunto sobre a teoria inicial de sistemas de controle, bem como os controles integrais, proporcionais e seus complementos. A apresentação se encontra no APÊNDICE B. Será detalhada a formação da função de transferência para cada controle, assim como seus tipos de erros. Além disso, professores e alunos discutirão sobre os assuntos abordados.		

Aula 2		
Problematização inicial	Duração: 1h40	Presencial/Online
Objetivos Específicos:	Abordagem teórica sobre Controle PID.	
Conteúdos:	• Controlador PID; • Controle de derivativos; • Exemplo de PID na vida real; • Vantagens e desvantagens do controle PID; • Métodos de ajustamento.	
Dinâmicas:	• Aula expositiva de conteúdo teórico com apresentação do controle PID; • Discussão entre os alunos e professores; • Tira dúvidas.	
Detalhamento da aula		
No primeiro momento, será projetada uma apresentação de slides pelo professor e o mesmo abordará o assunto sobre a teoria de controle PID e suas características, bem como seus cálculos e comportamentos de controle. A apresentação se encontra no APÊNDICE B. Será detalhada a formação da função de transferência, exemplos reais do controle na nossa vida, vantagens e desvantagens de seu uso e métodos de ajustamento para uma resposta com erros minimizados. Além disso, professores e alunos discutirão sobre os assuntos abordados.		

Aula 3		
Problematização inicial	Duração: 1h40	Presencial/Online
Objetivos Específicos:	Abordagem teórica sobre o microcontrolador e suas funções principais.	
Conteúdos:	• O que é um Microcontrolador Arduino; • Características; • Componentes do Arduino;	
Dinâmicas:	• Aula expositiva de conteúdo teórico com apresentação do microcontrolador Arduino; • Contato inicial dos alunos com os componentes; • Tira dúvidas.	
Detalhamento da aula		
No primeiro momento, será projetada um apresentação de slides pelo professor e o mesmo abordará o assunto sobre a introdução do microcontrolador Arduino.		
A apresentação se encontra no APÊNDICE C.		
Será o primeiro contato da turma com o Arduino e seus componentes, será detalhado os componentes principais para a montagem de um projeto de controlador PID, suas funcionalidades.		

Aula 4		
Problematização inicial	Duração: 1h40	Presencial
Objetivos Específicos:	Exemplo de implementação do Microcontrolador Arduino, sinal de trânsito.	
Conteúdos:	• Explicação sobre montagem do Arduino; • Montagem do circuito; • Criação da lógica computacional;	
Dinâmicas:	• Explicação do funcionamento do sinal de trânsito; • Montagem do circuito eletrônico com os componentes e programação; • Análise do comportamento do sistema.	
Detalhamento da aula		
No primeiro momento, será projetada uma apresentação de slides pelo professor e o mesmo mostrará o exemplo da montagem de um sistema de sinalização de trânsito com os componentes do Arduino e LEDs. A apresentação se encontra no APÊNDICE C. Será uma implementação de exemplo para os alunos começarem a se familiarizar com o microcontrolador, seus componentes, ligações e IDE de programação. Após a montagem haverá a análise do comportamento do sistema e discussão entre os alunos e o professor. Cada grupo de alunos (quantidade de alunos varia de acordo com a quantidade total no dia da aula) receberá um kit Arduino com os seguintes componentes: - 1 Protoboard; - 1 Placa Arduino UNO; - 1 fonte USB para alimentação; - 1 LED vermelho; - 1 LED amarelo; - 1 LED verde; - 3 resistores de 150ohms; - Jumps;		

Aula 5		
Problematização inicial	Duração: 1h40	Presencial
Objetivos Específicos:	Montagem do projeto de Controlador PID com Arduino.	
Conteúdos:	• Explicação sobre montagem do Arduino para o controlador PID; • Montagem do circuito; • Criação da lógica computacional;	
Dinâmicas:	• Explicação do funcionamento do controle PID e PID Library; • Montagem do circuito eletrônico com os componentes e programação; • Análise do comportamento do sistema.	
Detalhamento da aula		
A sala será dividida em grupos de alunos, dependendo da quantidade de presentes no dia. O professor auxiliará cada grupo com a montagem do projeto. Será distribuído um kit de Arduino para cada grupo contendo os seguintes componentes: - 1 Protoboard; - 1 Placa Arduino UNO; - 1 Fonte USB para alimentação; - 1 LED (vermelho/branco/amarelo); - 1 Resistor de 150ohms; - 1 Resistores de 10kohms; - 1 Sensor LDR; - 1 potenciômetro B10K; - Jumps; Os alunos, com o auxílio do professor montarão o circuito baseado no esquema e lógica apresentados no APÊNDICE D.		

Aula 6		
Problematização inicial	Duração: 1h40	Presencial
Objetivos Específicos:	Análise do projeto de Controlador PID com Arduino e Plotter Serial.	
Conteúdos:	• Finalização da montagem do projeto controlador PID; • Análise do comportamento do sistema pelo Plotter Serial; • Ajustes das constantes para melhor controle;	
Dinâmicas:	• Explicação do funcionamento do controle PID e PID Library; • Montagem do circuito eletrônico com os componentes e programação; • Análise do comportamento do sistema.	
Detalhamento da aula		
Continuação da montagem do projeto Controlador PID com Arduino.		
Nessa aula, haverá a finalização do projeto com a ajuda do professor. Também, analisar o comportamento do controlador pelo Plotter Serial do Arduino, bem como a sintonia das constantes no código para entender os valores que minimizam o erro do sistema.		
Professor irá discutir com os alunos sobre o comportamento ideal do projeto e tirar dúvidas.		

Aula 7		
Problematização inicial	Duração: 1h40	Presencial
Objetivos Específicos:	Apresentação do Projeto Controlador PID com Arduino.	
Conteúdos:	• Apresentação do projeto final do Controlador Arduino por parte dos alunos; • Análise do comportamento do sistema pelo Plotter Serial;	
Dinâmicas:	• Explicação da montagem do projeto em grupo; • Teste ao vivo com a turma; • Análise do comportamento do controlador de acordo com as constantes.	
Detalhamento da aula		
Nesse momento, cada grupo será responsável por montar uma apresentação de slide para apresentar em sala de aula como foi a montagem do projeto, explicar os componentes usados, método de sintonia e comportamento do Sistema para a turma.		

Aula 8		
Problematização inicial	Duração: 1h40	Presencial
Objetivos Específicos:	Apresentação do Projeto Controlador PID com Arduino.	
Conteúdos:	• Apresentação do projeto final do Controlador Arduino por parte dos alunos; • Análise do comportamento do sistema pelo Plotter Serial;	
Dinâmicas:	• Explicação da montagem do projeto em grupo; • Teste ao vivo com a turma; • Análise do comportamento do controlador de acordo com as constantes.	
Detalhamento da aula		
Nesse momento, cada grupo será responsável por montar uma apresentação de slide para apresentar em sala de aula como foi a montagem do projeto, explicar os componentes usados, método de sintonia e comportamento do Sistema para a turma. Nessa aula, também, será realizada uma discussão sobre o andamento da matéria com a realização do projeto com Arduino, receber feedbacks dos alunos e observações. Rever os tópicos estudados na sequência didática e o professor deve entender se os alunos conseguiram compreender os assuntos abordados nas aulas de forma clara e dinâmica.		

APÊNDICE B – Slides Aula 1 - Controle PID



Controlador Integral Proporcional Derivativo (PID)

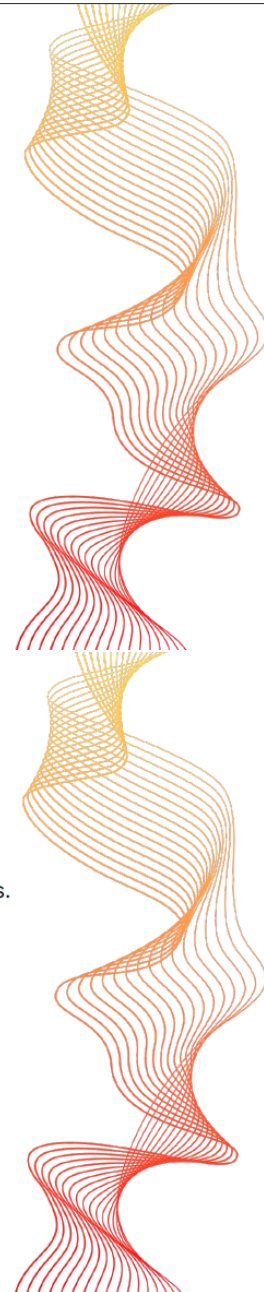
Disciplina: Controle de Sistemas Dinâmicos



Sistemas de Controle

Os sistemas de controle fazem parte da sociedade desde os tempos antigos. Eles representam um marco no desenvolvimento da engenharia. O primeiro sistema de controle automático foi um controlador centrífugo desenvolvido por James Watt no século XVIII para controlar a velocidade de uma máquina a vapor (OGATA, p.1, 2010).

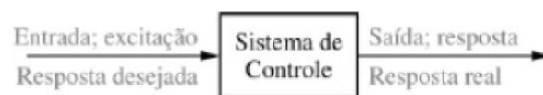
"Um sistema de controle consiste em subsistemas e processos (ou plantas) construídos com o objetivo de se obter uma saída desejada com um desempenho desejado, dada uma entrada especificada."(NISE, p.2, 2011).





Sistemas de Controle

De acordo com a figura abaixo, um sistema de controle recebe dados de entrada, também considerado estímulo ou resposta desejada e possui como saída a resposta real (NISE, p.2, 2011).

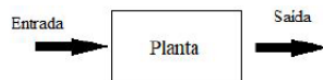


Fonte: NISE, 2011.

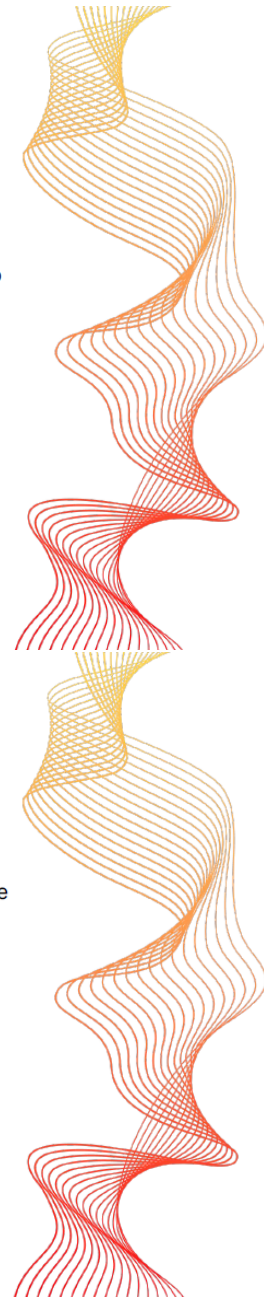


Sistemas de Controle

Parte de um equipamento ou uma junção de componentes que funcionam de maneira integrada em uma máquina controlada com o objetivo de realizar uma determinada operação é a definição de planta para (OGATA, p.1, 2010).



Fonte: Própria baseado em (OGATA, 2010).





Sistemas de Controle

Sistemas de controle em malha aberta são sistemas em que o valor de saída não é referenciado, ou seja, não possui efeito para a ação de controle no sistema. Ou seja, em um sistema em malha fechada, o valor de saída não é medido e não é realimentado para poder haver comparação com o valor de entrada (OGATA, p.6, 2010).

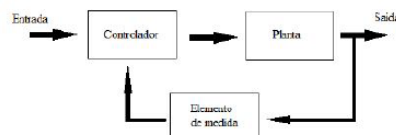


Fonte: Própria baseado em (OGATA, p.7, 2010).



Sistemas de Controle

Um sistema de controle em malha fechada é um sistema que o sinal de saída interfere diretamente na ação de controle do sistema. Ou seja, um sistema em malha fechada é um sistema realimentado pelo sinal de erro (OGATA, p.4, 2010). O sinal de erro é calculado pela diferença do valor de referência (set point) com o valor real medido na saída do processo. O objetivo é que o valor do erro seja reduzido à medida em que o sistema seja controlado por meio de ações de controle (NISE, p.8, 2011).



Fonte: Própria baseado em (OGATA, p.7, 2010).



Sistemas PID

O controle de sistemas dinâmicos são muito utilizados no ramo industrial atualmente. E para uma melhor aplicação, utiliza-se controles do tipo PID. Esse tipo de controle é muito aplicado a modelos matemáticos quando o mesmo de uma planta é desconhecido e os métodos convencionais e analíticos não são de fácil resolução (OGATA, p.557, 2010).

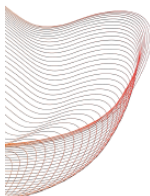
O controle PID utiliza de técnicas proporcionais, integrais e derivativas com o objetivo de minimizar o erro pelo controle proporcional, zerar o mesmo pelo controle integral e aumentar a velocidade de reação pela constante derivativa (OGATA, p.557, 2010).



Controle Proporcional (P)

O controlador proporcional é caracterizado por atuar em proporção ao erro. Entretanto, quando esse tipo de controlador possui uma má regulação é gerado um erro estacionário (residual). Em um controlador proporcional, a relação entre a saída e o erro atuante é definida pela seguinte equação, segundo (OGATA, p.20, 2010):

$$u(t) = Kp e(t)$$



Ao aplicar a transformada de Laplace na equação anterior, obtém-se:

$$U(s)/E(s) = Kp$$

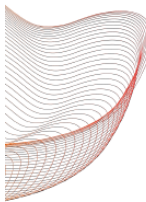


Controle Integral (I)

O controlador integral é considerado um aperfeiçoamento do controle proporcional, pois ele elimina o erro estacionário do sistema com entrada em degrau, entretanto, isso não elimina o erro residual (OGATA, p.197, 2010).

Para um controlador com ação integral, temos uma mudança proporcional no valor de saída relacionado ao erro real. Ou seja (OGATA, p.21, 2010):

$$du(t)/dt = Kie(t)$$



Dessa forma, aplicando a transformada de Laplace obtém-se a função de transferência do controlador integral:

$$U(s)/E(s) = Ki/s$$

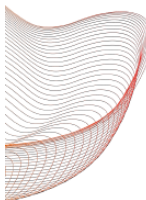


Controle Proporcional Integral (PI)

De forma análoga vista na seção anterior a função de transferência para o controlador integral segundo OGATA (p.21, 2010):

$$U(s)/E(s) = Kp(1 + 1/Tis)$$

Sendo Ti o tempo integrativo.





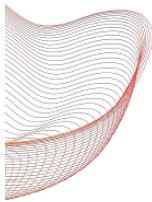
Controle Proporcional Derivativo (PD)

O papel do controle derivativo quando adicionado a um controlador proporcional permite que o sistema obtenha um controlador de alta sensibilidade. Os benefícios de usar o efeito do controle diferencial é responder rapidamente à taxa de variação do erro aplicado. Portanto, esse tipo de controle pode prever erros operacionais e iniciar as ações corretivas esperadas antes que o erro fique muito alto (OGATA, p.21, 2010).

A função de transferência desse tipo de controlador segundo OGATA (p.21, 2010) é:

$$U(s)/E(s) = K_p(1 + T_d s)$$

Sendo T_d o tempo derivativo.



Controle Proporcional Integral Derivativo (PID)

A combinação de controle proporcional, controle integral e ações de controle derivativo é conhecida como ação de controle da Derivada Integral Proporcional (PID). Com esta combinação, as vantagens individuais de cada uma das três ações de controle são obtidas (OGATA, p.21, 2010).

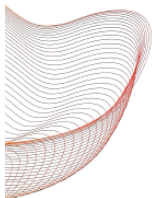
O controlador PID permite controlar qualquer grandeza física que possa ser medida e que possua um atuador para permitir as alterações que a estabilize em um valor ideal. A equação do controlador com a junção das três ações de controle é dada (OGATA, p.21, 2010):

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \cdot \int_0^t e(t) dt + K_p \cdot T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Portanto, a função de transferência de um controlador PID segundo OGATA (p.21, 2010) é:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

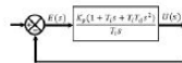
sendo T_d o tempo derivativo e T_i o tempo integrativo.



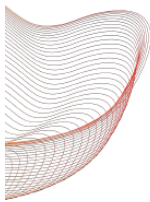


Controle Proporcional Integral Derivativo (PID)

O diagrama de blocos de um controlador proporcional-integral-derivativo é apresentado na figura a seguir.



Fonte: Própria baseada em OGATA (p.22, 2010).



Controle de Derivativos

O controle de derivadas ajuda a amortecer a resposta de controle e estabilizar o sistema.

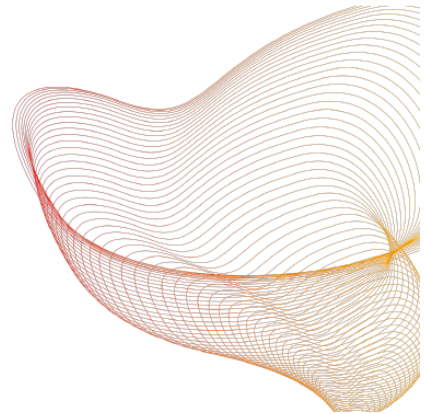
Isso torna o controlador sensível à taxa de mudança do erro e não apenas à magnitude do erro.



Ele é obtido tomando a taxa de variação do erro e adicionando o resultado à saída de controle proporcional.

Controle Integral Proporcional de Derivadas

- 01** O controle PID é amplamente utilizado em aplicações industriais.
- 02** O controle PID combina os controles proporcionais, integrais e derivativos para produzir a saída.
- 03** As constantes de cada controle podem ser ajustadas para melhorar o desempenho do sistema.

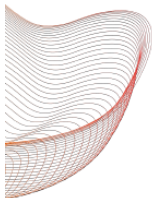


Exemplos de controles PID na vida real

Os controladores PID são usados em sistemas de controle de temperatura, vazão e pressão.

Eles também são usados em sistemas de piloto automático de aeronaves e sistemas de controle de robôs.

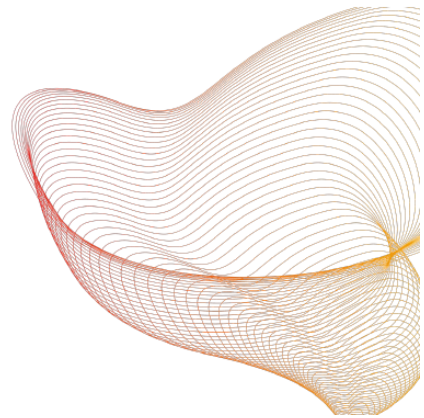
Os controladores PID são amplamente utilizados no controle de processos industriais.





Vantagens de usar o PID Control

- O controle PID é fácil de entender e implementar.
- É amplamente utilizado e tem uma grande comunidade de pesquisadores e praticantes.
- O controle PID é versátil e pode ser aplicado a uma ampla gama de sistemas.



Desvantagens do uso do PID Control

O controle PID não funciona bem para sistemas com dinâmica variável no tempo.

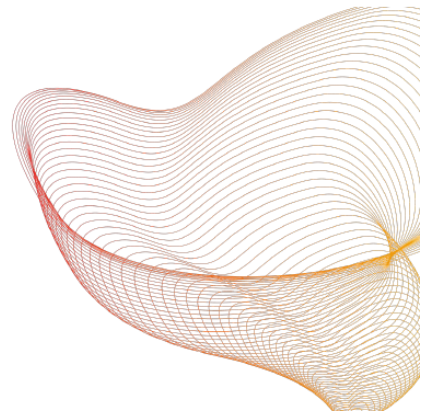
O controle PID pode ser difícil de ajustar para sistemas altamente não-lineares.



O ajuste constante dos ganhos PID é necessário para um desempenho ideal.

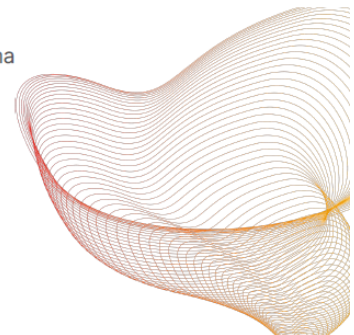
Métodos de ajustamento

- 01** Cada método tem suas próprias vantagens e desvantagens.
- 02** Existem vários métodos para ajustar os ganhos da IDP.
- 03** Esses métodos incluem o método de Ziegler-Nichols, tentativa e erro e análise de resposta em frequência.



Conclusão

- Esta apresentação forneceu um resumo do conceito inicial, explicação das constantes e comportamento do gráfico, vantagens e desvantagens do uso do controle.
- Todos os textos e imagens foram referenciados.
- Esta apresentação também forneceu uma explicação do controle proporcional, controle integral e controle derivado, seguido por uma explicação dos três controles trabalhando juntos.
- Exemplos de controles de IDP na vida real foram fornecidos.
- Finalmente, métodos de ajustes foram sugeridos.
- Obrigado pela atenção!



APÊNDICE C – Slides Aula 2 - Introdução ao Microcontrolador Arduíno



Introdução ao Microcontrolador Arduino

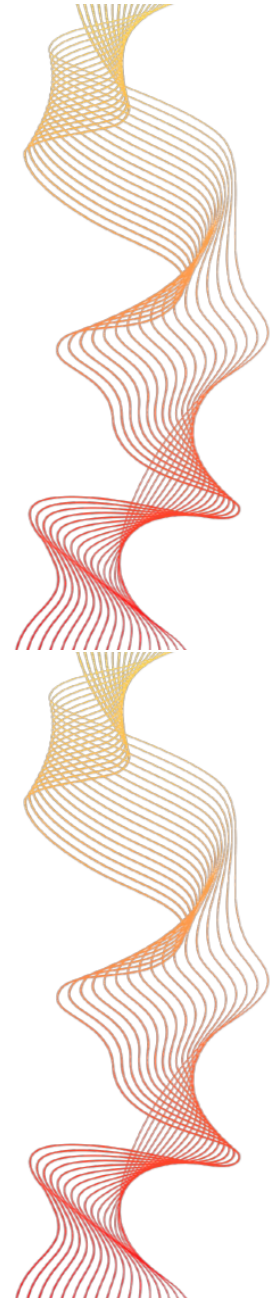


Microcontrolador Arduino

O Arduino é uma plataforma de código aberto que projeta, fabrica e suporta softwares eletrônicos de forma simples e de fácil aprendizagem. Faz com que serviços tecnologicamente avançados interajam com o mundo físico (Arduino.cc).

O Arduino quebrou a barreira que existe entre programação, design e eletrônica com o mundo real. Pode ser utilizado para criar produtos do cotidiano até cientificamente mais complexos(Arduino.cc).

É de baixo custo e de fácil implementação.



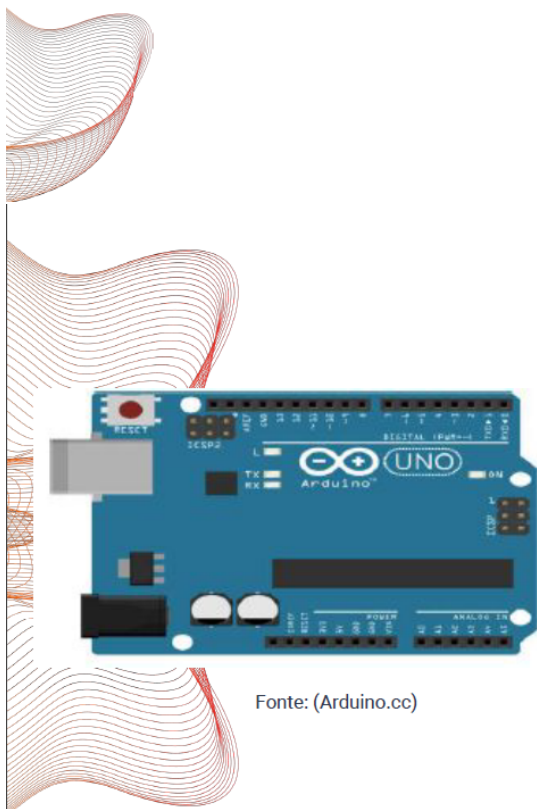


O que é um Microcontrolador Arduino?

Arduino Microcontroller é uma plataforma eletrônica open-source

É de baixo custo e fácil de usar

Você pode criar uma variedade de projetos eletrônicos usando esta plataforma

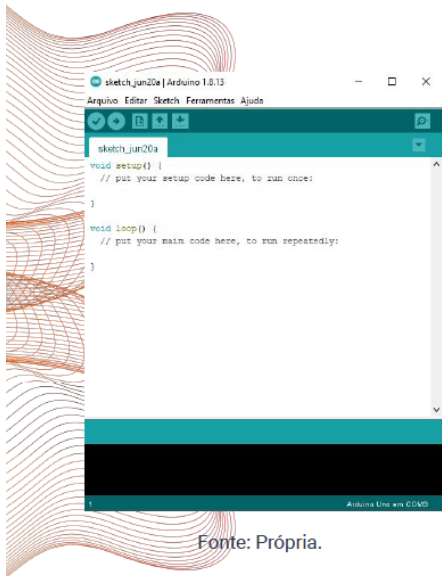


Fonte: (Arduino.cc)

Características do Microcontrolador Arduino

Cada placa de Arduino possui a capacidade de ler entradas, sendo elas digitais ou analógicas, como por exemplo, a luminosidade através de um sensor, um botão acionado pelo dedo, ou até mesmo mensagens instantâneas via internet (Arduino.cc).

A figura mostra uma placa de Arduino UNO, esse tipo de placa é um dos mais usados pelo baixo custo e facilidade de manipulação. Essa placa possui pinos de entradas analógicas e digitais, entre outros. Para alimentação, ela utiliza a porta USB.



Fonte: Própria.

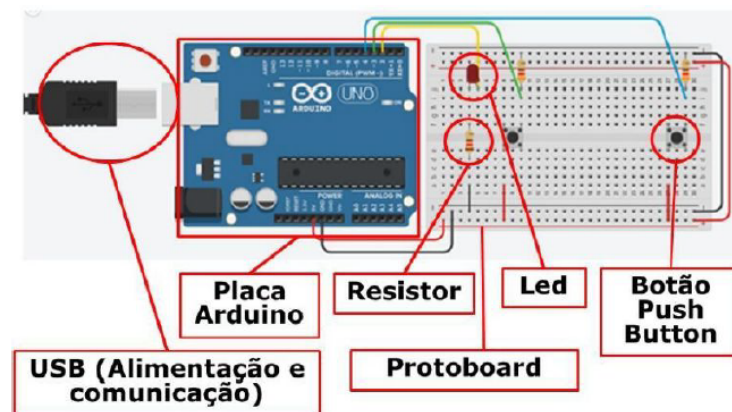
Características do Microcontrolador Arduino

Para o processamento é utilizado o software Arduino. A linguagem utilizada na interface de desenvolvimento é C++, ela é simples, compacta e de fácil adaptação. Na figura abaixo mostra o software Arduino pronto para ser inicializado.

Ele possui duas funções necessárias para sua compilação, void setup() onde deve ser programado os códigos de inicialização do sistema, esse código será lido apenas uma vez. Possui também a função void loop() onde será introduzido o código principal que será repetido em forma de loop de acordo com a lógica descrita no programa.

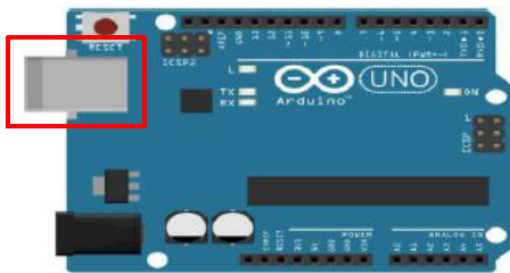


Componentes do Microcontrolador Arduino



Fonte: Mansur, 2022.

Componentes do Microcontrolador Arduino

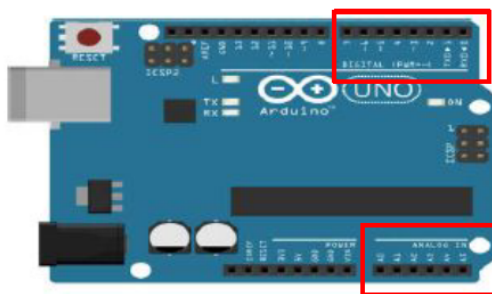


Fonte: (Arduino.cc).

A placa Arduino é uma placa de circuito impresso com microcontroladores, pinos de entrada e saída e alimentação. Possui software livre para programação (MANSUR, 2022).

A entrada USB alimenta a placa com 5V e faz comunicação de dados com o computador (MANSUR, 2022).

Componentes do Microcontrolador Arduino



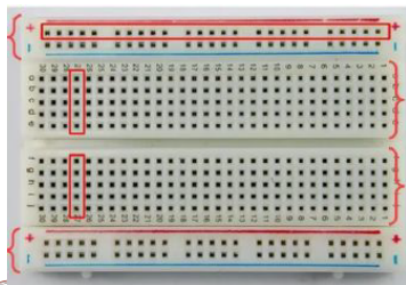
Fonte: (Arduino.cc).

Pinos Digitais: alternam a tensão entre 0 (Low) e 1 (High), podem ser entrada ou saída (MANSUR, 2022).

Pinos Analógicos: aceitam a tensão de 0 a 5V e funcionam apenas como entrada. Convertem a tensão lida em valor de 10 bits (MANSUR, 2022).



Componentes do Microcontrolador Arduino



Fonte: MANSUR, 2022.

“A protoboard é a placa utilizada para conectar os componentes.

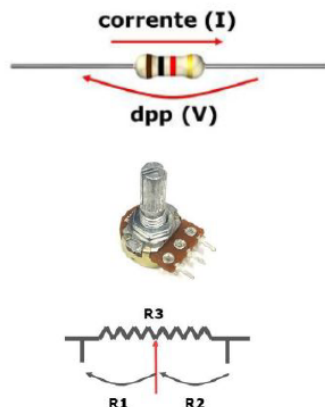
As trilhas superiores e inferiores são contínuas horizontalmente.

As trilhas centrais são contínuas verticalmente.”

(MANSUR, 2022).



Componentes do Microcontrolador Arduino

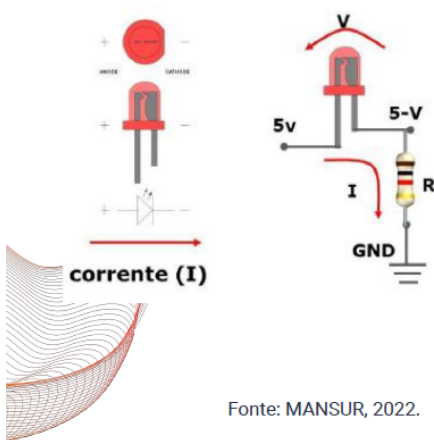


Fonte: MANSUR, 2022.

“Um resistor é um componente que se opõe à passagem de corrente. A resistência de um resistor é medida em Ohms, representado pela letra grega Ω . Por analogia da água ele seria como um cano mais fino que dificulta a passagem da água.

O potenciômetro é um resistor variável. Conforme giramos o potenciômetro para um lado ou para o outro, variamos a resistência entre o pino central e os pinos da extremidade.” (MANSUR, 2022).

Componentes do Microcontrolador Arduino



“Um LED é um diodo emissor de luz. Isso significa que ele tem as propriedades de um diodo, além da capacidade de liberar luz própria, como uma pequena lâmpada. Ele é um semicondutor e a perna mais comprida é a positiva, a menor é negativa.

O LED deve ser ligado com um resistor em série para limitar a corrente e não queimá-lo.” (MANSUR, 2022).

Fonte: MANSUR, 2022.

Componentes do Microcontrolador Arduino

Lei de Ohm: $V = R \cdot I$

$$5 - 2 = R \cdot 0,02$$

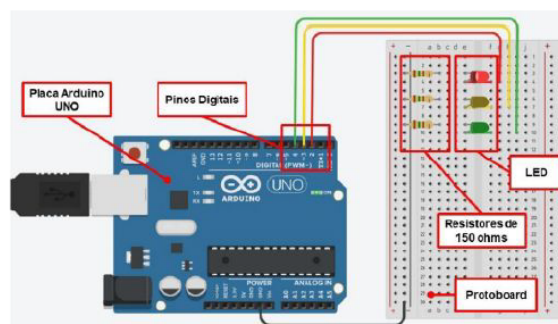
$$R = 3 / 0,02 = \mathbf{150 \text{ ohm}}$$

Quanto maior,
menos brilho

Cor do led	Faixa de tensão	Corrente máxima
Vermelho	1,8 V - 2,0 V	20 mA
Amarelo	1,8 V - 2,0 V	20 mA
Laranja	1,8 V - 2,0 V	20 mA
Verde	2,0 V - 2,5 V	20 mA
Azul	2,5 V - 3,0 V	20 mA
Branco	2,5 V - 3,0 V	20 mA

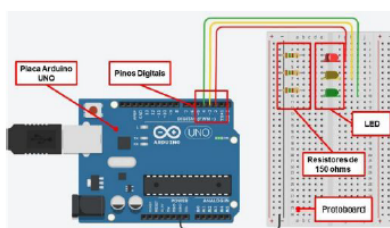
Fonte: MANSUR, 2022.

Exemplo de implementação do Microcontrolador Arduino



Fonte: MANSUR, 2022.

Exemplo de implementação do Microcontrolador Arduino



Fonte: MANSUR, 2022.

“Para a construção desse circuito serão utilizados 3 LEDs e 3 Resistores.

Os resistores simulam os sinais vermelho, verde e amarelo. O terminal Anodo de cada LED será ligado em uma saída digital do Arduino. O terminal Catodo de cada LED será ligado a um terminal do resistor de 220 ohms. O outro terminal de cada resistor será ligado ao GND da placa. O resistor é necessário para limitar a corrente que circulará pelo LED evitando a sua queima. Cada LED tem uma corrente máxima que suporta, por isso não podemos ligar os 5V direto no LED. Lembrando que $I = V/R$. Como a resistência do LED é muito baixa, a corrente será alta. Colocando um resistor de 220 ohms em série com o LED teremos uma corrente $I = 5/220 = 22,7\text{mA}$ aproximadamente.” (MANSUR, 2022).



Exemplo de implementação do Microcontrolador Arduino

"Após determinado tempo (5s), o pino 4 é definido como BAIXO, ou seja, 0V, desligando o LED verde. Além disso, definimos o pino 3 como ALTO, ou seja, 5V, acendendo o LED amarelo". (MANSUR, 2022).

"Após 5 segundos o LED verde apaga e o programa volta para o início, mantendo-se em LOOP até interrompermos o funcionamento do circuito." (MANSUR, 2022).



"Define o pino 4 como ALTO, o que significa conectar ao LED verde uma tensão de 5V, o que fará com que o LED acenda." (MANSUR, 2022).

"Transcorridos 2 segundos, o pino 3 é definido como BAIXO, desligando o LED amarelo, e o pino 4 é definido como ALTO, acendendo o LED verde." (MANSUR, 2022).

Fonte: MANSUR, 2022.



Exemplo de implementação do Microcontrolador Arduino

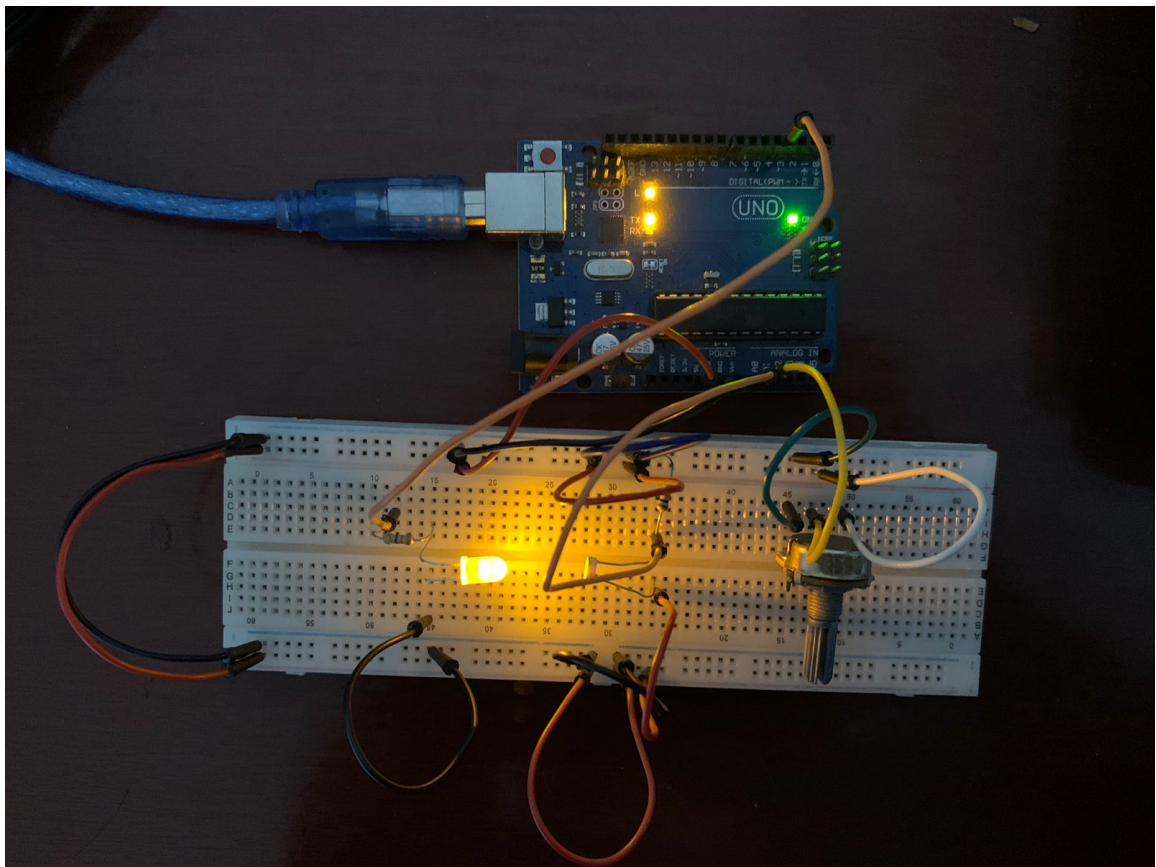
"A programação seguirá a seguinte lógica: defino o pino 2 como ALTO, o que significa conectar ao LED vermelho uma tensão de 5V o que fará com que o LED vermelho acenda. Os demais pinos estão BAIXO, ou seja, com 0V, o que os deixam desligados.

Após determinado tempo, que no nosso exemplo são 5 segundos, o pino 2 é definido como BAIXO, ou seja, 0V, desligando o LED vermelho. Além disso, definimos o pino 3 como ALTO, ou seja, 5V, acendendo o LED amarelo.

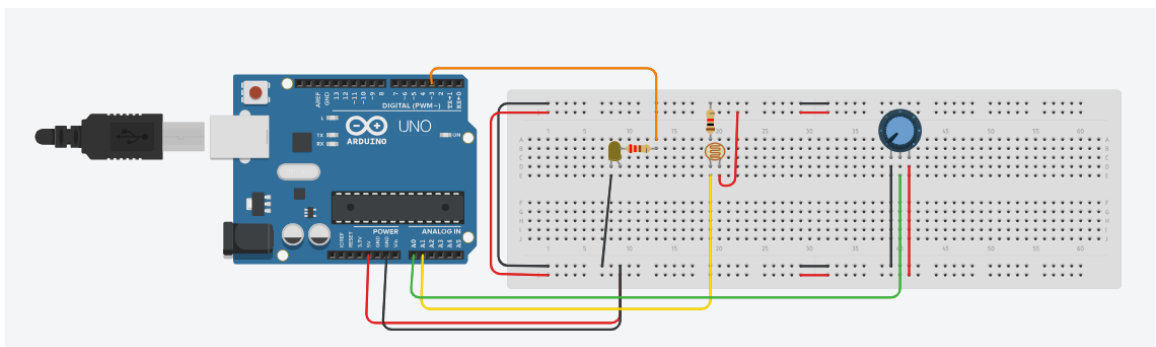
Por último, transcorridos 2 segundos, o pino 3 é definido como BAIXO, desligando o LED amarelo, e o pino 4 é definido como ALTO, acendendo o LED verde. Após 5 segundos o LED verde apaga e o programa retorna ao início, mantendo-se em LOOP até que interrompemos o funcionamento do circuito." (MANSUR, 2022).

APÊNDICE D – Circuito Eletrônico e Algoritmo de controle PID para controle de Luminosidade

Circuito eletrônico para controle de luminosidade:



Fonte: Própria.



Fonte: Própria.

Código-fonte baseado em Raniere, 2021.

```
#include <PID_v1.h>

/*****
 * PID Basic Example
 * Reading analog input 0 to control analog PWM output 3
 *****/

#include <PID_v1.h>

#define PIN_INPUT A1
#define PIN_SETPOINT A0
#define PIN_OUTPUT 3

unsigned long lastSend = 0; // ltimo envio

// Define Variables we'll be connecting to
double Setpoint, Input, Output;

// Specify the links and initial tuning parameters
double Kp=0.15, Ki=0.8, Kd=0.0;
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);

void setup()
{
    //inciando a plotagem serial
    // Serial.begin(115200); // velocidade para enviar para a serial
    pinMode(PIN_INPUT, INPUT);
    pinMode(PIN_SETPOINT, INPUT);
    Serial.begin(115200);

    // initialize the variables we're linked to
    Input = analogRead(PIN_INPUT);
    Setpoint = 100; // setpoint inicial padrao

    // turn the PID on
    myPID.SetMode(AUTOMATIC);
}

void loop()
{
    Input = analogRead(PIN_INPUT); // 0 -> 1024
```

```
Setpoint = analogRead(PIN_SETPOINT); //potenciometro 0 -> 1024
myPID.Compute(); // calculos do controle PID
analogWrite(PIN_OUTPUT, Output); //0 -> 255

if (millis() - lastSend > 100){
  //a cada 100 milisegundo,
  \\envia para a saída as informações para o plotter serial

  lastSend = millis();

  //plotando no gráfico
  Serial.print(Setpoint);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(Input);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(Output);
  Serial.println(" ");

  //delay(500); //Aguarda 250 milissegundos
}
}
```