

7. Cenários Dinâmicos com Malha de Controle de Temperatura

Neste capítulo apresenta-se como a atuação da malha de controle de temperatura da estação de entrega de São Carlos-SP da TBG influencia nos resultados obtidos do cenário dinâmico.

A malha de controle de temperatura é composta por um controlador de temperatura de entrega TIC31 que comanda simultaneamente a fração de abertura das válvulas de três vias TV31A e TV31B; e dois controladores de duas posições TIC60A e TIC60B que comandam o acendimento da chama dos aquecedores indiretos de banho F01A e F01B através do monitoramento da temperatura da água.

O *setpoint* de temperatura do TIC31 é um parâmetro de projeto da estação e não é alterado durante a operação da estação. Os *setpoints* dos controladores de temperatura da água dos aquecedores TIC60A e TIC60B podem ser alterados em função da condição atual de temperatura e pressão de entrada e da vazão de entrega.

Dois cenários dinâmicos foram simulados para avaliar a resposta da malha de controle de temperatura existente. O primeiro trata do cenário de operação com dois aquecedores apresentado no capítulo anterior. O segundo representa um cenário de variação de vazão de entrega.

Por último analisou-se uma malha de controle de temperatura modificada com substituição dois controladores de temperatura do banho (TIC60A e TIC60B) pelo controlador tipo PI TIC33 que utiliza a temperatura de entrega como variável de processo da regulagem da vazão de combustível em cada aquecedor.

7.1. Malha de Controle Existente

O diagrama esquemático ilustrado na Fig. 7.1 apresenta o modelo numérico da estação de São Carlos-SP com inclusão da malha de controle de temperatura existente com indicação dos locais de tomada de temperatura, do valor ajustado

ou *setpoint*, e dos elementos a serem comandados. Nesta seção será apresentada a configuração dos controladores utilizados na malha de controle e depois os resultados dos cenários dinâmicos.

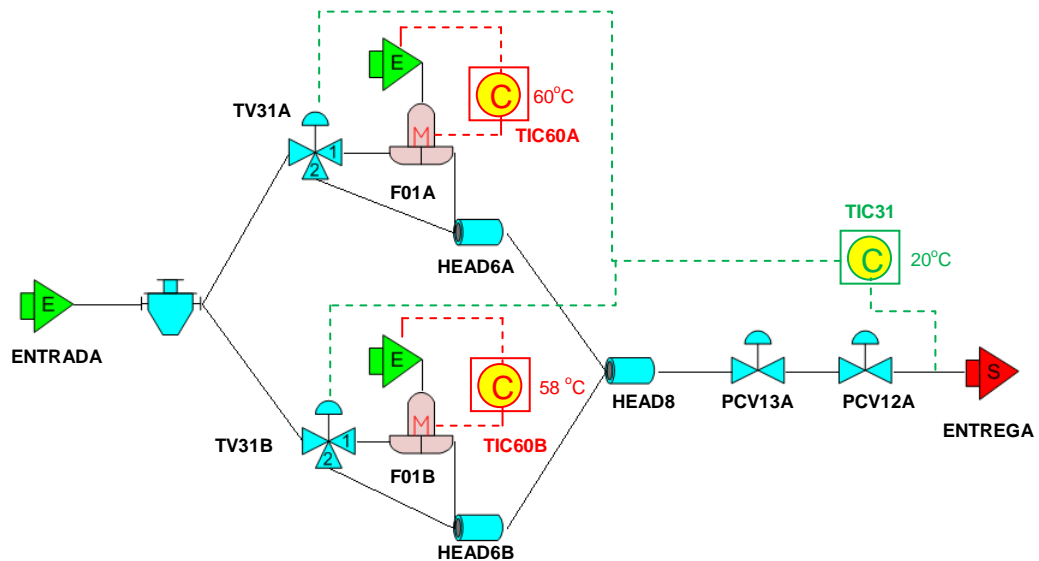


Figura 7.1 – Diagrama da Malha de Controle de Temperatura Existente

7.1.1. Controlador Tipo PI para Temperatura de Entrega (TIC31)

O controlador de temperatura TIC31 é do tipo PI (proporcional-integral) e foi definido no simulador de acordo com os seguintes parâmetros:

- Parâmetros do Controlador TIC31
 - Variável de Entrada (Processo)
 - Temperatura de Saída da PCV12
 - Variável de Saída (Controle)
 - Fração de Abertura da Válvula TV31A
 - Fração de Abertura da Válvula TV31B
 - *Setpoint*: 20 °C
 - Sinal de Entrada Máximo/Mínimo: 60 °C / 0 °C
 - Sinal de Saída Máximo/Mínimo: 1,0 / 0,1
 - Ação do Controlador: Direta
 - Bias do Controlador: 1,0
 - Ganho: 1,0
 - Constante de Integração: 60 seg
 - Velocidade de Resposta: 1,0

7.1.2. Cenário com Dois Aquecedores – Vazão Constante

Neste cenário a composição do gás natural, a condição de pressão do gás de entrada do gás, a equação de estado e os parâmetros de solução são as mesmas estabelecidas no cenário operacional com dois aquecedores apresentado no Capítulo 6. O cenário foi configurado mantendo a temperatura de entrada de 32,4°C e a vazão de entrega de 275 SMm³/dia constantes. O *setpoint* de pressão de entrega foi configurado em 33,4 kgf/cm². A Figura 7.2 apresenta a curva de histórico de vazão nos aquecedores, as temperaturas da água e de saída do gás de processo nos aquecedores F01A e F01B, e também a temperatura à montante da válvula de redução de pressão PCV12A. Nota-se na figura um amortecimento da temperatura de saída dos aquecedores promovida pela atuação do controlador TIC31 que comanda o fluxo de gás nos aquecedores. A Figura 7.3 mostra o histórico de temperatura de entrega e a fração de abertura nas válvulas de três vias TV31A/B, a qual oscila entre 0,9 e 0,7. Ao final deste cenário a temperatura de entrega variou entre 21 e 19,3 °C.

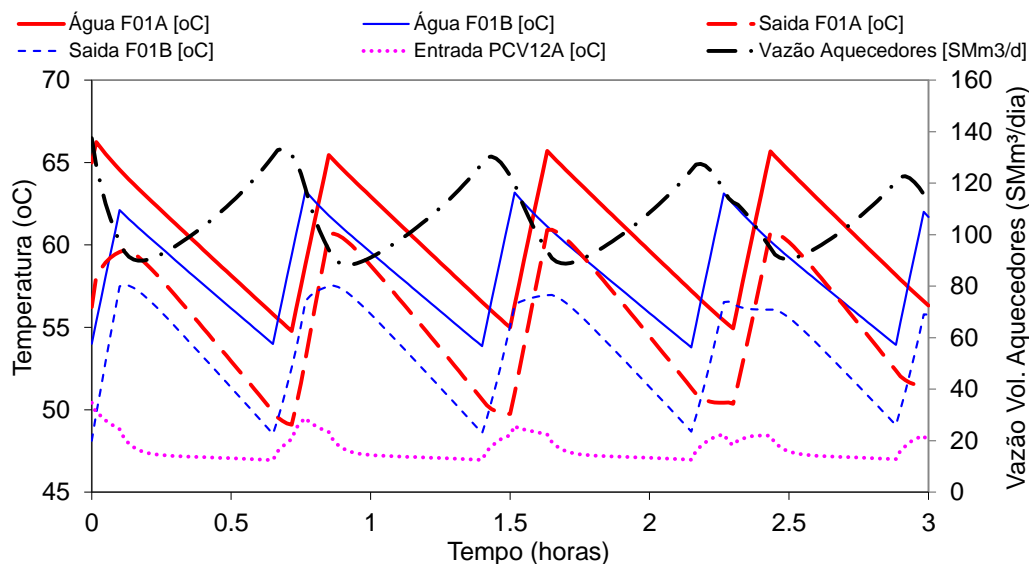


Figura 7.2 – Histórico de vazão e temperaturas nos aquecedores e na entrada da PCV12A (Malha de Controle Existente – Dois Aquecedores)

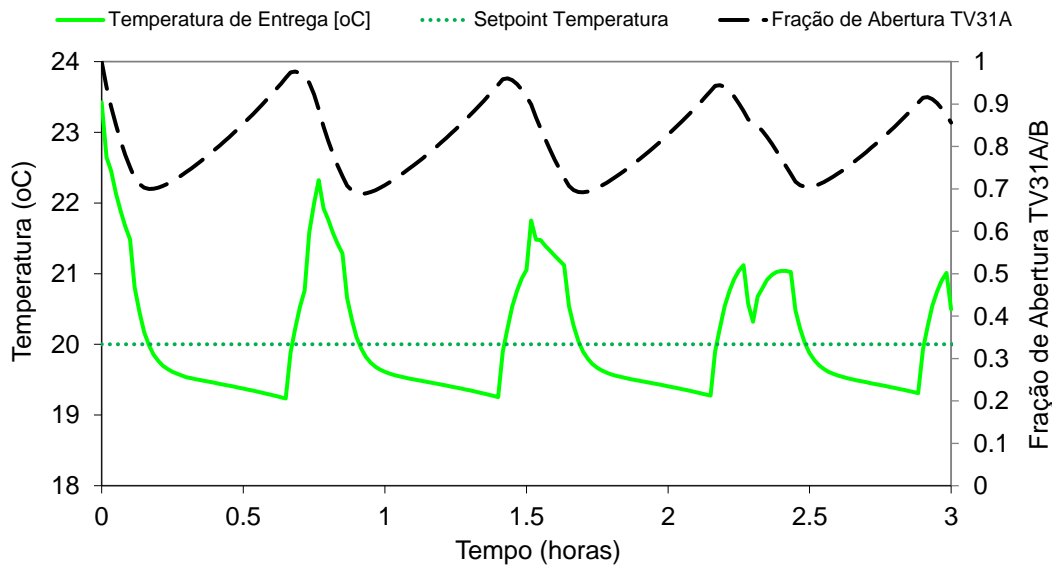


Figura 7.3 – Histórico de temperatura de entrega e fração de abertura das válvulas TV31A/B (Malha de Controle Existente – Dois Aquecedores)

A Figura 7.4 apresenta o volume consumido de combustível e vazão de combustível por aquecedor. Observa-se neste cenário que os aquecedores ficam a maior parte do tempo desligados, e que o consumo total de combustível nos aquecedores F01A e F01B é 24 Sm³ e 32 Sm³, respectivamente.

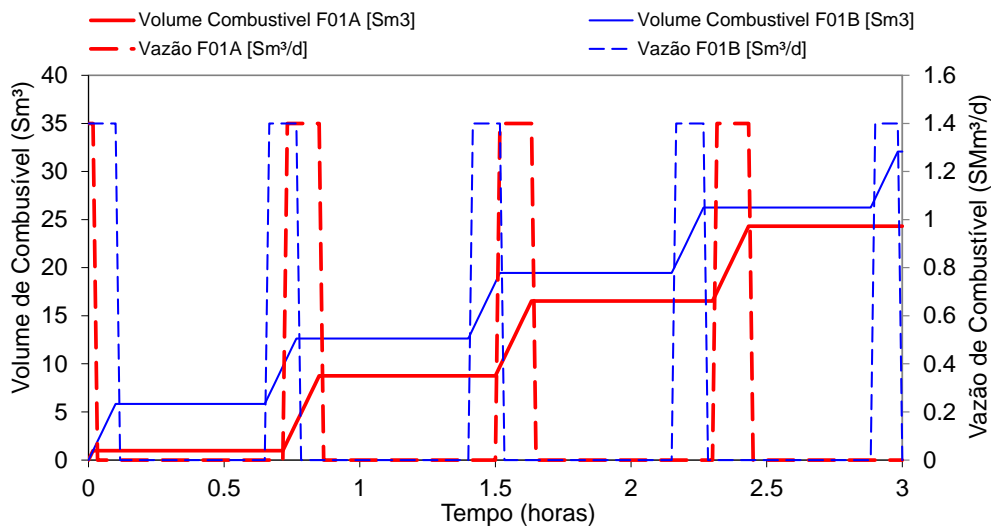


Figura 7.4 – Histórico de consumo de combustível nos aquecedores (Malha de Controle Existente – Dois Aquecedores)

7.1.3. Controlador de Duas Posições para Temperatura do Banho (TIC60A/B)

Os controladores TIC60A e TIC60B de duas posições (ligado-desligado) regulam o acendimento da chama dos aquecedores F01A e F01B. Quando o

controlador está na posição ligado a vazão de combustível no respectivo aquecedor é de 1,4 SMm³/dia. Ambos os controladores foram configurados no simulador com *setpoint* de temperatura, incrementos diferenciais (histereses) e temperaturas iniciais distintos, sendo aqui listados:

- Parâmetros do Controlador TIC60A
 - Temperatura Inicial do Banho: 65 °C
 - *Setpoint*: 60 °C
 - Incremento Diferencial ou Histerese: 5 °C
- Parâmetros do Controlador TIC60B
 - Temperatura Inicial do Banho: 54 °C
 - *Setpoint*: 58 °C
 - Incremento Diferencial ou Histerese: 4 °C

7.1.4.

Cenário com Dois Aquecedores - Variação da Vazão de Entrega

Na Tabela 7.1 é apresentado o cenário de variação da vazão de entrega de gás com o intuito de avaliar a resposta da malha de controle de temperatura com dois aquecedores ligados.

Tabela 7.1 – Cenário de Variação de Vazão de Entrega

Tempo (horas)	Vazão de Entrega (SMm ³ /dia)
0	300
2,0	300
2,1	600
4,0	600
4,1	300
6,0	300
6,1	150
8,0	150

Na Figura 7.6 visualiza-se que a vazão por aquecedor e a temperatura de saída dos aquecedores são influenciados diretamente pela vazão de entrega de gás. Na Figura 7.6 mostra-se que no período entre 2,1 a 4 horas em que a vazão de

entrega é de 600 SMm³/dia, as válvulas de três vias TV31A/B permanecem totalmente abertas e a temperatura de entrega atinge seu valor mínimo 13,8 °C, indicando que o fluxo de calor transferido é insuficiente para regular a temperatura de entrega em 20°C.

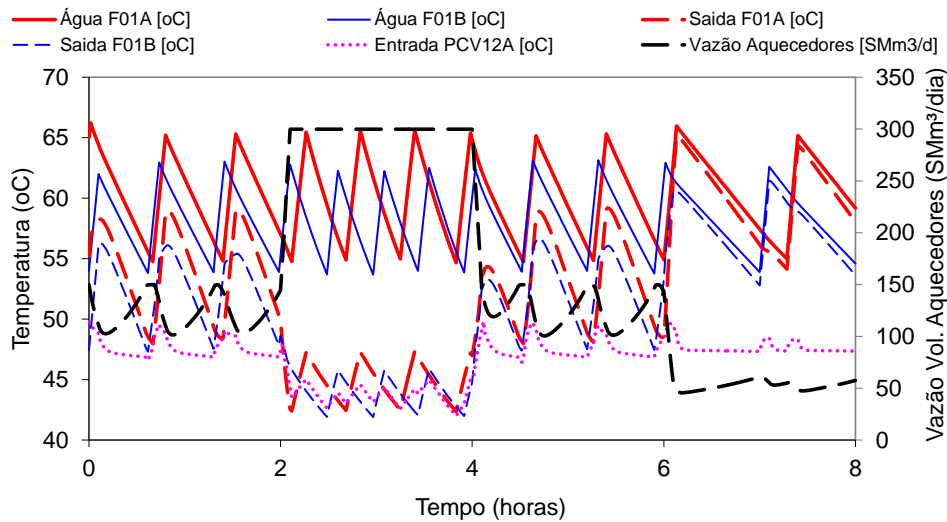


Figura 7.5 – Histórico de vazão e temperaturas nos aquecedores e na entrada da PCV12A (Malha Existente - Variação da Vazão de Entrega)

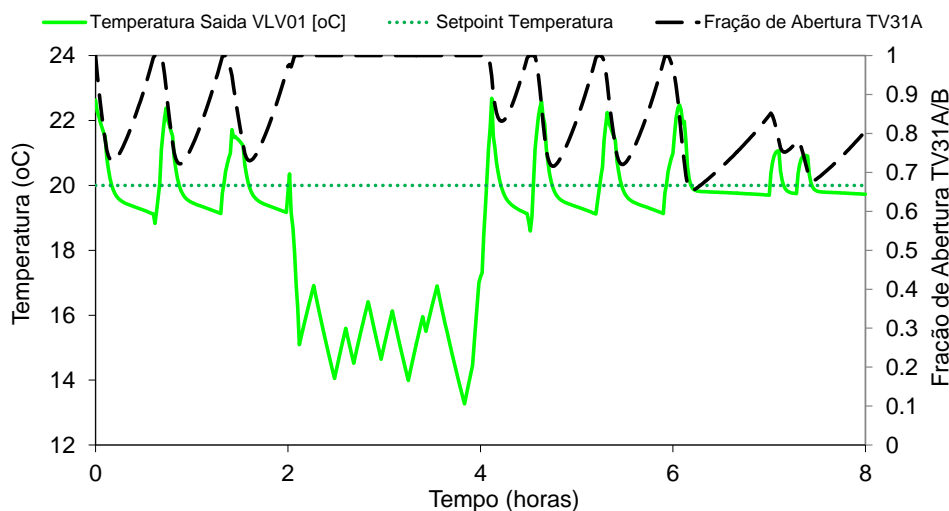


Figura 7.6 – Histórico de temperatura de entrega e fração de abertura das válvulas TV31A/B (Malha Existente - Variação da Vazão de Entrega)

Neste caso o procedimento para compensar um aumento elevado de demanda (dobro da vazão normal de operação) é o acréscimo do *setpoint* de temperatura da água dos aquecedores, visto que a temperatura de saída dos aquecedores decai com aumento do fluxo nos aquecedores. No intervalo entre 6,1h e 8h ocorre uma redução de demanda de gás para metade da vazão operacional que devido à atuação da válvula de três vias não necessita de reajustes

de *setpoint* de temperatura do banho. Na Fig 7.7 é possível avaliar a frequência e o período em que os aquecedores estão ligados e o consumo total de combustível em cada aquecedor: 81,6 Sm³ (F01A) e 71,7 Sm³ (F01B).

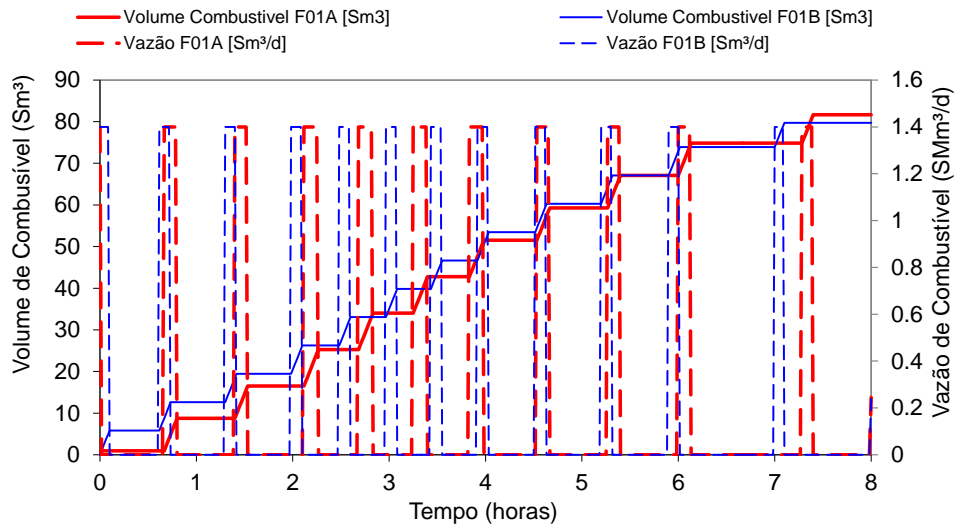


Figura 7.7 – Histórico de consumo de combustível nos aquecedores (Malha Existente - Variação da Vazão de Entrega)

7.2. Malha de Controle de Temperatura Modificada

O diagrama esquemático ilustrado na Fig. 7.8 apresenta o modelo da estação de São Carlos-SP com a malha de controle de temperatura modificada. Nesta nova configuração fez-se a substituição dos controladores de duas posições TIC60A e TIC60B por um controlador PI denominado TIC33, que comanda a injeção de combustível nos aquecedores F01A/B utilizando como variável de processo a temperatura de entrega da estação.

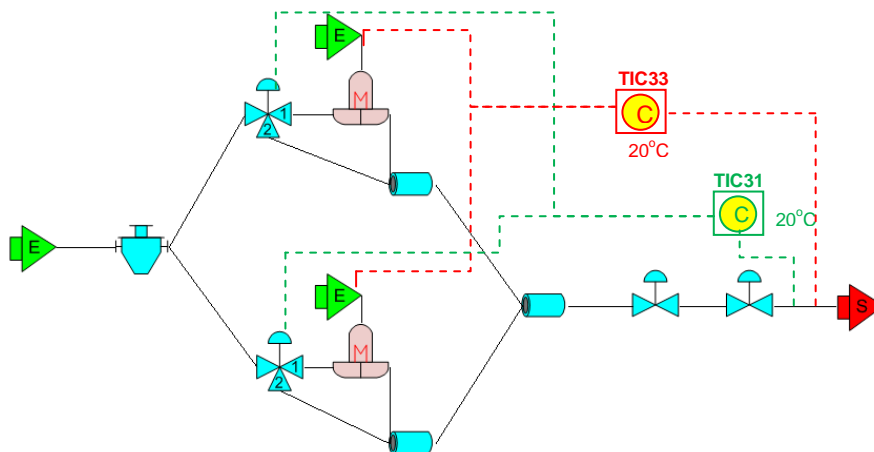


Figura 7.8 – Diagrama da Malha de Controle de Temperatura Modificada

7.2.1. Controlador PI de Vazão de Combustível (TIC33)

O controlador TIC31 é do tipo PI (proporcional e integral) e regula simultaneamente a vazão de combustível dos aquecedores F01A e F01B através da temperatura de entrega da estação. Os parâmetros que definem o controlador são aqui listados:

- Parâmetros dos Controladores TIC33:
 - Variáveis de Entrada (Processo)
 - Temperatura de Saída da PCV12
 - Variáveis de Saída (Controle)
 - Vazão de Combustível F01A
 - Vazão de Combustível F01B
 - *Setpoint*: 20 °C
 - Sinal de Entrada Máximo/Mínimo: 40 °C / 10 °C
 - Sinal de Saída Máximo/Mínimo: 1,4 / 0,0001 SMm³/dia
 - Ação do Controlador: Direta
 - Bias do Controlador: 0,0
 - Ganho: 1,0
 - Constante de Integração: 60 seg
 - Velocidade de Resposta: 1,0

7.2.2. Cenário com Dois Aquecedores – Vazão Constante

Neste item reproduziu-se o cenário dinâmico com dois aquecedores com vazão constante de 275,0 SMm³/dia, mas agora com a malha de controle de temperatura modificada. Observa-se na Fig. 7.9 que embora as temperaturas iniciais sejam diferentes, os aquecedores operam em sintonia, eliminando-se oscilações na abertura das válvulas de três vias provocadas pelo acendimento intermitente da chama dos aquecedores.

Na Figura 7.10 é verificado que para atingir o ponto de equilíbrio de temperatura de entrega de 20 °C é necessária uma fração de abertura de 0,64 e uma vazão de combustível de 0,227 SMm³/dia. O fluxo de calor na condição de

equilíbrio (vazão de combustível) é independente da condição inicial de temperatura da água nos aquecedores.

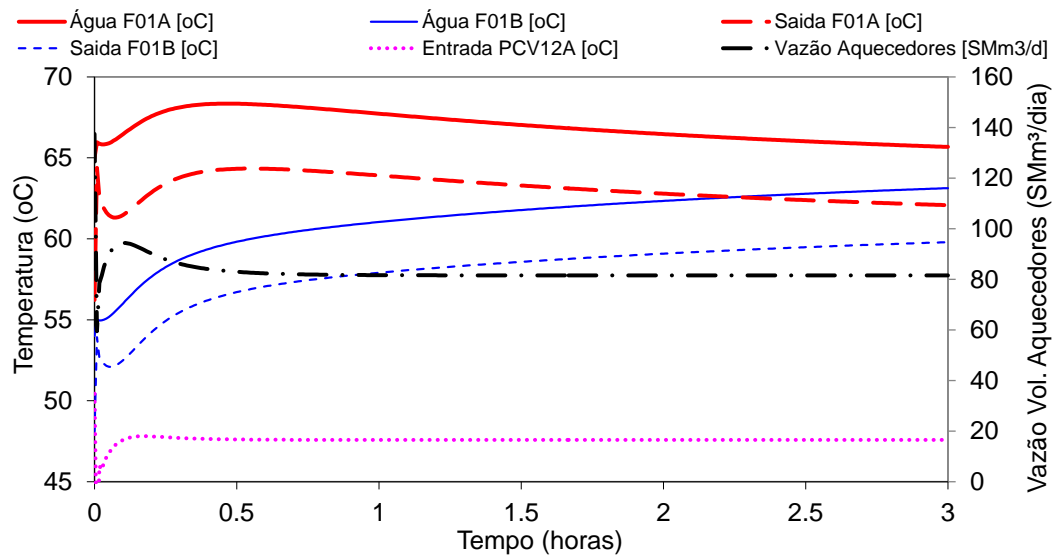


Figura 7.9 – Histórico de vazão e temperaturas nos aquecedores e na entrada da PCV12A (Malha de Controle Modificada – Dois Aquecedores)

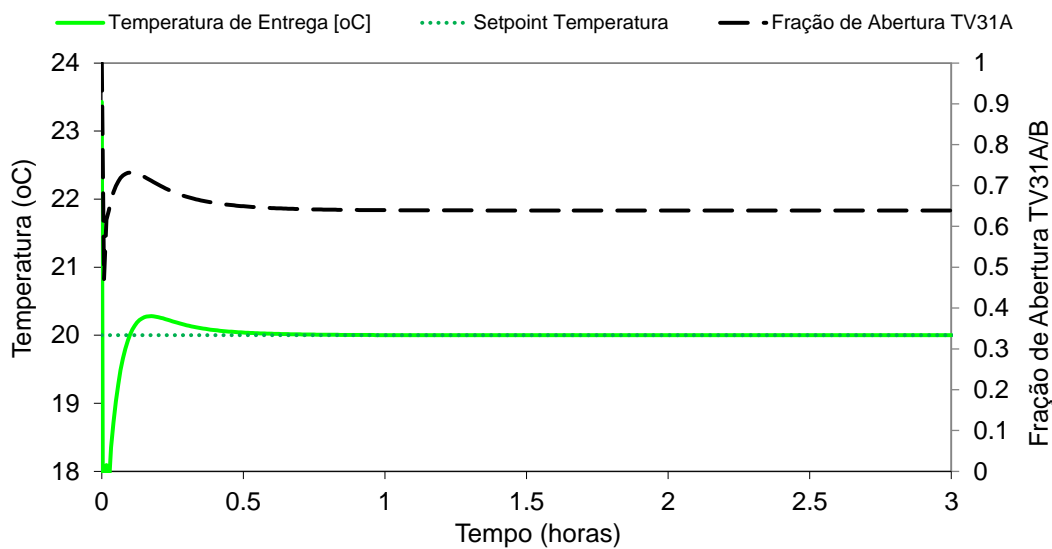


Figura 7.10 – Histórico de temperatura de entrega e fração de abertura das válvulas TV31A/B (Malha de Controle Modificada – Dois Aquecedores)

Na Fig. 7.11 é ilustrado o consumo de combustível e a vazão de combustível por aquecedor. O consumo total de combustível no período foi de 62,2 Sm³, um consumo 11% superior ao da malha de controle existente.

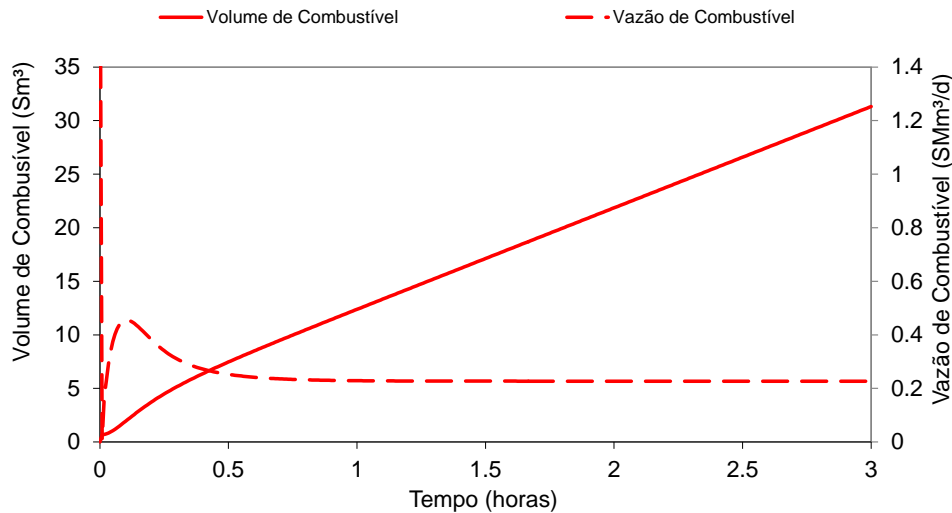


Figura 7.11 – Histórico de consumo de combustível nos aquecedores (Malha de Controle Modificada – Dois Aquecedores)

7.2.3. Cenário com Dois Aquecedores - Variação da Vazão de Entrega

Neste item estudou-se o cenário com variação de vazão de entrega (Tabela 7.1) com a malha de controle de temperatura modificada. A Fig. 7.12 mostra que a rampa na vazão de entrega de 300 para 600,0 Sm³/dia de duração de 6 minutos promove um pico na vazão de gás nos aquecedores e da vazão de gás combustível (Fig 7.14), com conseqüente aumento da temperatura da água nos aquecedores F01A de 74,3 °C e F01B de 71,6 °C.

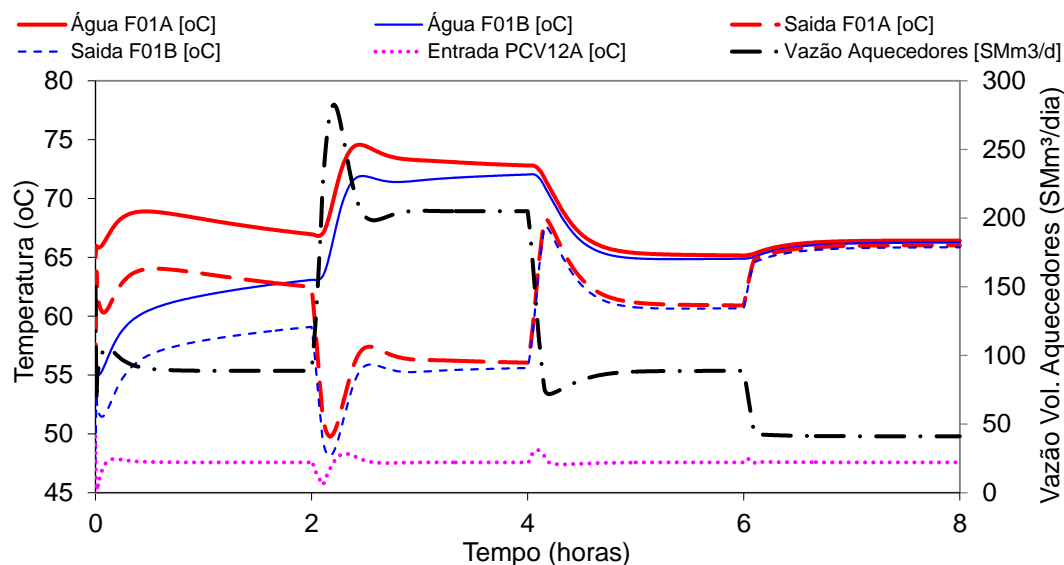


Figura 7.12 – Histórico de vazão e temperaturas nos aquecedores e na entrada da PCV12A (Malha Modificada – Variação da Vazão de Entrega)

Na Fig. 7.13 é possível visualizar que a malha de controle em estudo manteve a regulagem de temperatura de entrega em 20 °C durante o período. Isto foi possível, pois a temperatura da água não foi limitada gerando o aporte adicional necessário no fluxo de calor transferido ao gás. Na Fig. 7.14 ilustra que para manter a regulagem em 20 °C é necessário um volume de combustível de 96 Sm³ por aquecedor com aumento no consumo total de 18,9 % em relação a malha de controle existente.

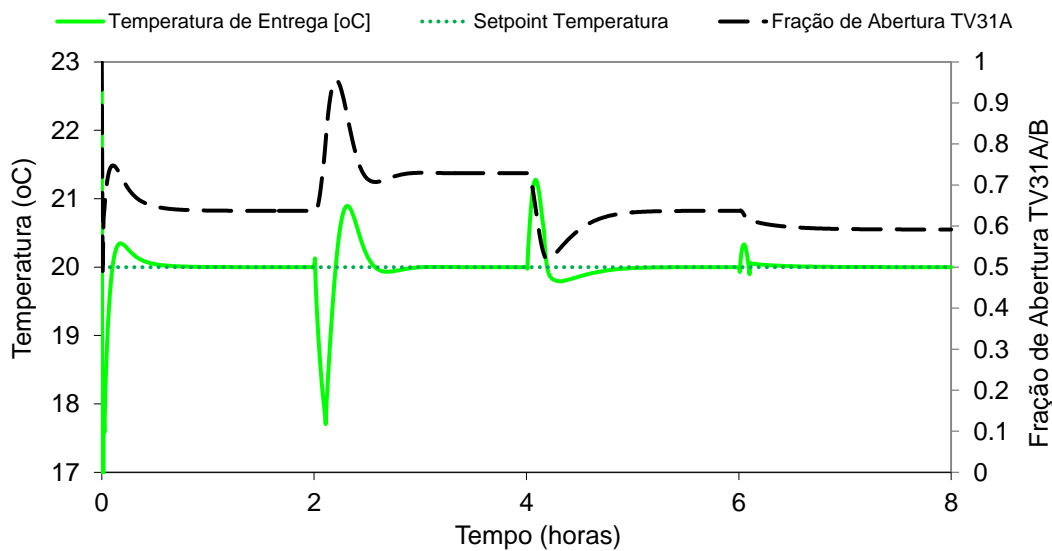


Figura 7.13 – Histórico de temperatura de entrega e fração de abertura das válvulas TV31A/B (Malha Modificada – Variação da Vazão de Entrega)

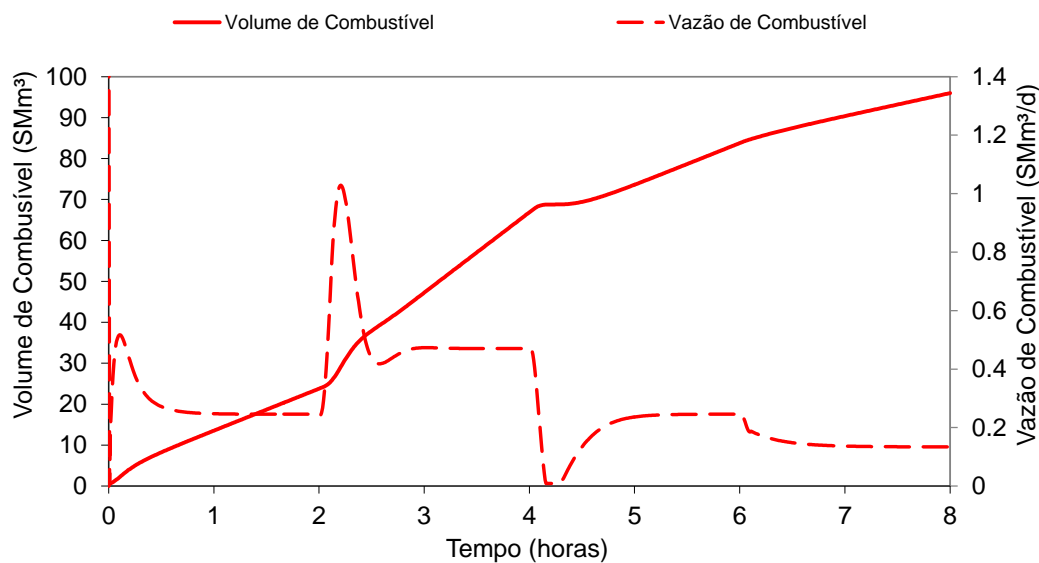


Figura 7.14 – Histórico de consumo de combustível nos aquecedores (Malha Modificada – Variação da Vazão de Entrega)