



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DE COMPUTAÇÃO

**Controle Digital - SEL0620**

# **Controlador Dead-Beat**

Relatório das aulas 9 e 10

**Matheus Henrique Dias Cirillo - 12547750**  
**Gustavo Moura Scarenci de Carvalho Ferreira - 12547792**

**Docente responsável:** Dr. Valdir Grassi Jr.

São Carlos  
2º semestre/2024

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Desenvolvimento</b>	<b>2</b>
2.1	Questão 1 . . . . .	2
2.2	Questão 2 . . . . .	2
2.3	Questão 3 . . . . .	3
2.4	Questão 4 . . . . .	4
2.5	Questão 5 . . . . .	5
	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>6</b>

## 1 Introdução

Este trabalho aborda a implementação e análise de controladores Dead-Beat, conforme as aulas de Controle Digital, ministradas pelo professor Valdir Grassi Jr [1]. O estudo é centrado na configuração de controladores de segunda ordem com períodos de amostragem distintos. Baseado nos critérios específicos de projeto, investigamos o comportamento do erro de regime permanente, tempo de subida, tempo de acomodação e sobressinal, considerando cenários antes e após a introdução de distúrbios no sistema. Através do uso de ferramentas como Simulink e MATLAB, a resposta dos controladores foi avaliada em situações práticas, reforçando conceitos explorados durante as aulas.

## 2 Desenvolvimento

Neste laboratório o grupo irá implementar dois controladores Dead-Beat conforme a especificação dada pela Tabela 1 de acordo com o último dígito do seu grupo. Os grupos pares implementarão dois Dead-Beats, cada um com um período de amostragem diferente, sendo que o primeiro deve produzir uma ação de controle  $u(0)$  ligeiramente inferior a 9.5. Os grupos pares implementarão dois Dead-Beats, sendo que o primeiro é de ordem  $\nu$  e o segundo de ordem  $\nu + 1$ , ambos com a mesma taxa de amostragem, sendo que no primeiro caso a ação de controle  $u(0)$  deve ser ligeiramente inferior a 9.5.

Se necessário altere a taxa de amostragem  $T_0$  para que seja possível implementar ambos os Dead-Beats.

**Tabela 1:** Critérios do controlador Dead-Beat.

Último dígito do Grupo	Critérios
0, 2 e 4	Dead-Beat de ordem $\nu$ para $T_0$ e para $1.33T_0$
1, 3 e 5	Dead-Beat de ordem $\nu$ e Dead-Beat de ordem $\nu + 1$ para $u(0)_{DB(\nu+1)} = 0.7u(0)_{DB(\nu)}$
6, 8	Dead-Beat de ordem $\nu$ para $T_0$ e para $1.22T_0$
7 e 9	Dead-Beat de ordem $\nu$ e Dead-Beat de ordem $\nu + 1$ para $u(0)_{DB(\nu+1)} = 0.8u(0)_{DB(\nu)}$

### 2.1 Questão 1

**Implemente os controladores Dead-Beats conforme especificação para o seu grupo. Se necessário, altere a taxa de amostragem  $T_0$  para ser possível implementar ambos os Dead-Beats. Coloque no relatório a função de transferência discreta da planta, o período de amostragem  $T_0$  utilizado, o critério de projeto para o seu grupo, e os controladores Dead-Beats discretos projetados.**

O critério usado para a implementação dos sistemas foi o de projetar um controlador Dead-Beat de ordem  $\nu$  para  $T_0$  e para  $1,33 \cdot T_0$ , dado que esse é o critério para grupos com último dígito igual a 2 e nosso grupo é o 12, conforme Tabela 1.

Para que a ação de controle  $u(0)$  seja ligeiramente inferior a 9,5V no caso do primeiro controlador, escolheu-se um período de amostragem igual a 0,51 segundo, que gerou uma ação de controle  $u(0) = 9.15V$

Desse modo, a função de transferência da planta é mostrada na equação 2.1.

$$\frac{0,07166z + 0,05334}{z^2 - 1,288 + 0,4125} \quad (2.1)$$

### 2.2 Questão 2

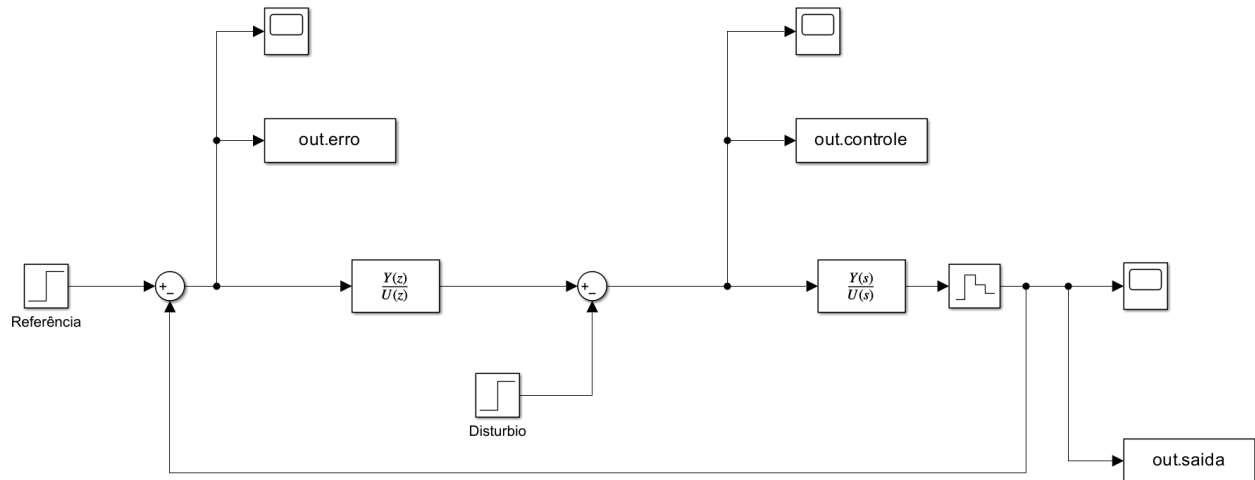
**Quais são os polos de malha fechada do sistema para cada um dos controladores?**

Conforme esperado pela teoria e pode ser verificado na prática ao usar a função `pole()` do MATLAB, o sistema de malha fechada com o controlador Dead-Beat projetado apresentou 2 polos em 0.

### 2.3 Questão 3

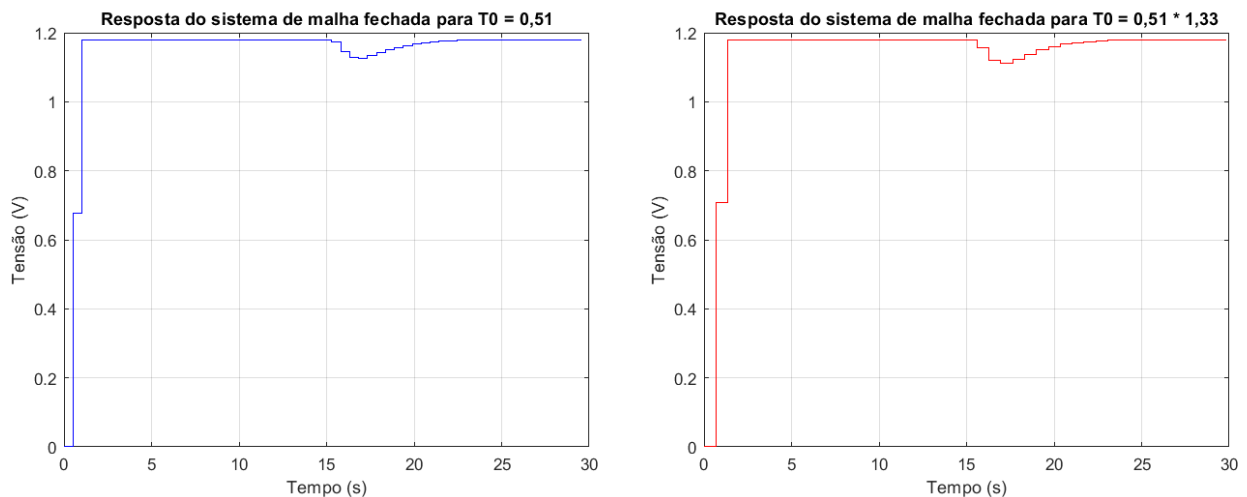
Implemente no Simulink o sistema de malha fechada com controlador discreto projetado. Lembre que a planta deve ser mantida como um processo contínuo. Na saída da planta deve ser colocado um bloco de zero order holder (assim como foi feito para o controle proporcional). Mostre no relatório o diagrama Simulink para cada controlador, e as curvas discretas de resposta do sistema (sinal de erro, sinal de controle, e sinal de saída do sistema) para cada controlador.

Devido ao critério de projeto, foi feito somente um diagrama do Simulink, ilustrado na Figura 1, que corresponde aos 2 controladores, mudando somente o  $T_0$  na execução de cada um.

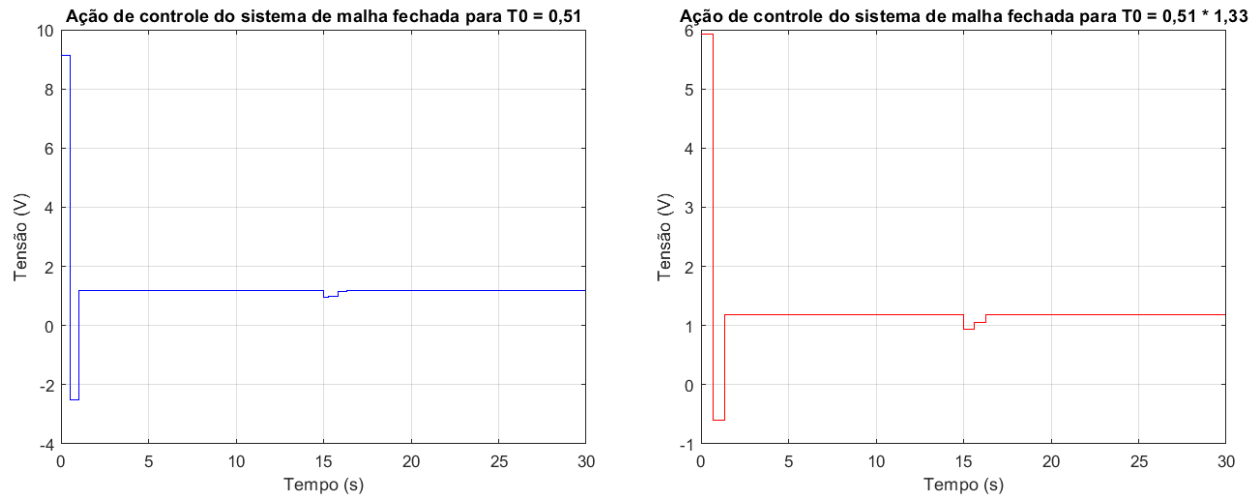


**Figura 1:** Simulink do sistema de malha fechada com o controlador Dead-Beat.

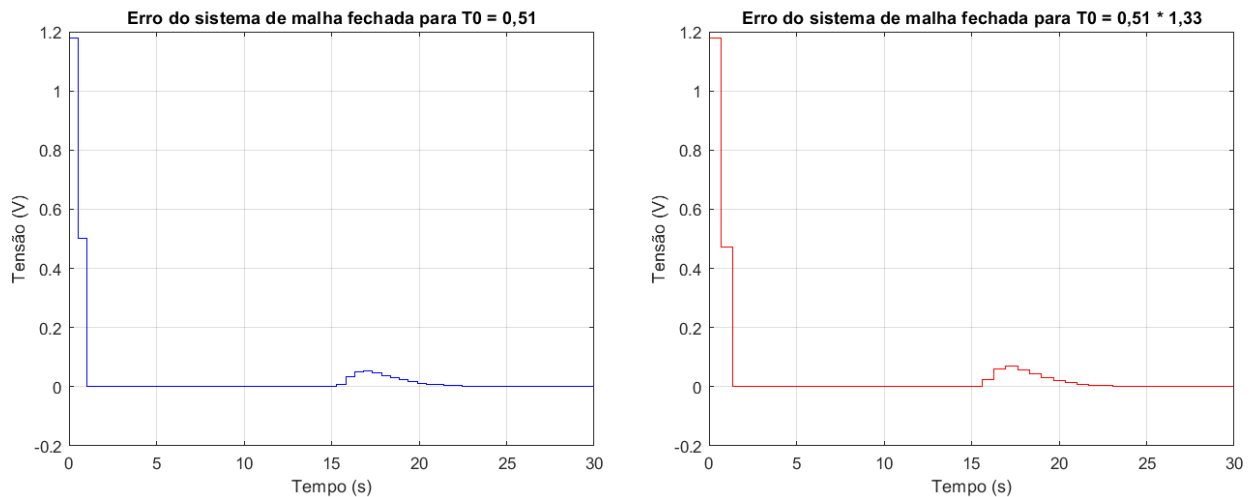
Além disso, as curvas discretas de resposta do sistema (sinal de erro, sinal de controle e sinal de saída do sistema) podem ser vistas nas Figuras 2 à 4.



**Figura 2:** Comparação da resposta para diferentes valores de  $T_0$ .



**Figura 3:** Comparação da ação de controle para diferentes valores de  $T_0$ .



**Figura 4:** Comparação do erro para diferentes valores de  $T_0$ .

## 2.4 Questão 4

**Quais os valores do erro de regime permanente antes do distúrbio e após o distúrbio para cada controlador?**

Para um controlador Dead-Beat idealmente projetado, o erro de regime permanente deve ser zero, tanto antes quanto após a aplicação do distúrbio.

Esse comportamento pode ser validado na prática pelo comportamento do nosso controlador nas situações com os 2 períodos de amostragem, ilustrado nos gráficos da Figura 4 e pelas Tabelas 2 e 3, mostrando um comportamento exatamente como esperado

Erro de RP antes do distúrbio	Erro de RP após do distúrbio
$6,26 \cdot 10^{-10}$	$3,52 \cdot 10^{-4}$

**Tabela 2:** Erros de regime permanente para  $T_0 = 0,51$  segundos

Erro de RP antes do distúrbio	Erro de RP após do distúrbio
$-3,02 \cdot 10^{-8}$	$1,06 \cdot 10^{-4}$

**Tabela 3:** Erros de regime permanente para  $T_0 = 0,68$  segundos

## 2.5 Questão 5

**Quais os tempos de subida e de acomodação (2%) da saída do sistema de malha fechada antes do distúrbio para cada controlador? Qual o sobressinal do sinal de saída do sistema de malha fechada antes do distúrbio para cada controlador?**

Para um controlador Dead-Beat ideal, o sobressinal deve ser zero. Assim, como não há sobressinal, o tempo de subida e o tempo de acomodação devem ser iguais. Devido à ordem dois do controlador Dead-Beat no nosso caso, esses tempos (de subida e de acomodação) devem corresponder a duas vezes o período de amostragem.

Esse comportamento pode ser validado na prática pelo comportamento do nosso controlador na situação com os 2 períodos de amostragem, ilustrado nos gráficos da Figura 2 e pela Tabela 4 com os valores medidos pelo MATLAB, de novo mostrando um comportamento exatamente como esperado.

	$T_0 = 0,51(s)$	$T_0 = 0,68(s)$
Tempo de subida	1.02	1.36
Tempo de acomodação	1.02	1.36
Sobressinal	0%	0%

**Tabela 4:** Sobressinal e tempos de medida e de acomodação medidos pelo MATLAB para ambos os períodos de amostragem.

## **Referências Bibliográficas**

- [1] Prof. Valdir Grassi Jr, “Roteiro de prática 6 e aulas teóricas e práticas,” 2024. Disciplina de Controle Digital (SEL0620), Universidade de São Paulo, São Carlos.