

Relatório da Tarefa 7: Ajuste de parâmetros de controladores PID.

Aluno: Mairon Schneider Cardoso.

Data: 07/06/2021

Número de matrícula: 17102515.

1 Introdução

No âmbito de sistemas de controle, a concepção de controladores PID é uma forma rápida de garantir o funcionamento de um determinado sistema a partir de uma estrutura de projeto, amplamente difundida empiricamente em contextos de automação industrial. Nesse contexto, o PID nos fornece uma grande quantidade de dados que auxilia a adequação de um sistema a uma tendência já estabelecida, a característica de ser amplamente difundida permite que seja possível também a adequação a outras tendências, e através do emprego dessas tendências, baseando-se na estatística, é provável que obtenhamos um sistema coerente em relação aos resultados esperados ao adequarmos aos parâmetros pré-estabelecidos.

Além das suas vantagens de alta empregabilidade do PID, vantagens em suas características transientes ficam a cargo das estruturas contidas em sua construção (derivador, integrador e bloco proporcional) que garantem as condições ideais para implementação de um controlador (erro de regime permanente igual a zero e aumento da velocidade da resposta transiente), porém, uma das desvantagens é justamente o custo em área para implementação, além disso, quando projetamos um controlador, nem sempre necessitamos de um desses blocos para implementação satisfatória do controlador e portanto, o projeto acaba aumentando seu custo sem necessidade.

2 Resultados e Discussões

A concepção de um controlador PID é baseado na sintonia dos parâmetros internos, onde, essa sintonia é feita através de regras extensivamente discutidas na literatura. O primeiro método de prototipação do controlador PID, é realizado aplicando uma entrada unitária na planta e extraindo a sua saída, a partir dela, conseguimos traçar uma reta tangente paralela (derivada) a curva de saída que irá permitir obter dados necessários como o atraso aparente, o ganho integral equivalente e a constante de tempo dominante. Algumas plantas não resultam em uma resposta satisfatória, uma vez que o método de resposta ao degrau não resulta uma aproximação adequada para plantas com características específicas. Uma das formas de contornar esse problema é o emprego do método de ponto crítico na busca por garantir as melhores aproximações para o controlador PID do sistema.

A distinção da aplicação de métodos depende exclusivamente da planta na qual queremos introduzir o controlador PID, no método da resposta ao degrau, assumimos que a planta tem um comportamento característico da resposta de um sistema de primeira ordem, ou seja, qualquer planta que resultar em uma resposta ao degrau semelhante a uma curva característica de um sistema de primeira ordem, deve resultar em uma aproximação coerente ao aplicarmos a resposta ao degrau como método para sintonia dos parâmetros do PID, portanto, sistemas que possuem o mesmo número de polos e zeros, um alto sobrepasso (ou seja, alto tempo de acomodação o que resulta em diversas oscilações) e sistemas de fase não mínima, não resultam em uma resposta satisfatória através do método da resposta ao degrau. O método do ponto crítico em contrapartida, resulta em uma resposta coerente quando a planta do sistema tem um alto sobrepasso, visto que, o método tem como objetivo analisar a resposta em frequência da planta para adequação dos parâmetros de sintonia do PID e por isso, ao conceber um controlador PID para uma determinada planta, é necessário verificar se a resposta ao degrau tem como característica um alto sobrepasso ou se assemelha a uma resposta de primeira ordem. Em geral, a aproximação do método ao degrau é satisfatória para maioria dos casos, afinal, quando optamos por

utilizar um controlador PID, estamos interessados em diminuir o custo de engenharia no projeto, isto é, uma aproximação coerente já basta para empregarmos em um sistema.

A planta descrita pela equação 1 exibe um comportamento semelhante a uma resposta ao degrau de um sistema de primeira ordem (figura 1), e como observamos anteriormente, nesse caso o método da resposta ao degrau oferece uma resposta decrescente do sistema quando aplicamos o PID, e portanto, para extrair corretamente os parâmetros, é necessário traçar a reta tangente paralelo a resposta ao degrau da planta, a través dela, é possível adquirir os valores de atraso aparente (L), o ganho integral equivalente (A) e a constante de tempo dominante (T).

$$G_1 = \frac{(s + 10)}{(s + 1)(s + 5)} \quad (1)$$

A aplicação dos parâmetros para a extração das componentes da equação do compensador PID (equação 2) é feita baseando-se na tabela proposta por Zeigler-Nichols, empregando-a na equação do controlador, é possível obter uma resposta ao degrau do sistema (controlador PID e planta G_1), onde, a resposta ao degrau pode ser vista através da figura 2 e a análise da resposta de uma perturbação do tipo degrau na saída a partir da figura 3.

$$Gc(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s} + T_d \cdot s \right) \quad (2)$$

Os resultados dos ajustes do PID através das tabelas de Chien, Hrones e Reswick da planta G_1 , são realizados da mesma forma que a tabela de Zeigler-Nichols, entretanto, é considerado valores diferentes para a equação do controlador. As diferenças entre as tabelas de Chien, Hrones e Reswick são as especificações que elas almejam adquirir, seja uma otimização do máximo sobrepasso de 20% no sinal de referência (figura 4 e figura 5), um otimização do máximo sobrepasso de 0% na referência (figura 6 e figura 7), uma otimização da resposta do sistema a uma perturbação com sobrepasso máximo de 0% (figura 8 e figura 9) e também, uma tabela que visa otimizar a resposta do sistema a uma perturbação com sobrepasso máximo de 20% (figura 10 e 11).

A empregabilidade das diferentes tabelas para estipular o melhor controlador PID visando determinadas aplicações, pode ser vista através das tabelas de comparação concebida por meio das simulações propostas (tabelas 1, 2 e 3), como vimos anteriormente, nem sempre é possível conceber a exata especificação que a tabela pretende atingir (principalmente por estar fora da razão $0,1 < L/T < 0,6$), entretanto, a relação que podemos estabelecer é que, como vimos anteriormente, aumentar a constante que multiplica o derivador, impacta na diminuição do tempo de subida e na estabilidade relativa, que é o comportamento que é notado quando tratamos das tabelas de Chien, Hrones e Reswick, também é considerável o efeito do integrador, para garantir o erro de regime permanente nulo e também o efeito de desestabilizar o sistema que é rapidamente compensado pelo derivador, que garante a estabilidade relativa.

O método do ponto crítico é baseado em adquirir um ganho proporcional, através do lugar das raízes, que deixe o sistema em malha fechada com comportamento de uma oscilação sustentada, e a partir daí, extraímos o período que será empregado na concepção do controlador PID. O lugar das raízes da planta G_2 (equação 3), exibe a quantidade de polos e zeros ideais para aplicação do método do ponto crítico e não do método ao degrau, isso acontece justamente pois o sistema terá um sobrepasso na saída. A planta foi idealizada da maneira normalizada a partir de uma planta que inicialmente teria dois polos complexos (que é uma necessidade nesse método).

$$G_2 = \frac{(s + 20)}{(s + 4)(s + 2)(s + 6)} \quad (3)$$

A partir da análise do gráfico do lugar das raízes no sistema (figura 12) é possível identificar o exato ponto onde a resposta do sistema ficará com o comportamento de oscilação sustentada, então para verificar o comportamento da maneira correta, consideraremos T_d e T_i como 0 e ∞ , respectivamente, e

apenas o ganho proporcional extraído através do lugar das raízes será aplicado no sistema em malha fechada. Portanto, ao fazer esse procedimento, acabamos por obter a oscilação que será utilizada para extrair o período (figura 13), que neste caso será igual a 0,6. A correta construção do controlador PID será baseada na tabela de Zeigler-Nichols (para resposta em frequência) o que resultará em uma resposta ao degrau e uma rejeição satisfatória (figuras 14 e 15).

Quando tentamos empregar algum dos métodos na construção de um PID para a planta empregada nos trabalhos anteriores, acabamos nos deparando com a posição indesejada de um dos polos, a planta utilizada nas tarefas anteriores exibe um polo no semi-plano direito do gráfico de polos e zeros, causando a instabilidade do sistema, impossibilitando o emprego dos dois métodos vistos nesse relatório, uma vez que, o método da resposta ao degrau exibiria um comportamento que tende ao infinito e o lugar das raízes do método do ponto crítico, resulta em um comportamento também instável com assintotas inexistentes. Portanto, a construção de um PID pelo método da resposta ao degrau do sistema e também o método do ponto crítico não é uma forma viável de implementar um PID para a planta utilizada nos trabalhos anteriores.

Para verificar a veracidade dos resultados encontrados, foi empregado as plantas $G_1(s)$ e $G_2(s)$ na ferramenta *sisotool* que possui a opção de adicionar o controlador PID com base na tabela de Zeigler-Nichols pelo método do ponto crítico e o método da resposta ao degrau. Através da inserção do PID pelo método da resposta ao degrau conseguimos obter um resultado bastante satisfatório, comparando com o extraído através da obtenção de parâmetros da planta, tendo uma leve diferença justamente pelo método em que implementamos a derivada e extraímos os dados (figura 16 e 17). Com a inserção do PID através do *sisotool* comparando com a tabela obtida através do método do ponto crítico, obtemos também uma resposta bastante semelhante (figuras 18 e 19). Ao aplicarmos uma planta que não é adequada para um determinado método, obtemos uma mensagem de erro que não nos permite aplicar ao sistema o controlador PID.

Ao considerar uma planta com 3 polos a mais que zeros (equação 4), é possível extrair algumas informações relevantes. Na tentativa de aplicar os dois métodos e extrair a melhor especificação de controlador PID, observamos que aplicar o método da resposta ao degrau em um sistema de ordem diferente de 1, acabamos por obter uma resposta extremamente lenta e com bastante sobrepasso (figura 20 e 21), quando comparamos com a resposta obtida através do método do ponto crítico, percebemos o motivo de empregar o método de ponto crítico em sistemas que não são de primeira ordem (figura 22).

$$G_c(s) = \frac{0.02261s + 0.02275}{s^4 + 1.592s^3 + 0.9277s^2 + 0.262s + 0.04765} \quad (4)$$

Quando analisamos uma resposta do tipo fase não-mínima através da resposta ao degrau do sistema, percebemos que nesse caso, apesar de possuir os parâmetros corretos (figura 23), o que resulta em uma saída não satisfatória para a concepção do PDI através do método de resposta ao degrau (figura 24). Quando utilizamos o método do ponto crítico, como vimos anteriormente, conseguimos com facilidade demonstrar uma boa resposta do sistema, entretanto, é necessário nesse caso, tomar cuidado para não sair da região de estabilidade, adequando o ganho de maneira correta (figuras 25, 26 e 27).

3 Conclusões

Portanto, através dos experimentos propostos a cerca da concepção de PDI considerando dois diferentes métodos de emprego de parâmetros, conseguimos obter que o método da resposta ao degrau funciona bem para casos em que temos um sistema de primeira ordem. Já o método de prototipação do controlador através do método do ponto crítico, é útil na hora de extrair plantas com um alto sobrepasso, garantindo respostas satisfatórias.

| Tabela | $T_r(s)$ | $T_p(s)$ | $M_p(\%)$ | $T_s(s) - (2\%)$ | RP |
|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------------|-----------|
| Zeigler-Nichols | 0,0326 | 0,0837 | 21,5 | 0,283 | 1 |
| CHR Sobrepasso 0% (Referência) | 0,0888 | 0,205 | 4,61 | 0,345 | 1 |
| CHR Sobrepasso 20% (Referência) | 0,066 | 0,16 | 3,53 | 0,263 | 1 |
| CHR Sobrepasso 0% (Perturbação) | 0,0374 | 0,0964 | 23,7 | 0,324 | 1 |
| CHR Sobrepasso 20% (Perturbação) | 0,0316 | 0,0831 | 22,2 | 0,276 | 1 |

Tabela 1: Características Transientes dos PIDs.

| Tabela | $T_p(s)$ | Valor de Pico (negativo) | $T_s(s) - (2\%)$ | RP |
|----------------------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------------------------|-----------|
| Zeigler-Nichols | 0,085 | -0,216 | 0,283 | 0 |
| CHR Sobrepasso 0% (Referência) | 0,203 | -0,0461 | 0,345 | 0 |
| CHR Sobrepasso 20% (Referência) | 0,158 | -0,0353 | 0,263 | 0 |
| CHR Sobrepasso 0% (Perturbação) | 0,097 | -0,238 | 0,326 | 0 |
| CHR Sobrepasso 20% (Perturbação) | 0,08 | -0,222 | 0,276 | 0 |

Tabela 2: Rejeição a Perturbações dos PIDs.

| Tabela | T_i | T_d | K_p | K_i | K_d |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Zeigler-Nichols | 0,0420 | 0,0105 | 40,9429 | 974,8299 | 0,4299 |
| CHR Sobrepasso 0% (Referência) | 1,4330 | 0,0105 | 20,4714 | 14,2857 | 0,2150 |
| CHR Sobrepasso 20% (Referência) | 2,0062 | 0,0099 | 32,4131 | 16,1565 | 0,3199 |
| CHR Sobrepasso 0% (Perturbação) | 0,0504 | 0,0088 | 32,4131 | 643,1170 | 0,2859 |
| CHR Sobrepasso 20% (Perturbação) | 0,0420 | 0,0088 | 40,9429 | 974,8299 | 0,3611 |

Tabela 3: Parâmetros dos Controladores PIDs.

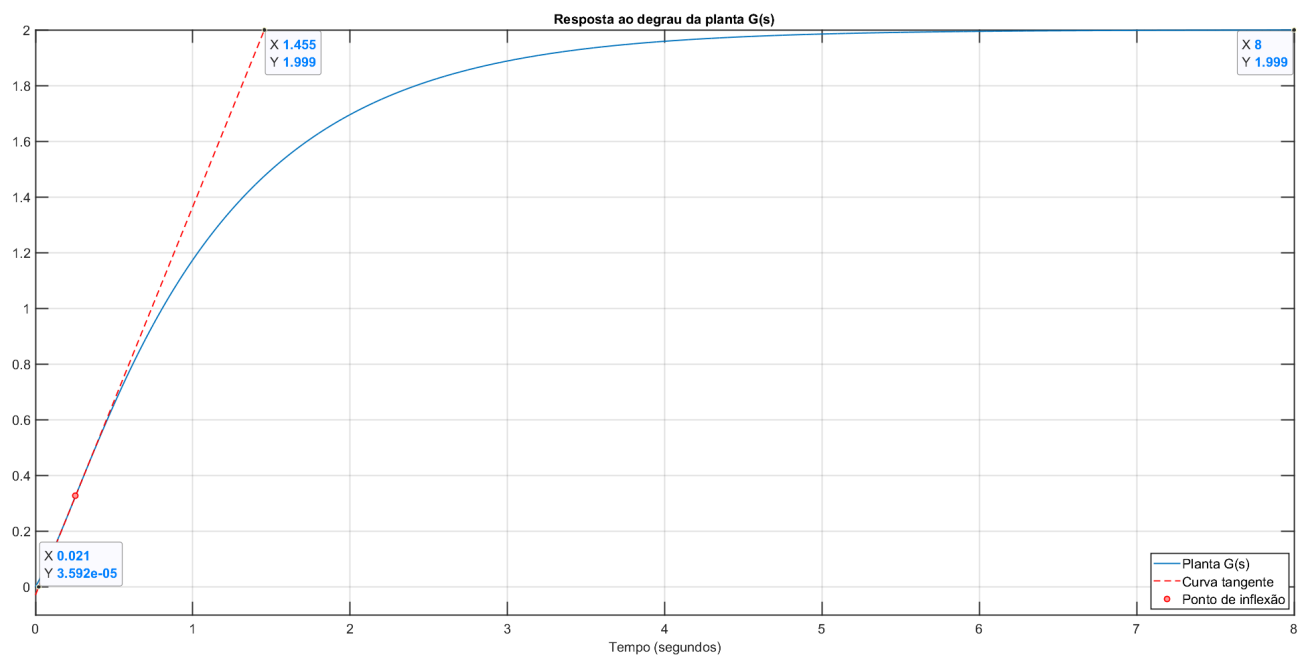


Figura 1: Extração dos parâmetros a partir da resposta ao degrau da planta $G_1(s)$.

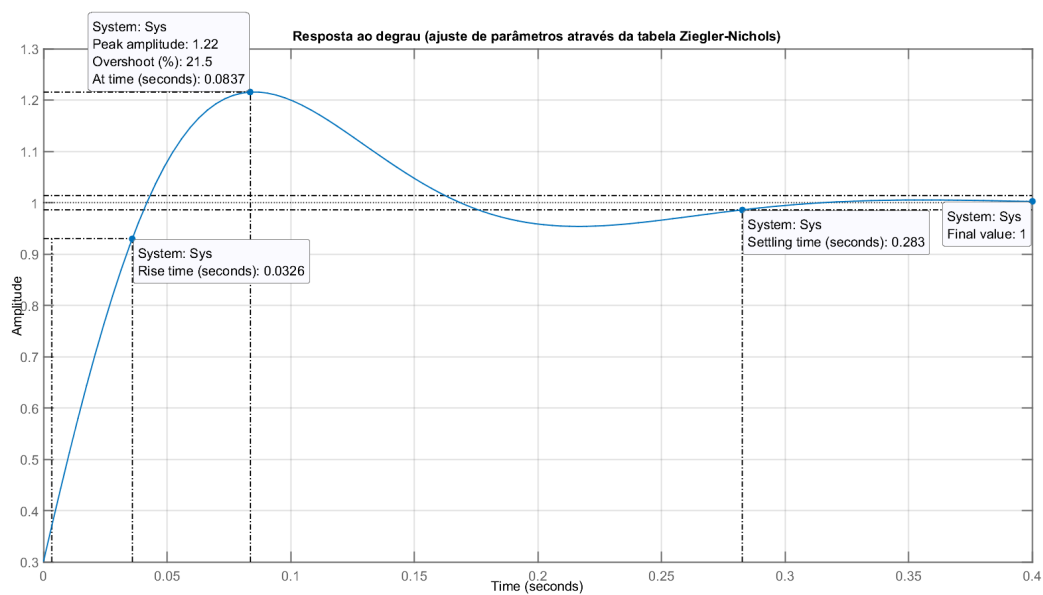


Figura 2: Resposta ao degrau a partir do ajuste do PID pela tabela de Ziegler-Nichols da planta $G_1(s)$.

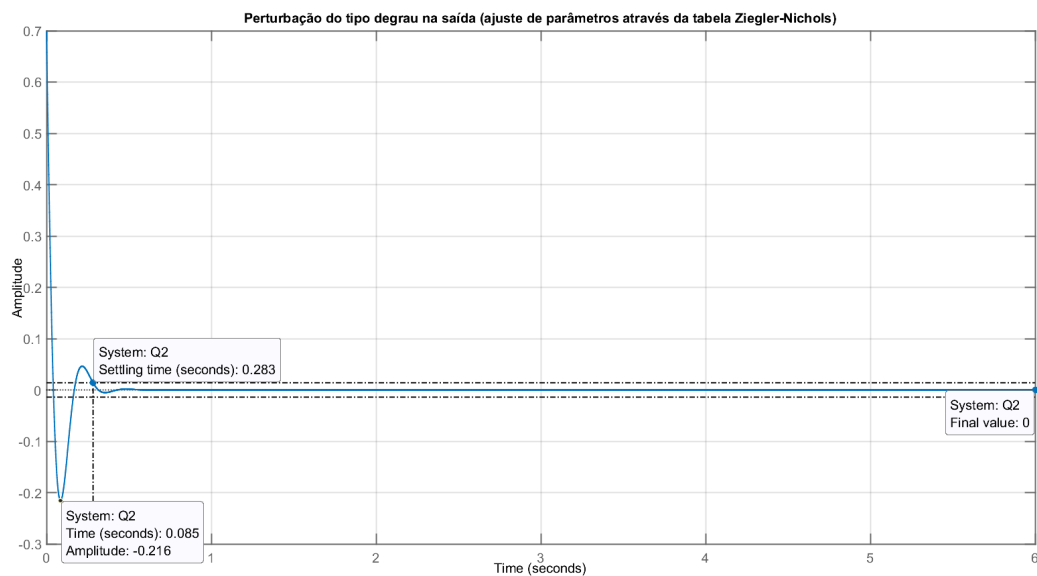


Figura 3: Análise da resposta de uma perturbação do tipo degrau na saída a partir do ajuste do PID pela tabela de Ziegler-Nichols da planta $G_1(s)$.

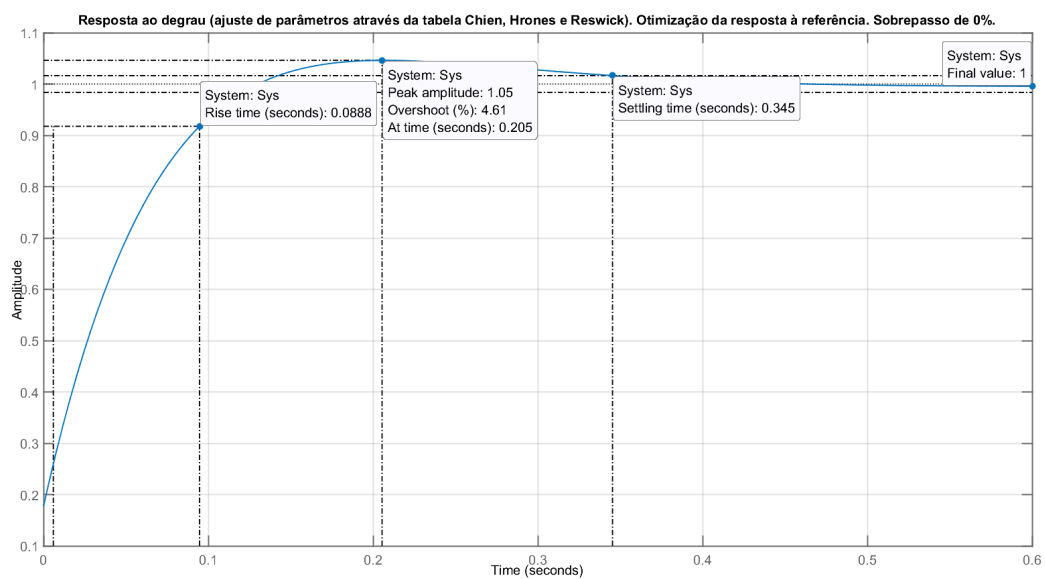


Figura 4: Resposta ao degrau a partir do ajuste do PID pelas tabelas de Chien, Hrones e Reswick que visa a otimização da resposta à referência, com sobrepasso de 0% da planta $G_1(s)$.

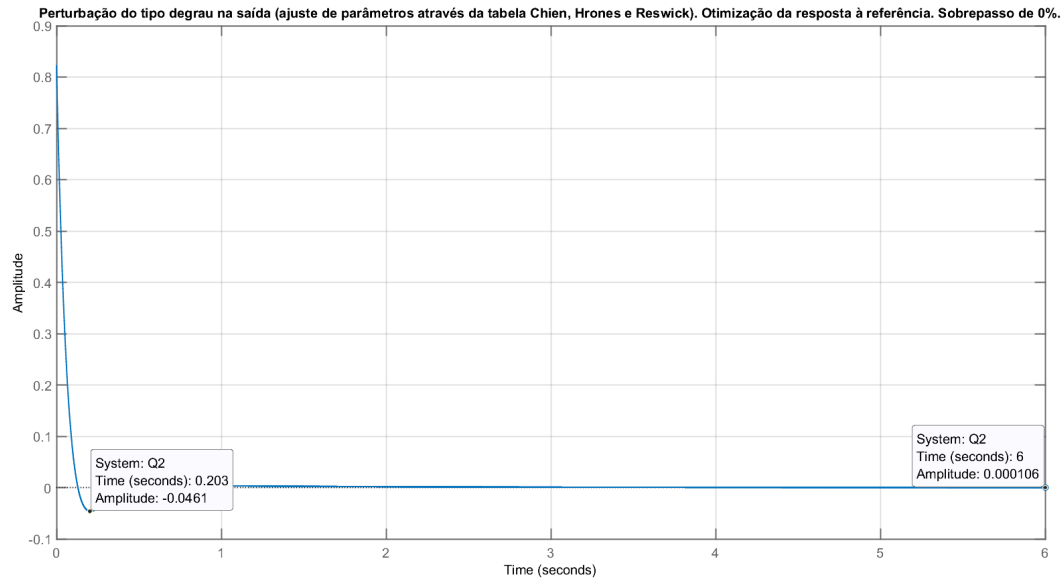


Figura 5: Análise da resposta de uma perturbação do tipo degrau na saída a partir do ajuste do PID pelas tabelas de Chien, Hrones e Reswick que visa a otimização da resposta à referência, com sobrepasso de 0% da planta $G_1(s)$.

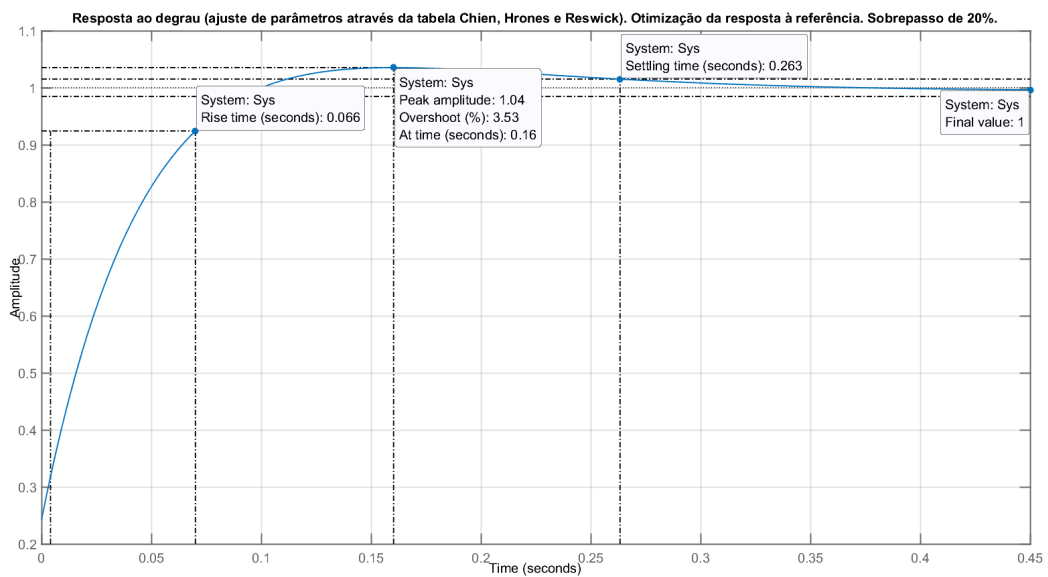


Figura 6: Resposta ao degrau a partir do ajuste do PID pelas tabelas de Chien, Hrones e Reswick que visa a otimização da resposta à referência, com sobrepasso de 20% da planta $G_1(s)$.

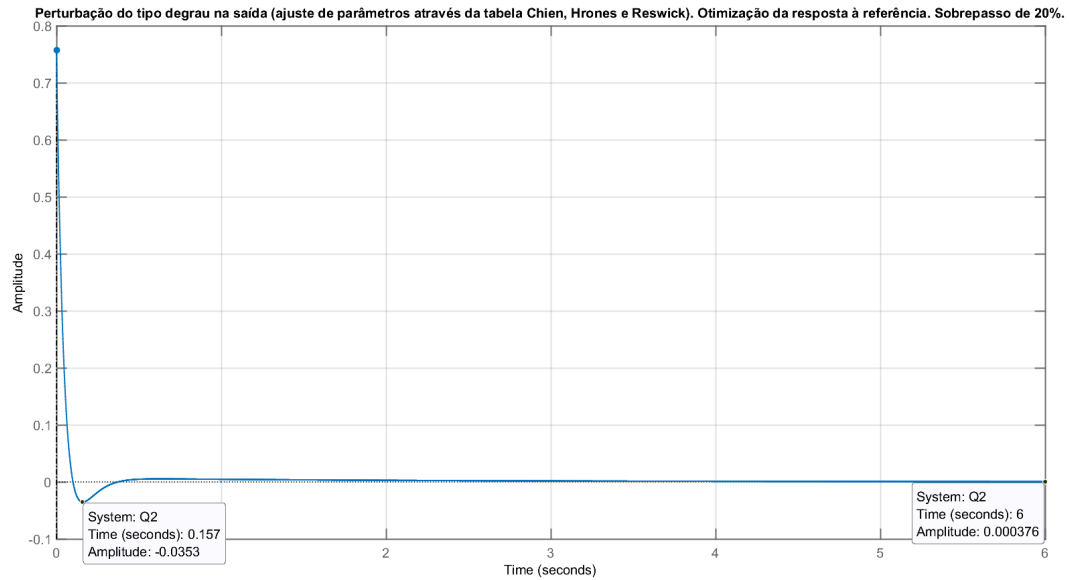


Figura 7: Análise da resposta de uma perturbação do tipo degrau na saída a partir do ajuste do PID pelas tabelas de Chien, Hrones e Reswick que visa a otimização da resposta à referência, com sobrepasso de 20% da planta $G_1(s)$.

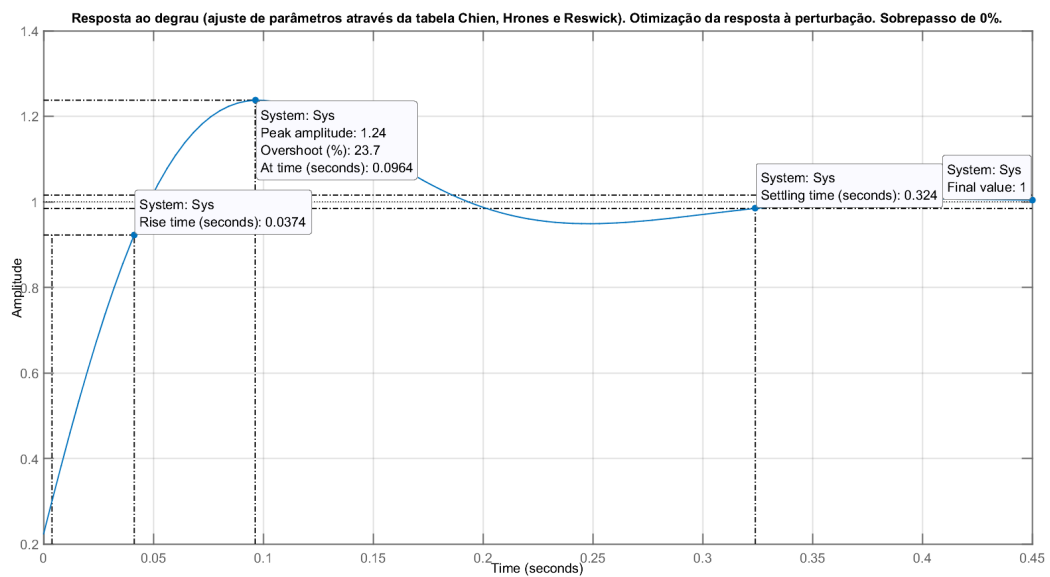


Figura 8: Resposta ao degrau a partir do ajuste do PID pelas tabelas de Chien, Hrones e Reswick que visa a otimização da resposta à perturbação, com sobrepasso de 0% da planta $G_1(s)$.

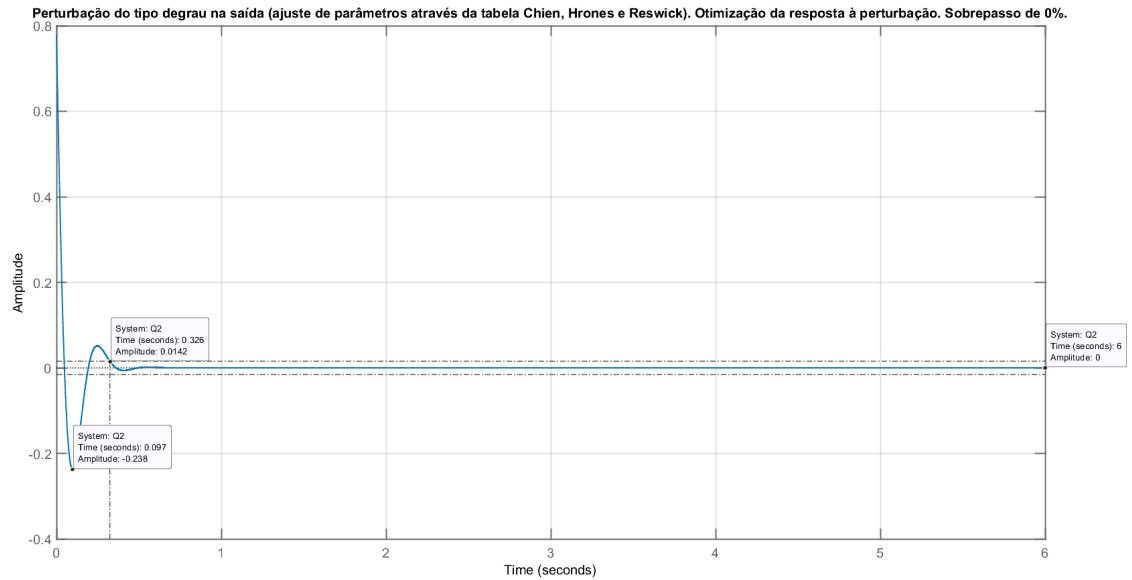


Figura 9: Análise da resposta de uma perturbação do tipo degrau na saída a partir do ajuste do PID pelas tabelas de Chien, Hrones e Reswick que visa a otimização da resposta à perturbação, com sobrepasso de 0% da planta $G_1(s)$.

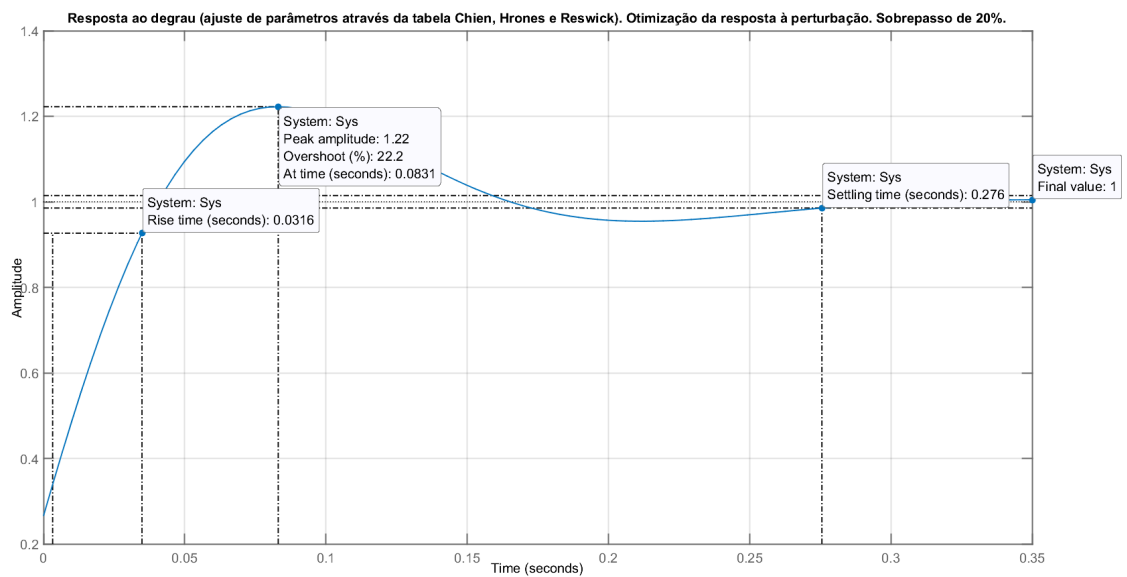


Figura 10: Resposta ao degrau a partir do ajuste do PID pelas tabelas de Chien, Hrones e Reswick que visa a otimização da resposta à perturbação, com sobrepasso de 20% da planta $G_1(s)$.

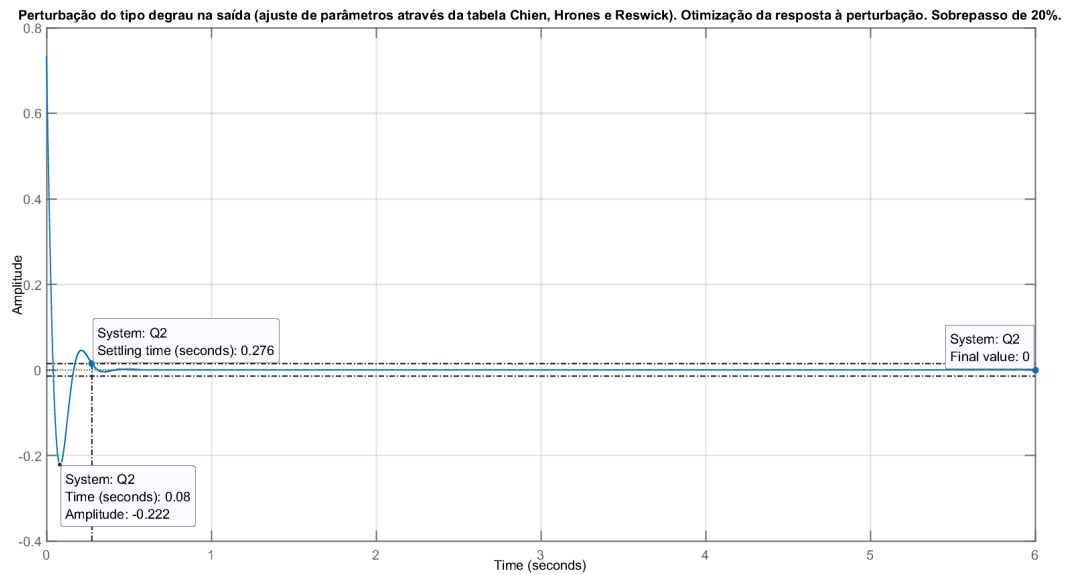


Figura 11: Análise da resposta de uma perturbação do tipo degrau na saída a partir do ajuste do PID pelas tabelas de Chien, Hrones e Reswick que visa a otimização da resposta à perturbação, com sobrepasso de 20% da planta $G_1(s)$.

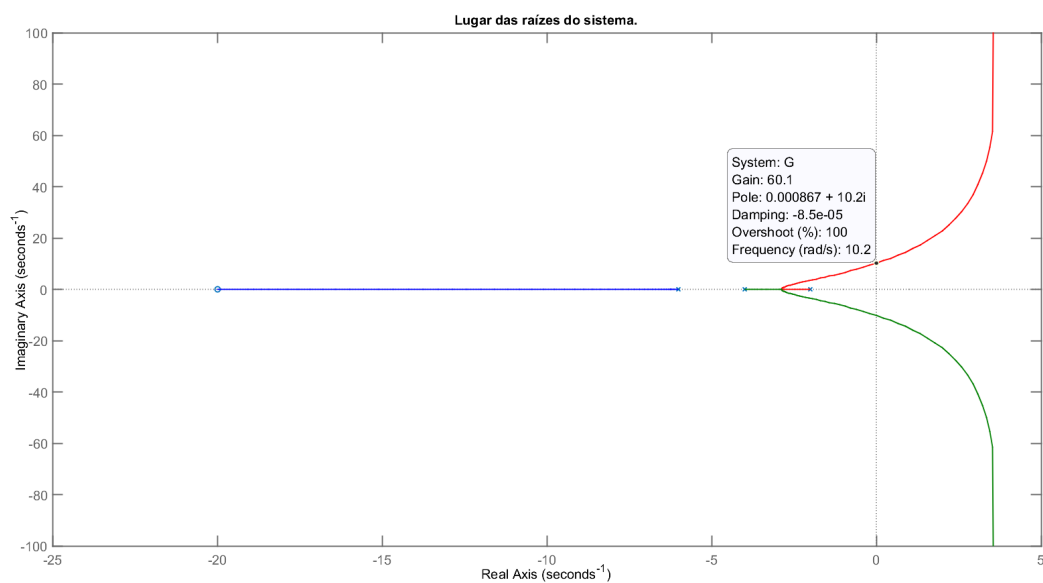


Figura 12: Lugar das raízes da planta $G_2(s)$

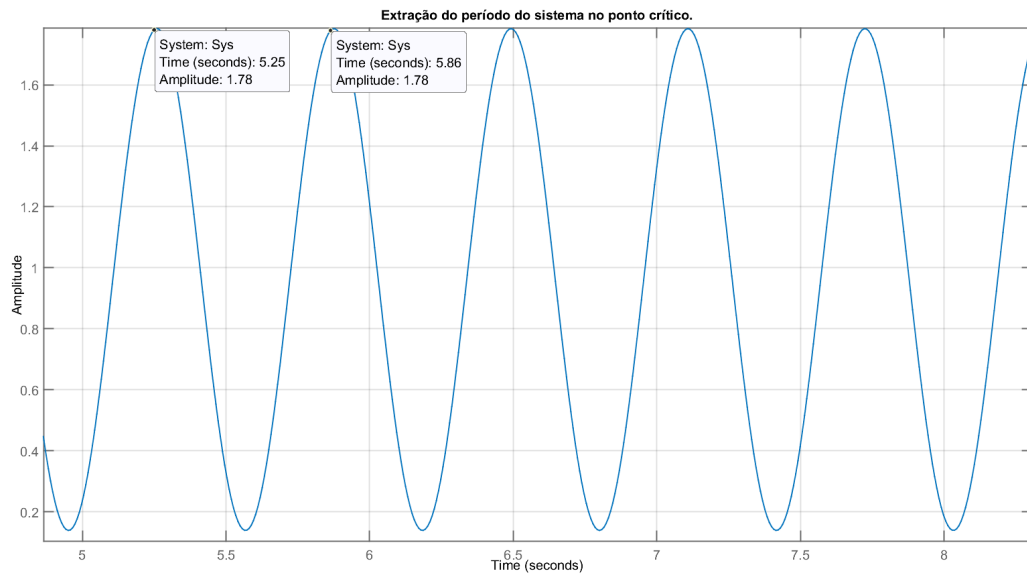


Figura 13: Extração do período do sistema a partir do ponto crítico da planta $G_2(s)$.

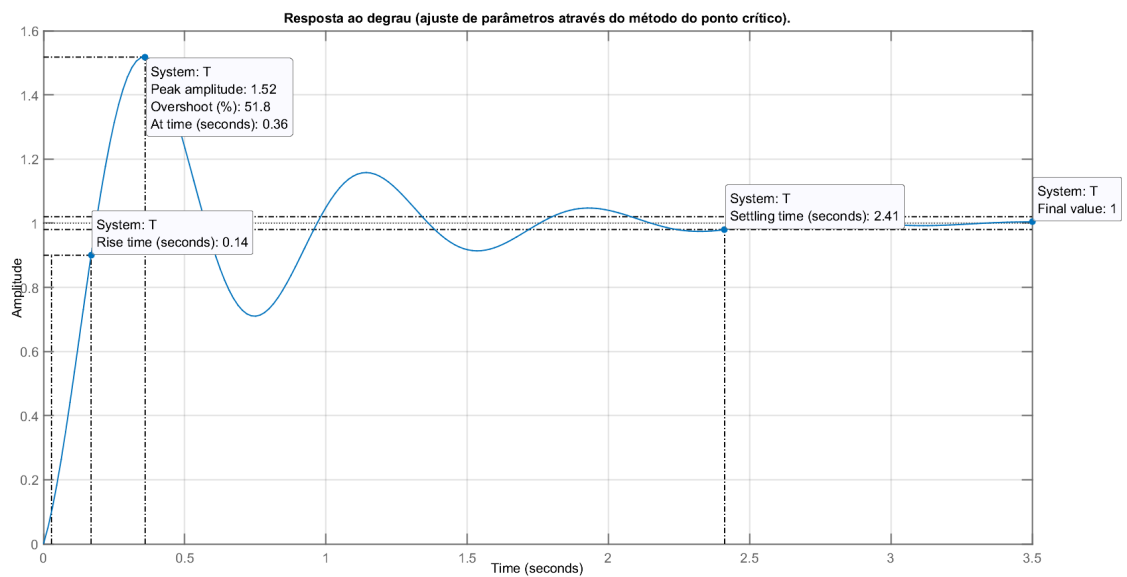


Figura 14: Resposta ao degrau a partir do ajuste do PID pela tabela de Ziegler-Nichols (extração dos parâmetros via método do ponto crítico) da planta $G_2(s)$.

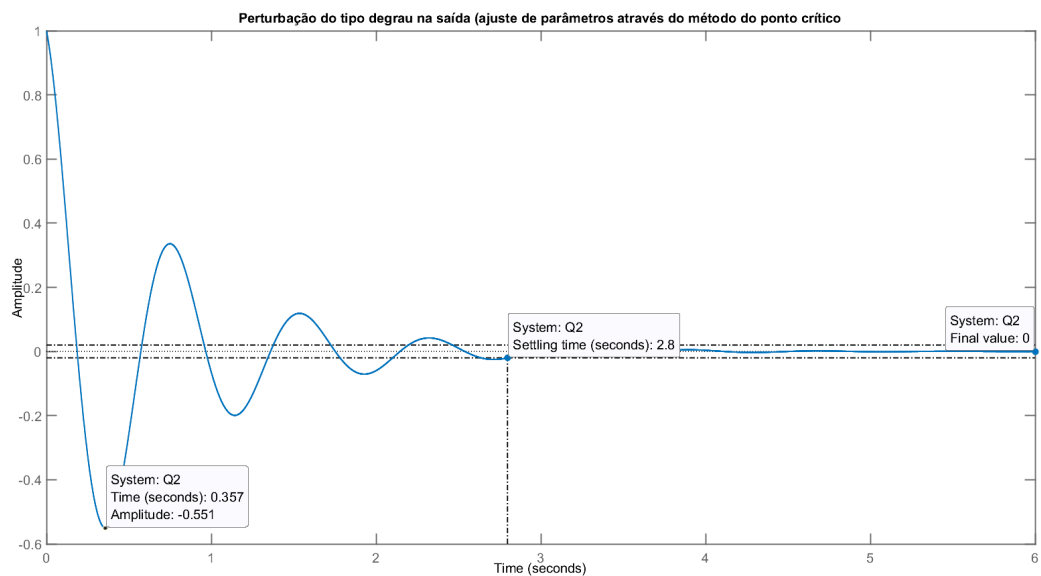


Figura 15: Análise da resposta de uma perturbação do tipo degrau na saída a partir do ajuste do PID pela tabela de Ziegler-Nichols (extração dos parâmetros via método do ponto crítico) da planta $G_2(s)$.

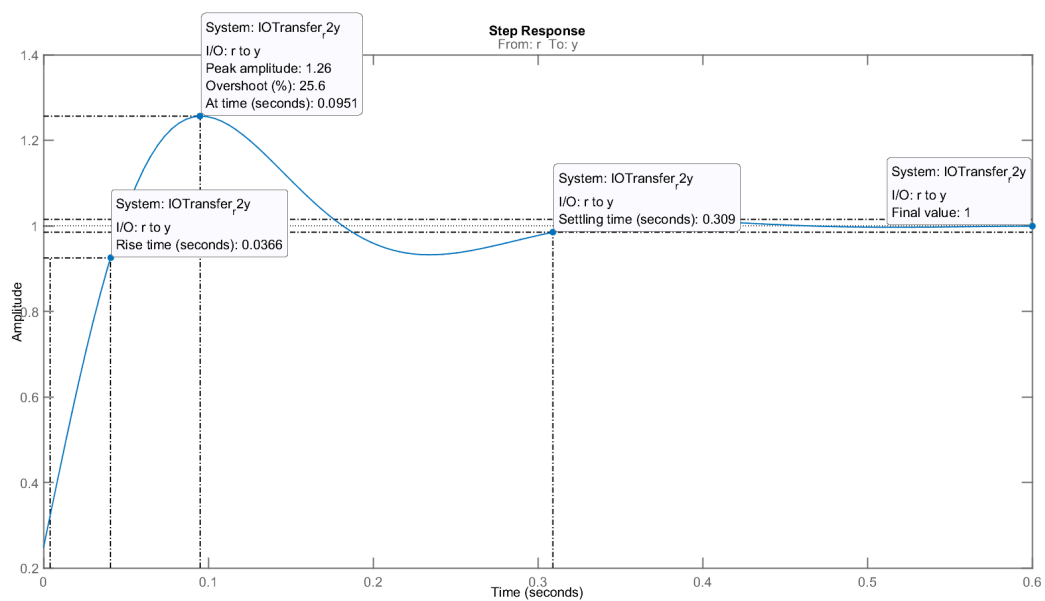


Figura 16: Resposta ao degrau a partir do ajuste do PID pela tabela de Ziegler-Nichols da planta $G_1(s)$ (a partir do método da resposta ao degrau no sisotool).

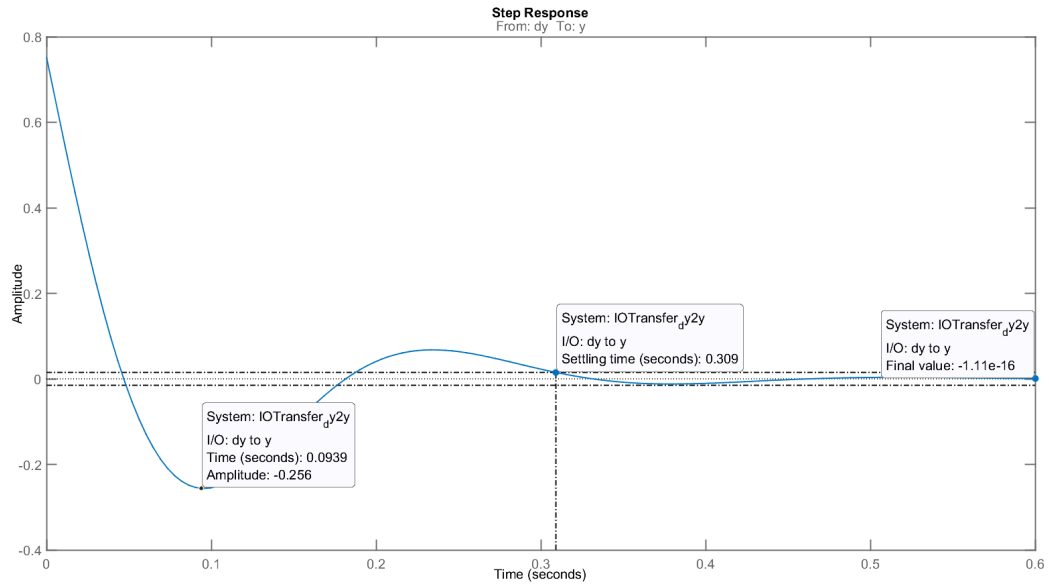


Figura 17: Análise da resposta de uma perturbação do tipo degrau na saída a partir do ajuste do PID pela tabela de Ziegler-Nichols da planta $G_1(s)$ (a partir do método da resposta ao degrau no sisotool).

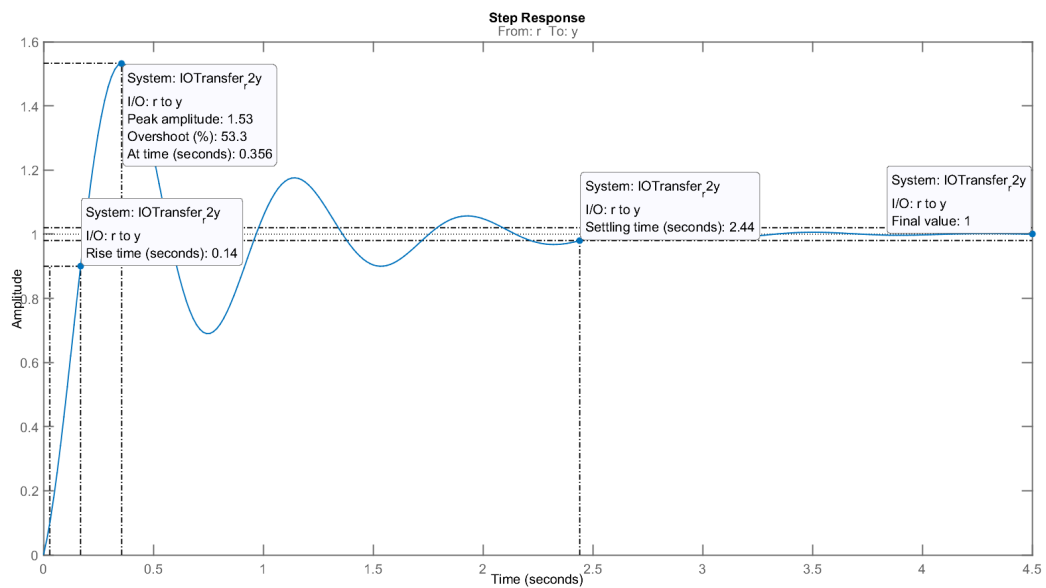


Figura 18: Resposta ao degrau a partir do ajuste do PID pela tabela de Ziegler-Nichols da planta $G_2(s)$ (a partir do método do ponto crítico no sisotool).

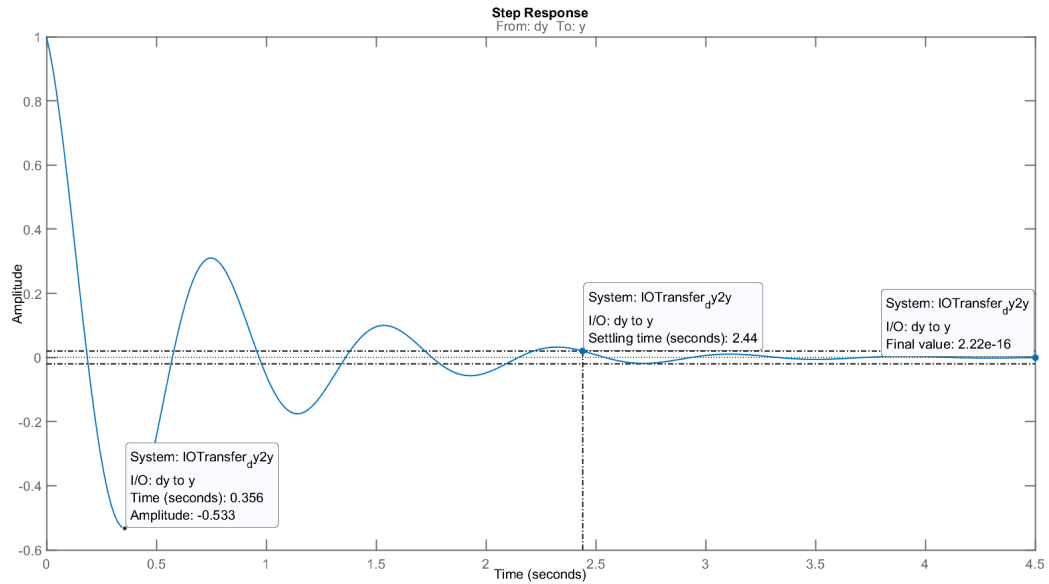


Figura 19: Análise da resposta de uma perturbação do tipo degrau na saída a partir do ajuste do PID pela tabela de Ziegler-Nichols da planta $G_2(s)$ (a partir do método do ponto crítico ao degrau no sisotool).

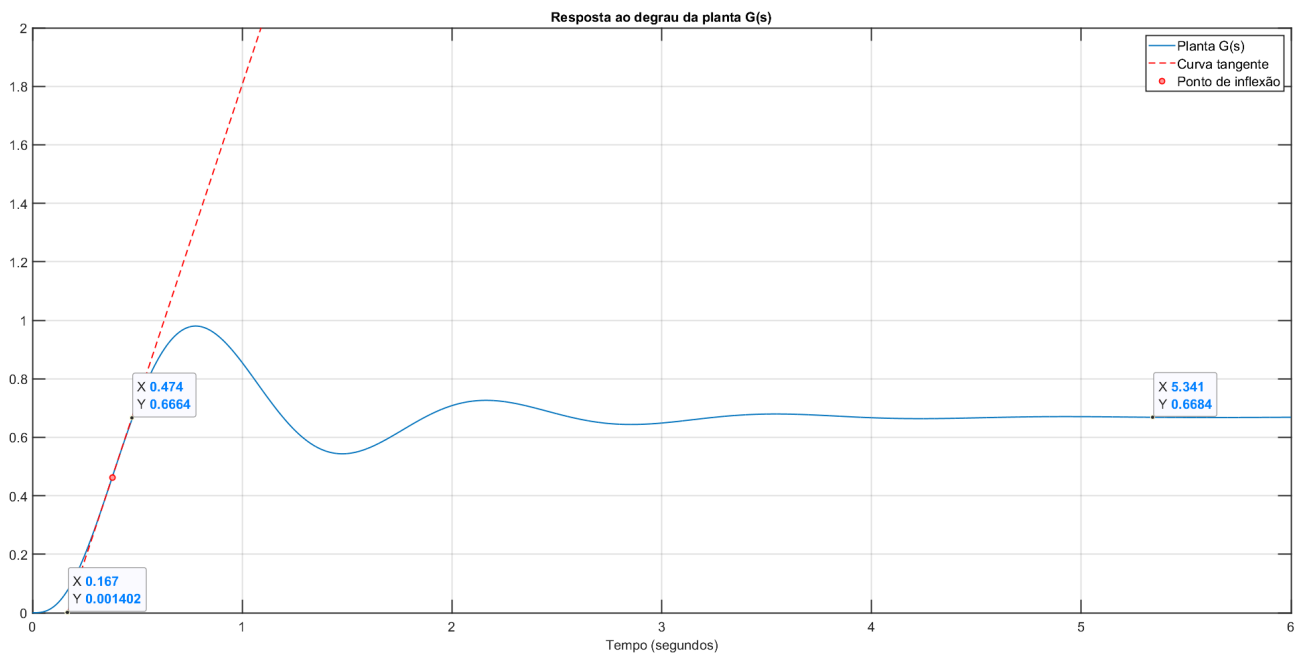


Figura 20: Planta $G(s)$ com um alto sobrepasso.

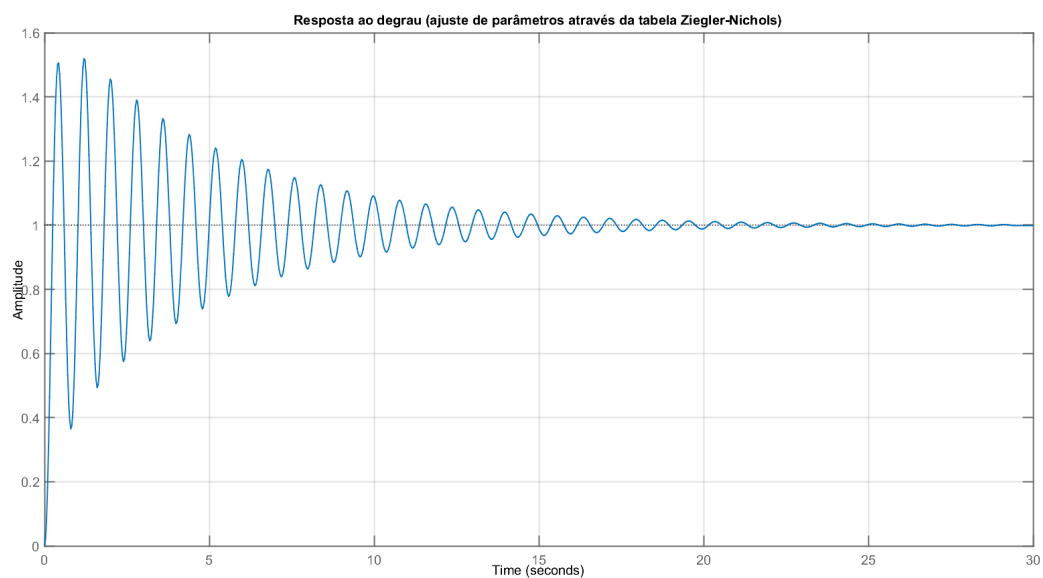


Figura 21: Resposta do sistema quando aplicado o método da resposta ao degrau.

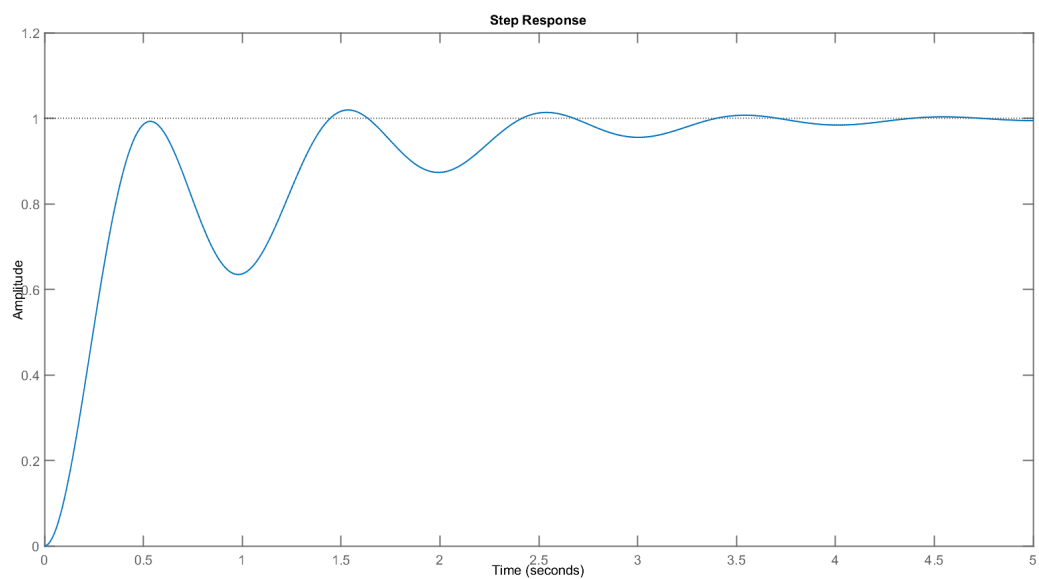


Figura 22: Resposta do sistema quando aplicado o método do ponto crítico.

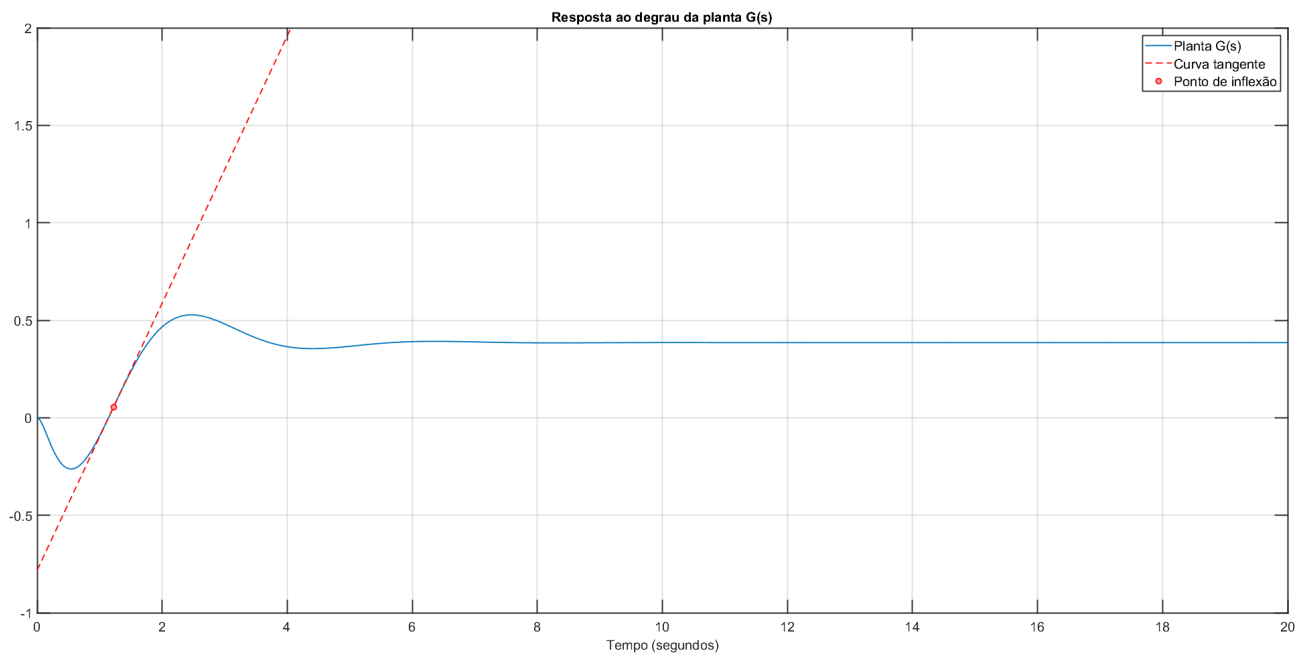


Figura 23: Planta $G(s)$ de fase não mínima.

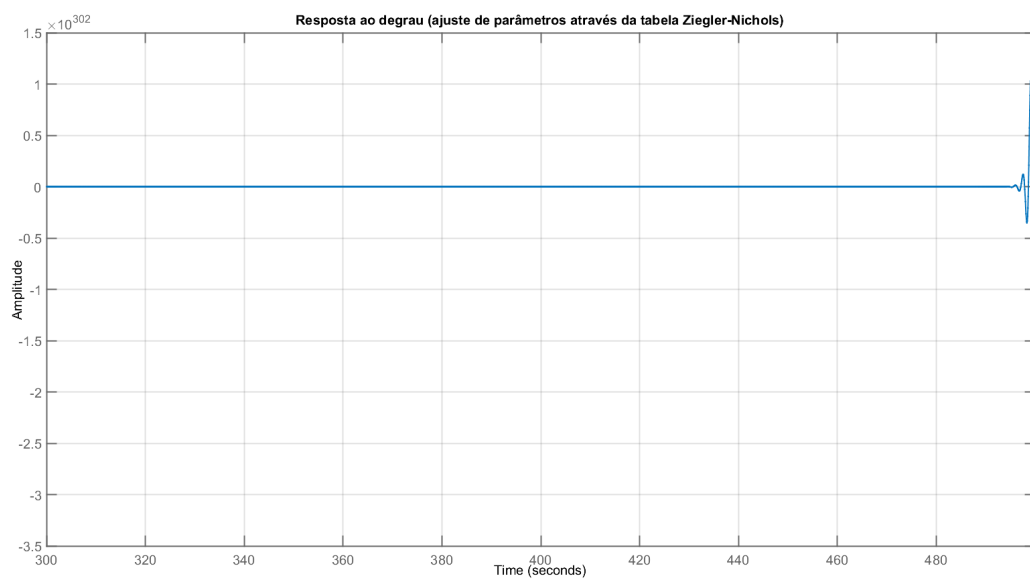


Figura 24: Resposta do sistema quando aplicado o método da resposta ao degrau.

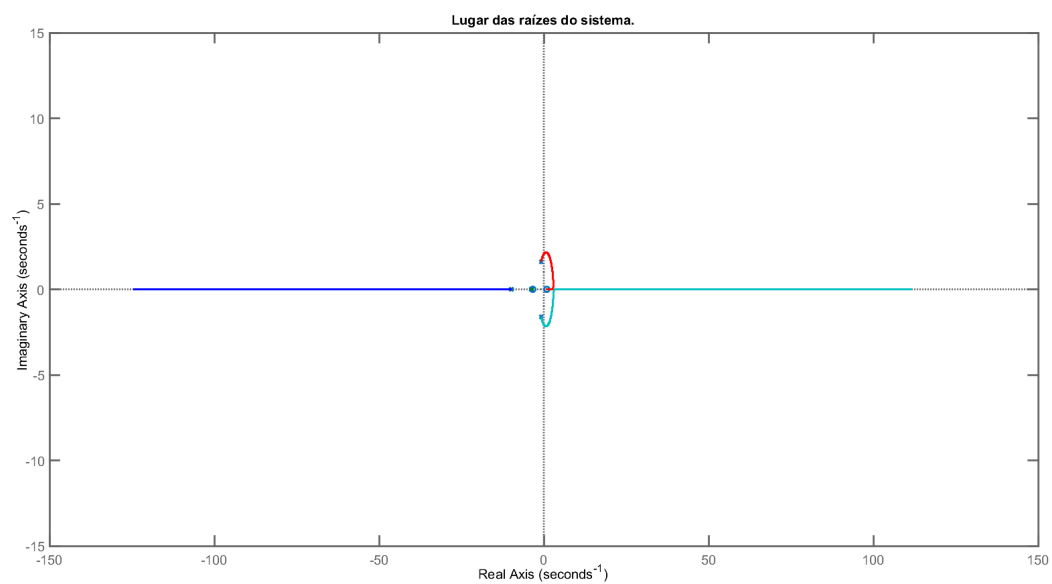


Figura 25: Lugar das raízes da planta $G(s)$

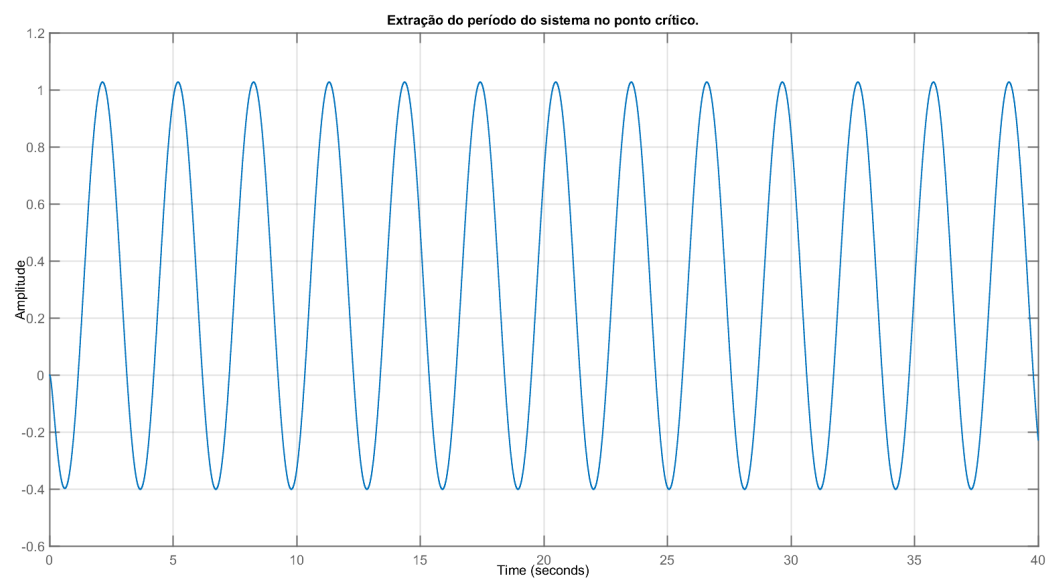


Figura 26: Oscilação através do método do ponto crítico.

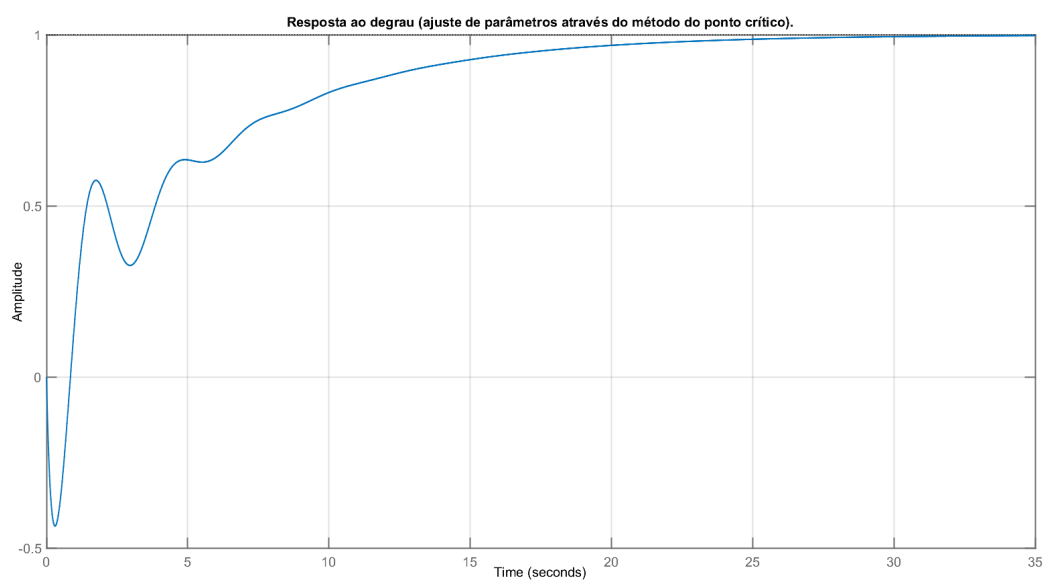


Figura 27: Resposta do sistema quando aplicado o método do ponto crítico.