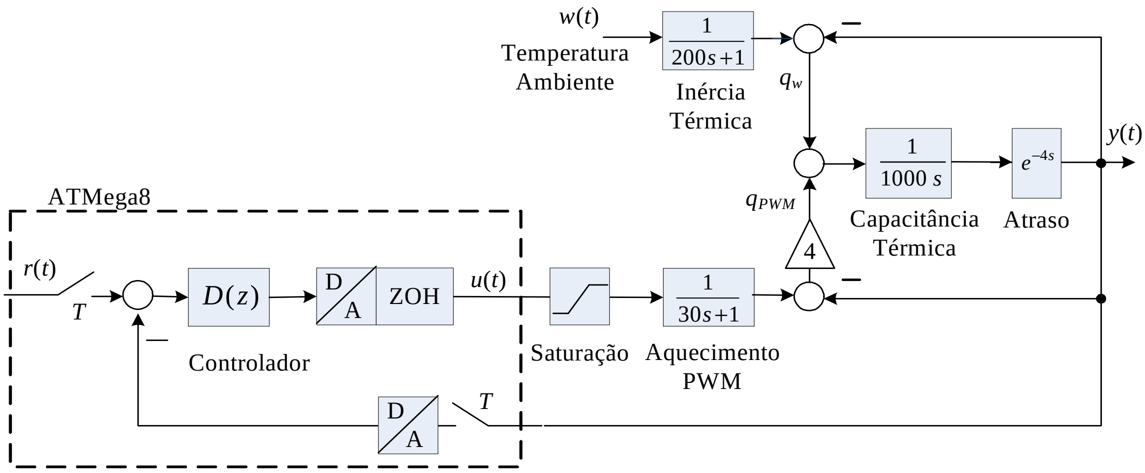
Nome:____Matrícula:________________

2ª PROVA

1ª Questão: Considere o modelo de grandes sinais de um processo térmico utilizado em Controle Digital. Em regime permanente os fluxos de calor q_w e q_{PWM} são iguais. Taxa de amostragem T_a = 4 *seg*.



a) (2,0) Utilizando o princípio da superposição obtenha a representação discreta do processo $G(z)=\dfrac{Y(z)}{U(z)}$.

b) (2,0) Para obter uma transição rápida com erro nulo em regime, projete um controlador PID discreto $D(z)=\dfrac{K(z-a)(z-b)}{z(z-1)}$ que apresente em malha fechada pólos em z = 0,6±0,3i.

Obs: No item b podem também ser utilizados os parâmtros obtidos na identificação - experimento 2 CDig.

Obs: $G_{ZOH}(z)=(1-z^{-1})\mathrm{Z}\left\{\dfrac{G(s)}{s}\right\}$

Tabela de Transformadas -***Z***

$\dfrac{1}{s}$	$1(kT)$	$\dfrac{z}{z-1}$
$\dfrac{1}{s^2}$	kT	$\dfrac{Tz}{(z-1)^2}$
$\dfrac{1}{s+a}$	e^{-akT}	$\dfrac{z}{z-e^{-aT}}$
$\dfrac{1}{(s+a)^2}$	kTe^{-akT}	$\dfrac{Tze^{-aT}}{(z-e^{-aT})^2}$

--

a) Função de transferência :

$$G(s)=\frac{1}{30s+1}\frac{4e^{-4s}}{1000s+5e^{-4s}}\cong\frac{1}{30s+1}\frac{4}{1000s+5}e^{-4s}$$

$$G_d(s)=\frac{0.001014(z+0,95)\,z^{-1}}{(z-0.8752)\,(z-0.98)}$$

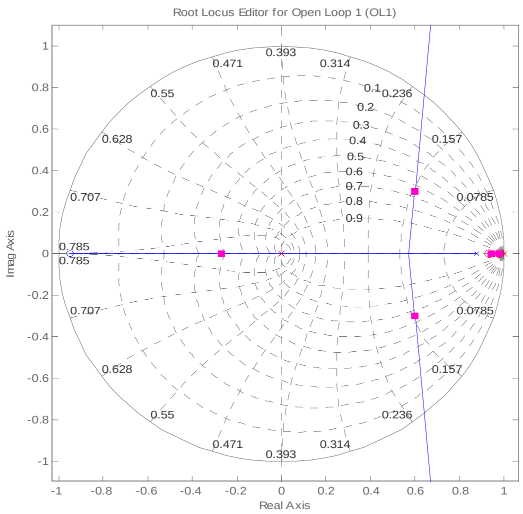
b.1) Cancelado a dinâmica lenta: $D(z)=\dfrac{K(z-a)(z-0,98)}{z(z-1)}$

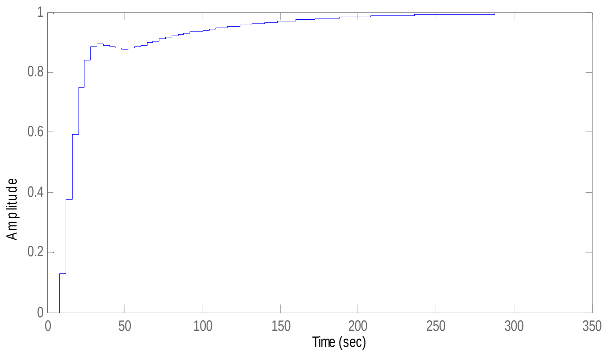
$$D'(z)G(z) \Rightarrow angle\left(\frac{(z-0{,}98)}{z^2(z-1)}\frac{(z+0{,}95)}{(z-0{,}98)(z-0{,}8752)}\right)\Bigg|_{z=0{,}6+0{,}3j} = 42^o \rightarrow \phi_{av} = 138^o$$

a=0,4832

$$K.abs\left(\frac{(z-0{,}4832)(z-0{,}98)}{z^2(z-1)}\frac{0{,}001014(z+0{,}95)}{(z-0{,}98)(z-0{,}8752)}\right)\Bigg|_{z=0{,}6+0{,}3j} = 1 \rightarrow K = 264{,}9$$

$$\boxed{D(z) = \frac{264{,}9(z-0{,}4832)(z-0{,}98)}{z(z-1)}}$$



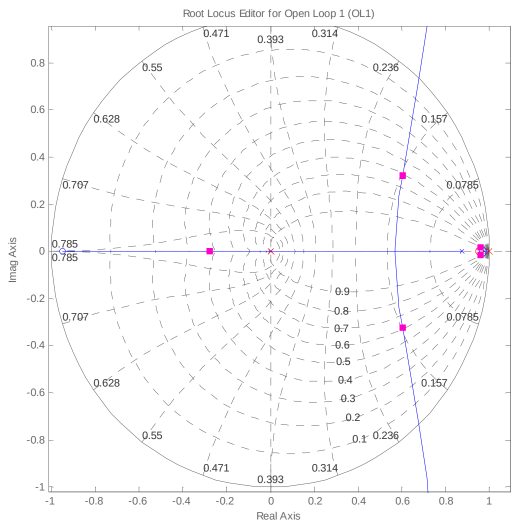


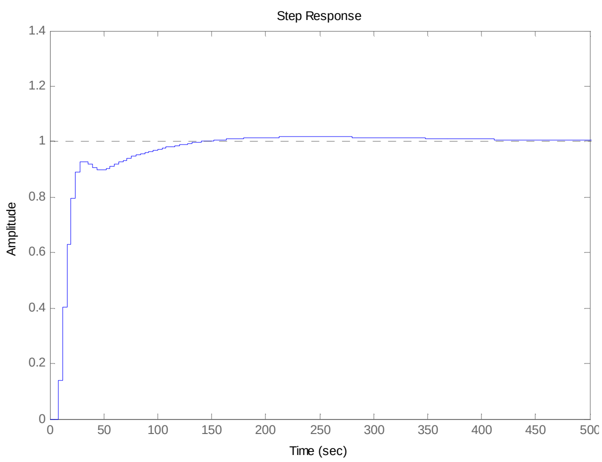
b.2) Colocando os dois zeros na mesma posição: $D(z) = \dfrac{K(z-a)^2}{z(z-1)}$

$$D'(z)G(z) \Rightarrow angle\left(\frac{1}{z^2(z-1)}\frac{(z+0{,}95)}{(z-0{,}98)(z-0{,}8752)}\right)\Bigg|_{z=0{,}6+0{,}3j} = -99{,}56^o \rightarrow \phi_{av} = (180 - (-99{,}56))/2 = 139{,}78^o$$

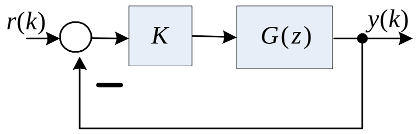
a=0,9548

$$K.abs\left(\frac{(z-0{,}9548)^2}{z^2(z-1)}\frac{0{,}001014(z+0{,}95)}{(z-0{,}98)(z-0{,}8752)}\right)\Bigg|_{z=0{,}6+0{,}3j} = 1 \rightarrow K = 264{,}9 \qquad \boxed{D(z) = \frac{136{,}8(z-0{,}9548)^2}{z(z-1)}}$$





2ª **Questão**: (3,0) Considere a resposta em freqüência de um sistema $G(z)$ discreto de 3ª ordem que não tem pólos fora do círculo unitário.

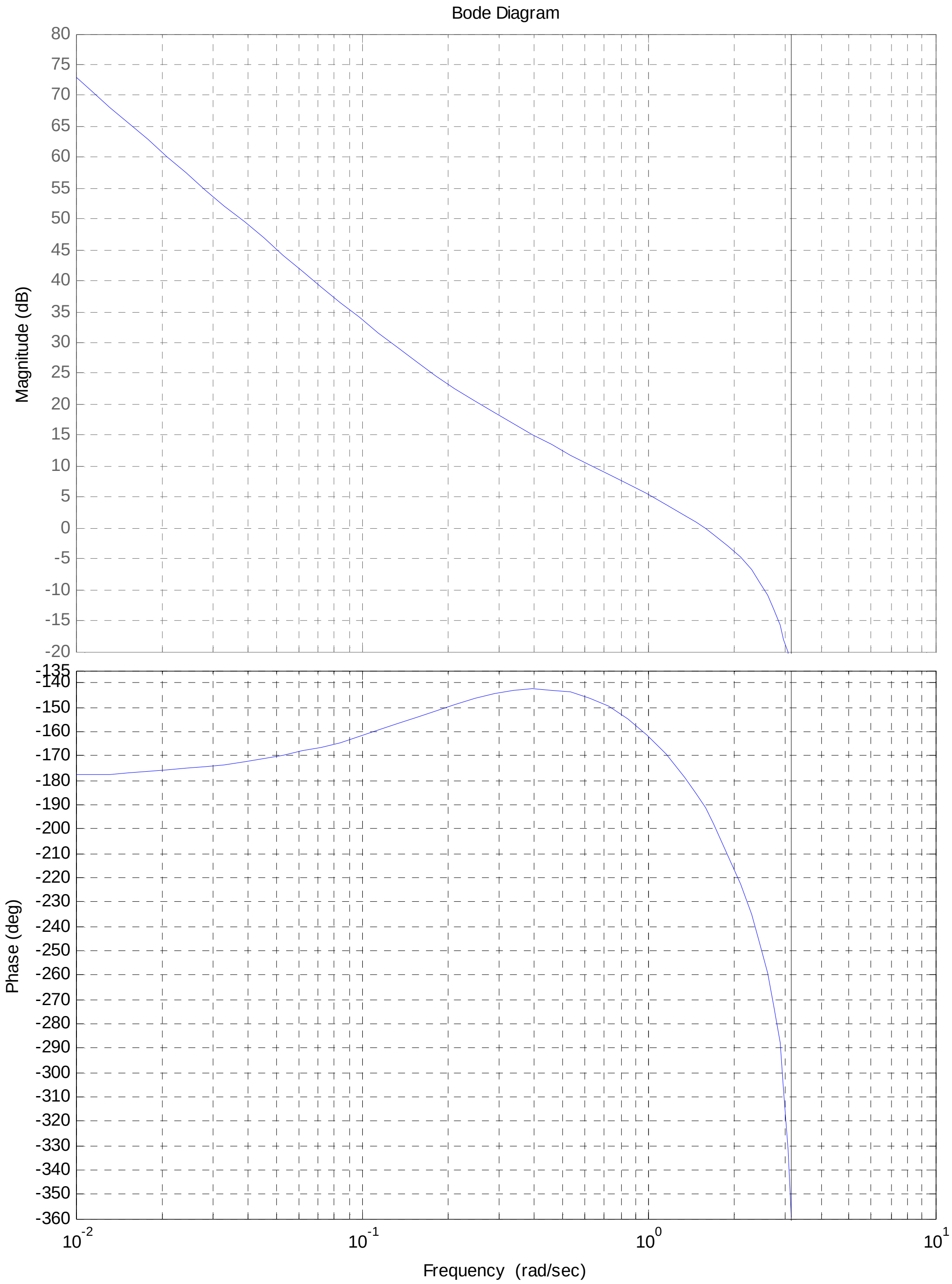


a) (1,0) Esboce o diagrama de Nyquist correspondente.
Em particular indique: $\omega \to 0^+$, $\omega \to \pi/T$, $\omega \to -\pi/T$, $\omega \to 0^-$.

b) (1,0) Qual a faixa de valores de ganho K em $(-\infty < K < \infty)$ para os quais o sistema é estável?

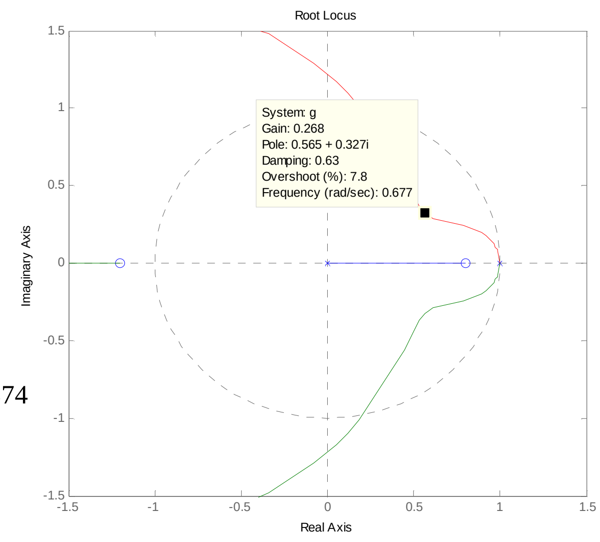
c) (0,5) Para qual valor de ganho K obtêm-se a resposta em malha fechada, $y(k)$, com menor oscilação?

d) (0,5) Nas condições do item c, qual o erro em regime permanente a uma parábola de referência?



Função utilizada:

$$G(z) = \frac{(z+1.2)\,(z-0.8)}{z\,(z-1)^2}$$ **;** Sampling time: 1seg

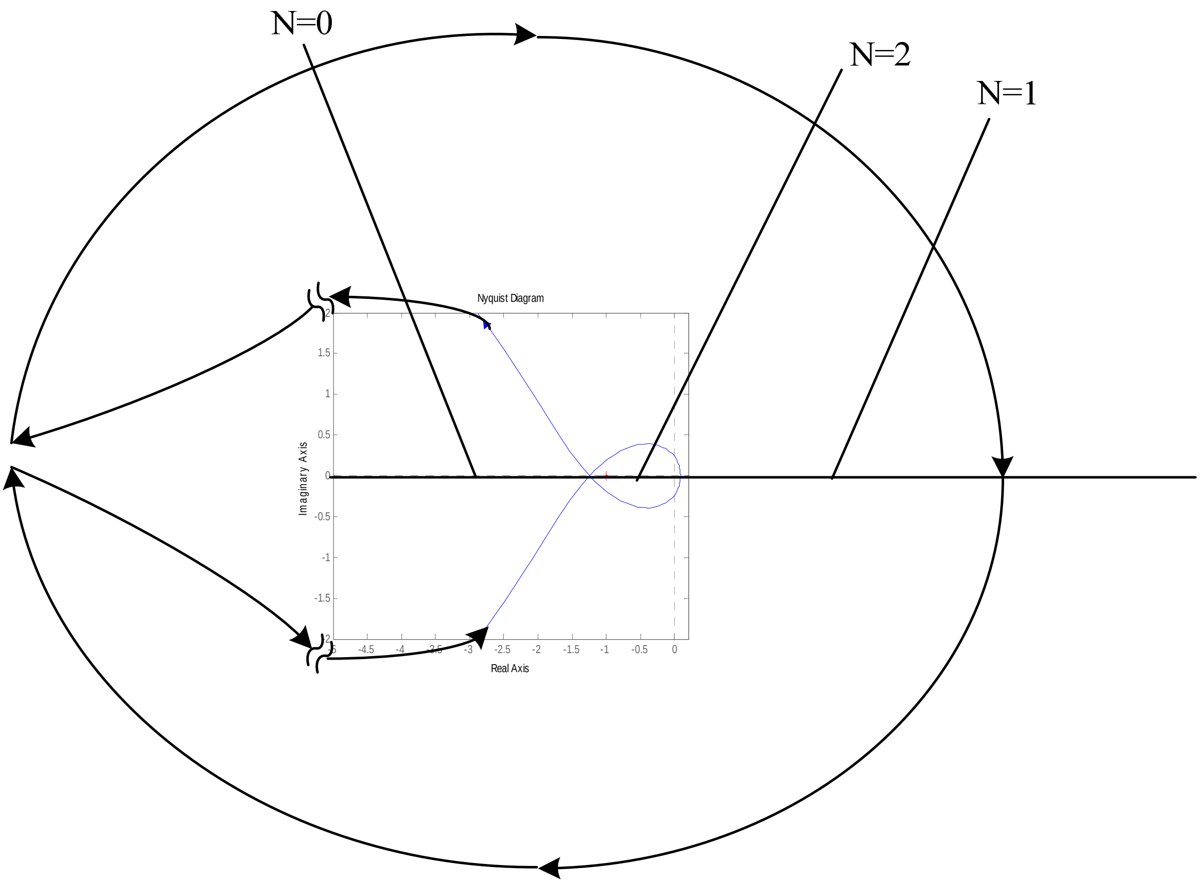


b)-180º de fase ocorrem em 1,35 rad/s onde o ganho é 1,85dB = 1,2374
Estabilidade $-\infty < -1/K < 1/\text{-}1.2374 \quad \rightarrow \boxed{0 < K < 0{,}8082}$

c) Fase = -143 rad/sec em ω = 0,457; Ganho = 13,5dB →
$\boxed{\text{Ajuste de ganho} = -13{,}5\text{dB} = 0{,}2113}$

d) Reduzindo-se 13 dB do item c) têm-se em ω = 0,01 um ganho de 60dB. $Ka = \lim s^2\, G(s) = 10^{-4}.1000 = 0{,}1$
erro = 1/Ka = 10 $\boxed{e_{ss} = 1/Ka = 10}$

a) Diagrama de Nyquist

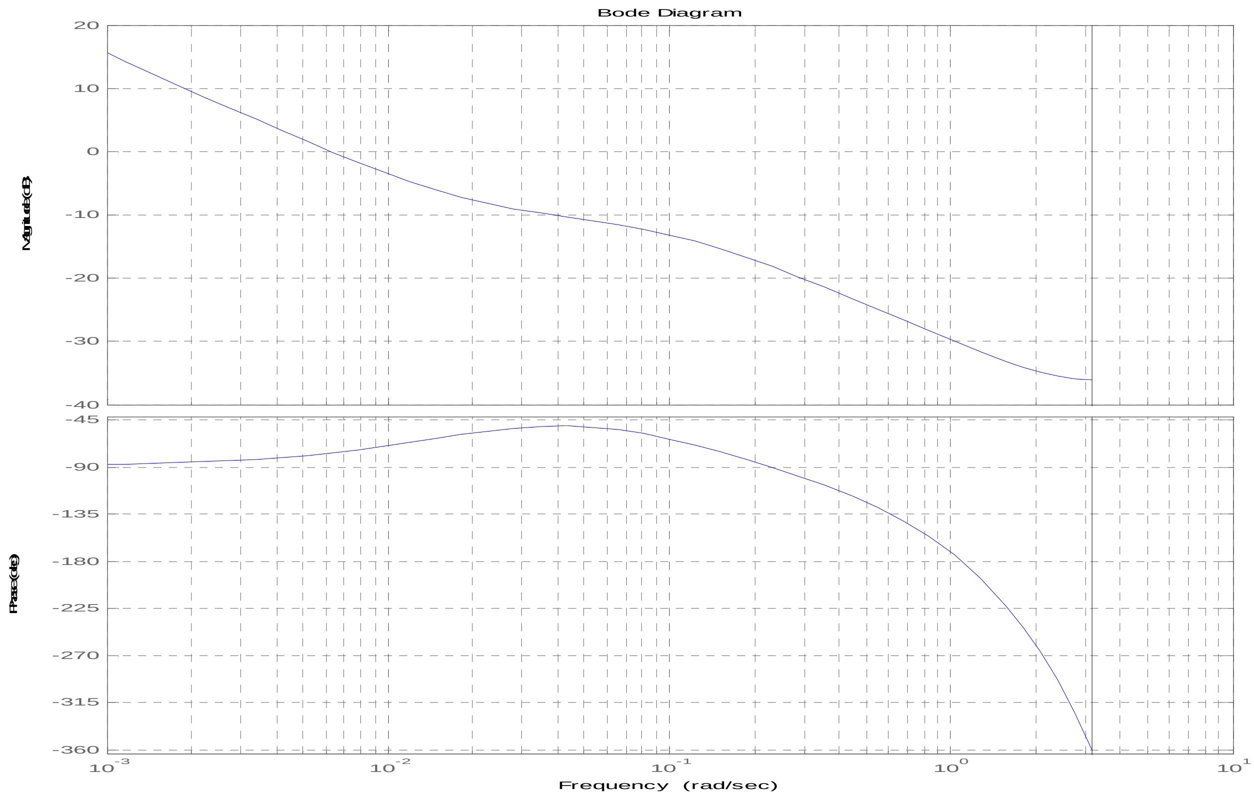


3ª Questão: (3,0) Considere o diagrama de Bode de um sistema discreto. O objetivo é projetar um compensador em avanço $D(z) = K\dfrac{z+a}{z+b}$, de tal forma que:

- Margem de Fase do sistema compensado, MF ≥ 30°
- Erro para uma rampa unitária $e_{ss} \leq 5{,}62$ seg.

a) (0,5) Calcule o ganho do controlador necessário para satisfazer a especificação de regime permanente.
b) (0,5) Calcule o avanço de fase necessário para atingir a MF e acrescente 20º para compensar o deslocamento da freqüência de 0dB pelo compensador.
c) (0,5) Posicione a freqüência de avanço máximo do compensador, ω_m, no ponto em que a queda de ganho do sistema compensa o ganho em ω_m do compensador em avanço.
d) (1,5) Calcule os valores das freqüências de canto do compensador em avanço e apresente o compensador completo: $D(z) = K\dfrac{z+a}{z+b}$.

Obs.: Fator de avanço para sistemas contínuos: $\dfrac{1}{\alpha} = \dfrac{1+sen\phi_m}{1-sen\phi_m}$



g=zpk([.98],[1 .9 0],.03,1);;figure(3);bode(g);figure(1);rlocus(g);figure(2);nyquist(g)
g=zpk([.98],[1 .9 0],30*.03,1);;figure(3);bode(g);figure(1);rlocus(g);figure(2);nyquist(g)

---

a) $e_{ss} = 1/K_v \leq 5{,}62 \rightarrow K_v \geq 1{,}7794 = 10^{-3}\left|G(10^{-3}j)\right|K \rightarrow$ K = 30dB (29,54)

b) atual MF = 11º→ 30º+20º-11º = 39º

c) (1+sin(39*pi/180))/(1-sin(39*pi/180)) = 4.4 = 12,86dB

Ganho na freqüência central: $\sqrt{4{,}3955} = 2{,}0965 = 6{,}43$dB.

É, praticamente o valor mínimo do Bode → utilizar o maior valor possível para ω_2. ω_2 = 3,1416 rad/s e assim temos ω_1 = 3,1416/4,4 = 0,714 rad/s

d) Compensador: Do gráfico a taxa de amostragem é 1 *seg*. $z_1 = e^{-0{,}714*1} = 0{,}49$

$$z_2 = e^{-3{,}1416*1} = 0{,}0432 \rightarrow D(z) = K'\frac{z-0{,}49}{z-0{,}0432}$$

Para que o ganho ajustado no item (a) não seja alterado $K' = \dfrac{1-0{,}0432}{1-0{,}49} = 1{,}876 \rightarrow \boxed{D(z) = 55{,}4\dfrac{z-0{,}49}{z-0{,}0432}}$