



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0904576-7 B1



(22) Data do Depósito: 30/11/2009

(45) Data de Concessão: 08/10/2019

(54) Título: MÉTODO PARA CONTROLAR UM SISTEMA DE AQUECIMENTO INDUTIVO DE UM FOGÃO E DISPOSITIVO DE COZIMENTO

(51) Int.Cl.: H05B 6/06.

(30) Prioridade Unionista: 02/12/2008 EP 08 170518.8.

(73) Titular(es): WHIRLPOOL CORPORATION; TEKA INDUSTRIAL S.A..

(72) Inventor(es): ALESSANDRO BOER; FRANCESCO DEL BELLO; DIEGO NEFTALI GUTIERREZ; JURIJ PADERNO; DAVIDE PARACHINI; GIANPIERO SANTACATTERINA.

(57) Resumo: MÉTODO PARA CONTROLAR O SISTEMA DE AQUECIMENTO POR INDUÇÃO DE UM DISPOSITIVO DE COZIMENTO. A presente invenção refere-se a um método para controlar um sistema de aquecimento indutivo de um fogão fornecido com uma bobina de indução, particularmente para controlar em conexão com uma condição de funcionamento predeterminada, compreende avaliar o valor de energia absorvida pelo sistema, medir pelo menos uma temperatura indicativa do estado térmico de pelo menos um elemento do sistema de aquecimento, alimentar o valor de energia avaliado em um modelo de computação capaz de fornecer um valor estimado de temperatura, comparar a temperatura medida com a temperatura estimada e ajustar o modelo de computador com base em tal comparação.

Relatório Descritivo da Patente de invenção para **"MÉTODO PARA CONTROLAR UM SISTEMA DE AQUECIMENTO INDUTIVO DE UM FOGÃO E DISPOSITIVO DE COZIMENTO"**.

5 A presente invenção refere-se a um método para controlar o sistema de aquecimento por indução de um fogão fornecido com uma bobina de indução, particularmente para controlar em conexão com uma condição de funcionamento predeterminada.

Mais especificamente, a invenção refere-se a um método para estimar a temperatura de um utensílio de cozimento colocado no fogão e a temperatura do alimento contido no mesmo, bem como a massa alimentícia.

Com o termo "sistema de aquecimento" entende-se somente a bobina de indução, o circuito de acionamento da mesma e a placa de cerâmica vítrea ou similar, em que o utensílio de cozimento é colocado, mas também o utensílio de cozimento propriamente dito, o conteúdo de alimento do mesmo e qualquer elemento do sistema. Na verdade, nos sistemas de aquecimento por indução é quase impossível fazer uma distinção entre o elemento de aquecimento, em um lado, e o utensílio de cozimento, no outro lado, desde que o utensílio de cozimento propriamente dito seja uma parte ativa do processo de aquecimento.

20 A necessidade crescente de desempenho de fogões em preparação de alimentos é refletida na maneira que a tecnologia está mudando a fim de satisfazer as exigências do consumidor.

As soluções técnicas relacionadas com a avaliação do derivado de temperatura de utensílio de cozimento ou "pote" são conhecidas da EP-A-1732357 e EP-A-1420613, mas nenhuma descreve uma estimativa quantitativa da temperatura do pote.

Informações sobre algoritmos referentes à estimativa de estado (Recursive Least Square, Filter Kalman, Extended Kalman Filter [EKF], etc.) estão disponíveis em literatura científica; nenhuma delas se refere a uma aplicação industrial focalizada em dispositivos de cozimento por indução.

30 É um objetivo da presente invenção fornecer um método de acordo com o qual a temperatura do pote/ou do alimento contido no mesmo

pode ser avaliada em uma maneira segura, particularmente com referência a uma condição de aquecimento em que a temperatura tem que ser mantida substancialmente constante (condução de ebulição ou similar).

De acordo com a invenção, o objetivo acima é alcançado graças
5 aos aspectos listados nas reivindicações anexas.

O método de controle de acordo com a presente invenção é usado para estimar a temperatura do pote, panela ou chapa (no seguinte indicado simplesmente como "pote"), usado no fogão de indução, o estado termodinâmico do alimento dentro do pote (massa e temperatura/entalpia, entropia/energia interna/etc.) e a temperatura da bobina de indução pelo conhecimento de uma estimativa de energia absorvida pelo dispositivo e pelo
10 menos uma informação de temperatura (vidro, bobina, pote, etc.).

Vale salientar que a energia estimada pode ser medida, assumida igual a uma referência predeterminada, ou estimada por uma ou mais
15 medições elétricas.

Em geral, a segurança de estimativa (grosseiramente tal segurança poderia se assumida como uma função da diferença entre o valor real e o valor estimado) fica cada vez melhor quando o número de temperaturas medidas aumenta.

A temperatura de pote estimada pode ser usada, por exemplo, para monitorar ou controlar a dita temperatura; a temperatura de alimento estimado pode ser usada, por exemplo, para monitorar ou controlar a dita temperatura ou fase de cozimento (como detecção de ebulição, controle de ebulição, particularmente no caso em que o alimento é água ou um líquido
20 similar). A massa alimentícia estimada poderia ser usada, por exemplo, para monitorar ou controlar a fase de cozimento. A temperatura de bobina estimada poderia ser usada, por exemplo, para evitar danos.

Qualquer propósito do método de acordo com a invenção é compensar fatores diferentes de ruído que afetam a avaliação da temperatura de pote ou do alimento contido no mesmo, e de sua massa também. Alguns fatores de ruído que podem afetar tal estimativa são, por exemplo, a
30 temperatura de pote/alimento inicial e massa alimentícia inicial, a flutuação

de voltagem de grade elétrica, as tolerâncias/orientação dos componentes, o uso de potes diferentes e os movimentos possíveis do pote a partir de sua posição original.

Aspectos adicionais e vantagens de acordo com a presente invenção tornar-se-ão mais claros a partir da descrição detalhada seguinte com referência aos desenhos anexos em que:

a figura 1 é uma vista esquemática de um fogão de indução;

a figura 2 é um esboço mostrando como funciona o modelo de acordo com a invenção;

a figura 3 é uma vista esquemática de uma implementação possível do método de acordo com a invenção;

a figura 4 mostra dois diagramas comparando as temperaturas relevantes reais (pote e água) e sua estimativa de acordo com a invenção;

a figura 5 é uma figura similar à figura 4 e se refere a uma comparação entre a massa de água real e a estimativa da mesma de acordo com o método da invenção; e

a figura 6 é uma figura similar às figuras 4 e 5 e se refere a uma comparação entre o fluxo de massa real e a estimativa do mesmo.

Com referência à figura 2, uma estimativa da Energia $P(t)$ absorvida pelo dispositivo está disponível (isto é, a energia é medida, a energia é assumida igual a uma referência, a energia é estimada com base em uma ou mais medições elétricas). Uma (ou mais) medição de temperatura $T_1(t)$ é realizada. Tal temperatura pode ser a temperatura da superfície de cerâmica vítrea (como indicado por referência T_vidro na figura 1), ou a temperatura da bobina de indução ou qualquer outra temperatura de um elemento do sistema de aquecimento de indução.

Um modelo matemático, baseado em um equilíbrio térmico total do sistema, provê pelo menos uma estimativa da temperatura (ou temperaturas) $\hat{T}_1(t), \hat{T}_2(t), \hat{T}_3(t), \dots$ do mesmo elemento para o qual a temperatura foi medida usando a estimativa de energia; o modelo pode também fornecer estimativa de outra variável de estado (entalpia, entropia, energia interna, etc.).

Qualquer tipo de algoritmo que ajusta em linha o modelo mate-

mático em função da diferença entre a temperatura estimada e medida pode ser usado, de acordo com a presente invenção.

O ajuste on-line do modelo representa uma maneira de compensar a incerteza do estado inicial - isto é se o modelo é baseado em equações diferenciais, o estado inicial da solução é exigido, mas poderia ser desconhecido; erros de medição (medição é normalmente afetada por ruídos); incertezas de modelo (isto é, cada modelo é uma representação simplificada da realidade e assim é sempre afetado por "incertezas de modelo").

A capacidade em compensar este tipo de incertezas e erros vem de um modelo baseado na abordagem que combina o modelo e a ajuste do mesmo por um retrocesso na diferença entre predição e medidas. Muitos algoritmos estão disponíveis na literatura para fixar estes tipos de problemas (Recursive Least Square, Kalman Filter, Extended Kalman Filter [EKF], etc.).

Seguindo a abordagem geral acima, um exemplo possível de implementação do método no caso em que o conteúdo do pote é água, é mostrado na figura 3, de acordo com a qual o método é também capaz de fornecer a estimativa de massa de água. Neste exemplo específico, o método proposto funciona como segue.

A energia absorvida na bobina $\hat{P}(t)$ pela exigência do usuário é estimada (assumir $\hat{P}(t) = const.$); as temperaturas do vidro e da bobina $T_{vidro}(t), T_{bobina}(t)$ são medidas; é usado o modelo matemático simplificado descrito pelas equações diferenciais seguintes; a fim de completar o método proposto neste exemplo, o método EKF é usado como algoritmo de ajuste em linha.

As equações do modelo propostas para este exemplo são como segue:

$$\begin{aligned}
 C_{BOBINA} \dot{T}_{BOBINA} &= (1 - k_1) \hat{P} - (h_{CA} + h_{GC}) T_{BOBINA} + h_{GC} T_{VIDRO} + h_{CA} T_{AR} \\
 C_{VIDRO} \dot{T}_{VIDRO} &= -(h_{GA} + h_{GC} + h_{PG}) T_{VIDRO} + h_{PG} T_{POTE} + h_{GC} T_{BOBINA} + h_{GA} T_{AR} \\
 C_{POTE} \dot{T}_{POTE} &= k_1 \hat{P} - (h_{PA} + h_{PG} + h_{PW}) T_{POTE} + h_{PW} T_{\acute{a}gua} + h_{PG} T_{VIDRO} + h_{PA} T_{AR} \\
 m_{\acute{a}gua} c_w \dot{T}_{\acute{a}gua} &= -(h_{WA} + h_{PW}) T_{\acute{a}gua} + h_{PW} T_{POTE} + h_{WA} T_{AR} + \dot{m}_{\acute{a}gua} H_{vs}(P_{est}) \\
 \dot{m}_{\acute{a}gua} &= -\frac{P_{evap}}{\lambda(P_{est})} - \sigma \left(k(T_{\acute{a}gua} - T_{SAT}(P_{est}) + T_{sigma}) \right) \left[-(h_{WA} + h_{PW}) T_{\acute{a}gua} + h_{PW} T_{POTE} + h_{WA} T_{AR} - \frac{P_{evap}}{\lambda(P_{est})} H_{vs} \right] / H_{vs} \\
 P_{evap} &= \phi(P_{TV}(T_w) - \eta) \\
 \phi &= const; \quad \eta = const; \quad T_0 = const; \quad T_{sigma} = const; \quad T_{AR} = const; \quad k_1 = const
 \end{aligned}$$

onde:

	C_{BOBINA}	Capacidade térmica equivalente da Bobina;
	C_{VIDRO}	Capacidade térmica equivalente do Vidro;
	C_{POTE}	Capacidade térmica equivalente do Pote;
5	c_w	Capacidade térmica específica da água;
	T_{BOBINA}	Temperatura da bobina;
	T_{VIDRO}	Temperatura do vidro;
	T_{POTE}	Temperatura do pote;
	$T_{água}$	Temperatura da água;
10	$m_{água}$	Massa de água;
	P	Energia ativa total absorvida na bobina;
	h_{CA}	coeficiente de transferência de calor da bobina para ar multiplicado pela superfície relativa;
	h_{GA}	coeficiente de transferência de calor do vidro para ar multiplicado pela superfície relativa;
15	h_{PA}	coeficiente de transferência de calor do pote para ar multiplicado pela superfície relativa;
	h_{WA}	coeficiente de transferência de calor da água para ar multiplicado pela superfície relativa;
20	h_{GC}	coeficiente de transferência de calor do vidro para bobina multiplicado pela superfície relativa;
	h_{PG}	coeficiente de transferência de calor do pote para vidro multiplicado pela superfície relativa;
	h_{PW}	coeficiente de transferência de calor do pote para água multiplicado pela superfície relativa;
25	$P_{TV}(T_w)$	tensão de superfície na temperatura T_w ;
	$\lambda(P_{est})$	calor latente de evaporação de água na pressão P_{est}
	$H_{vs}(P_{est})$	entalpia de vapor saturado na pressão P_{est} ;
	$\sigma(k)$	função sigmoide.
30	Este exemplo de modelo fornece uma estimativa de diferentes temperaturas de interesse (neste caso $T_{bobina}(t), T_{vidro}(t), T_{pote}(t), T_{água}(t)$), pelo menos uma das quais deve ser mensurável ($T_{bobina}(t), T_{vidro}(t)$), a estimativa da	

massa de água ($\hat{m}_{\text{água}}(t)$), e usa a energia estimada absorvida na bobina ($\hat{P}(t)$). Os mesmos resultados podem ser obtidos usando apenas outra temperatura medida in outros locais.

- Portanto, de acordo com o exemplo acima, o esboço geral da figura 2 é modificado como na figura 3, onde o elemento "K" representa a Matriz Kalman.

Para a estrutura experimental a requerente escolheu:

$$1 \text{ [kg] de água a } 21 \text{ [}^\circ\text{]} \rightarrow T_{\text{água}}(t=0) = 21 \text{ [}^\circ\text{]}$$

$$\text{Pote em } 21 \text{ [}^\circ\text{]} \rightarrow T_{\text{POTE}}(t=0) = 21 \text{ [}^\circ\text{]}$$

- As condições iniciais usadas pela requerente (no modelo) para testar o método são como segue:

$$\begin{aligned} \hat{T}_{\text{BOBINA}}(t=0) &= T_{\text{BOBINA}}(t=0) = 27 \text{ [}^\circ\text{]} \\ \hat{T}_{\text{VIDRO}}(t=0) &= T_{\text{VIDRO}}(t=0) = 29 \text{ [}^\circ\text{]} \\ \hat{T}_{\text{POTE}}(t=0) &= 33 \text{ [}^\circ\text{]} \\ \hat{T}_{\text{água}}(t=0) &= 31 \text{ [}^\circ\text{]} \\ \hat{m}_{\text{água}}(t=0) &= 0,8 \text{ [kg]} \end{aligned}$$

Nas condições iniciais acima, a requerente dividiu em duas partes:

- a primeira é composta pela informação medida ($T_{\text{bobina}}(t)$ $T_{\text{vidro}}(t)$) em cada tempo, assim também no começo;
- a segunda, em vez disto, é composta por informação indisponível: algumas suposições devem ser feitas introduzindo, como já foi dito, algum tipo de incertezas. A seguir ficará claro que o método é capaz de compensar esta falta de informação. Os valores foram escolhidos com o objetivo de mostrar a capacidade do método proposto para compensar a diferença entre as condições iniciais e a temperatura real e a massa de água do sistema no começo do processo.

Os resultados do algoritmo são mostrados nas figuras 4 a 6.

- A presente invenção pode ser usada para aperfeiçoar os desempenhos de um fogão de indução, para fornecer mais informação sobre o estado da fase de cozimento e permitir novos aspectos de produto. Em particular os principais benefícios são:

- a temperatura de pote estimada pode ser usada, por exemplo,

para monitorar e controlar a dita temperatura;

- conhecendo o tipo de alimento, o modelo de computação é capaz de detectar uma condição de funcionamento ótimo predeterminado, por exemplo, a temperatura ótima para a reação de Maillard (se o alimento é carne ou similar);

- a temperatura de alimento estimada pode ser usada, por exemplo, para monitorar ou controlar a dita temperatura ou fase de cozimento (como detecção de ebulição ou controle de ebulição no caso do "alimento" ser "água" ou tipo similar de líquidos);

- a massa de alimento estimado pode ser usado, por exemplo, para monitorar ou controlar a fase de cozimento;

- a temperatura de bobina estimada pode ser usada, por exemplo, para impedir danos à bobina de indução.

Mesmo se o método de controle de acordo com a presente invenção é primariamente para aplicações em fogões ou similares, pode ser usado em fornos de indução também.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para controlar um sistema de aquecimento indutivo de um fogão fornecido com uma bobina de indução, particularmente para controlar em conexão com uma condição de funcionamento predeterminada,
5 **caracterizado pelo fato de** que compreende avaliar o valor de energia absorvida pelo sistema, medir pelo menos uma temperatura indicativa do estado térmico de pelo menos um elemento do sistema de aquecimento, alimentar o valor de energia avaliado em um modelo de computação capaz de fornecer um valor estimado de temperatura, comparar a temperatura medida
10 com a temperatura estimada e ajustar o modelo de computador com base em tal comparação.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de** que o modelo de computação é capaz de fornecer uma temperatura estimada do utensílio de cozimento colocado no fogão e/ou do alimento con-
15 tido no mesmo.

3. Método, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado pelo fato de** que o alimento é água ou líquido similar, em que a condição de funcionamento predeterminada é uma condição de ebulição.

4. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo**
20 **fato de** que conhecendo o tipo de alimento, o modelo de computação é capaz de detectar uma condição de funcionamento predeterminada.

5. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, **caracterizado pelo fato de** que o valor da energia absorvida pelo sistema é medido.

25 6. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, **caracterizado pelo fato de** que o valor da energia absorvida pelo sistema é assumido igual a um valor de referência predeterminado.

7. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, **caracterizado pelo fato de** que o valor da energia absorvida pelo sistema
30 é estimado com base em uma ou mais medidas de parâmetros elétricos do sistema.

8. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações

precedentes, **caracterizado pelo fato de** que ele compensa pelo menos um dos seguintes: as incertezas de estado(s) inicial em temperaturas e massa, a variação de um utensílio de cozimento para outro, qualquer movimento do utensílio de cozimento, ruídos elétricos ou combinação dos mesmos.

5 9. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, **caracterizado pelo fato de** que estima pelo menos outro parâmetro do modelo de computação diferente de temperatura.

10 10. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, **caracterizado pelo fato de** que o modelo de computação usa um ou mais valores medidos elétricos para aperfeiçoar o controle de desempenhos.

11. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, **caracterizado pelo fato de** que o modelo de computação usa as equações seguintes:

$$\begin{aligned}
 C_{BOBINA} \dot{T}_{BOBINA} &= (1 - k_1) \dot{P} - (h_{CA} + h_{GC}) T_{BOBINA} + h_{GC} T_{VIDRO} + h_{CA} T_{AR} \\
 C_{VIDRO} \dot{T}_{VIDRO} &= -(h_{GA} + h_{GC} + h_{PG}) T_{VIDRO} + h_{PG} T_{POTE} + h_{GC} T_{BOBINA} + h_{GA} T_{AR} \\
 C_{POTE} \dot{T}_{POTE} &= k_1 \dot{P} - (h_{PA} + h_{PG} + h_{PW}) T_{POTE} + h_{PW} T_{\acute{a}gua} + h_{PG} T_{VIDRO} + h_{PA} T_{AR} \\
 m_{\acute{a}gua} c_W \dot{T}_{\acute{a}gua} &= -(h_{WA} + h_{PW}) T_{\acute{a}gua} + h_{PW} T_{POTE} + h_{WA} T_{AR} + \dot{m}_{\acute{a}gua} H_{vs}(P_{est}) \\
 \dot{m}_{\acute{a}gua} &= -\frac{P_{evap}}{\lambda(P_{est})} - \sigma \left(k(T_{\acute{a}gua} - T_{SAT}(P_{est}) + T_{sigma}) \right) \left[- (h_{WA} + h_{PW}) T_{\acute{a}gua} + h_{PW} T_{POTE} + h_{WA} T_{AR} - \frac{P_{evap}}{\lambda(P_{est})} H_{vs} \right] / H_{vs}
 \end{aligned}$$

$$P_{evap} = \phi(P_{TV}(T_W) - \eta)$$

$$\phi = const; \quad \eta = const; \quad T_0 = const; \quad T_{sigma} = const; \quad T_{AR} = const; \quad k_1 = const$$

onde:

	C_{BOBINA}	Capacidade térmica equivalente da Bobina;
	C_{VIDRO}	Capacidade térmica equivalente do Vidro;
	C_{POTE}	Capacidade térmica equivalente do Pote;
20	c_W	Capacidade térmica específica da água;
	T_{BOBINA}	Temperatura da bobina;
	T_{VIDRO}	Temperatura do vidro;
	T_{POTE}	Temperatura do pote;
	$T_{\acute{a}gua}$	Temperatura da água;
25	$m_{\acute{a}gua}$	Massa de água;
	P	Energia ativa total absorvida na bobina;
	h_{CA}	coeficiente de transferência de calor da bobina para ar;

	h_{GA}	coeficiente de transferência de calor do vidro para ar;
	h_{PA}	coeficiente de transferência de calor do pote para ar;
	h_{WA}	coeficiente de transferência de calor da água para ar;
	h_{GC}	coeficiente de transferência de calor do vidro para bobina;
5	h_{PG}	coeficiente de transferência de calor do pote para vidro;
	h_{PW}	coeficiente de transferência de calor do pote para água;
	$P_{TV}(T_W)$	tensão de superfície na temperatura T_W ;
	$\lambda(P_{est})$	calor latente de evaporação de água na pressão P_{est}
	$H_{vs}(P_{est})$	entalpia de vapor saturado na pressão P_{est} ;
10	$\sigma(k)$	função sigmoide.

12. Dispositivo de cozimento compreendendo um sistema de aquecimento por indução com uma bobina de indução e um circuito de controle, **caracterizado pelo fato de** que o circuito de controle é adaptado para medir pelo menos uma temperatura indicativa do estado térmico de pelo
- 15 menos um elemento do sistema de aquecimento e compreende um modelo de computação adaptado para ser alimentado com valor avaliado da energia absorvida pelo sistema, tal modelo de computação sendo adaptado para fornecer um valor de temperatura estimado e comparar tal valor com a temperatura medida a fim de ajustar o modelo de computação com base em tal
- 20 comparação.

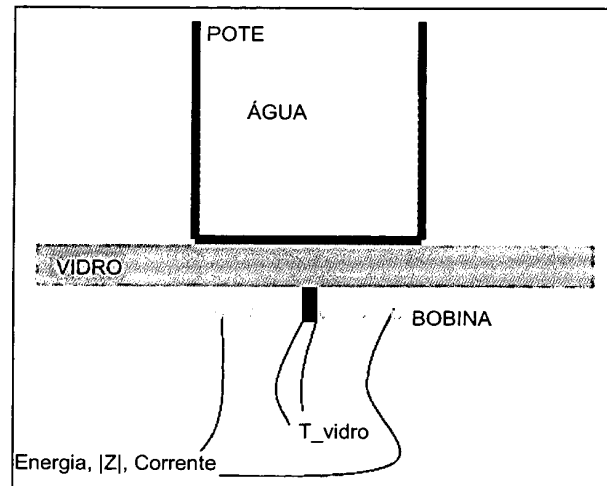


Fig. 1

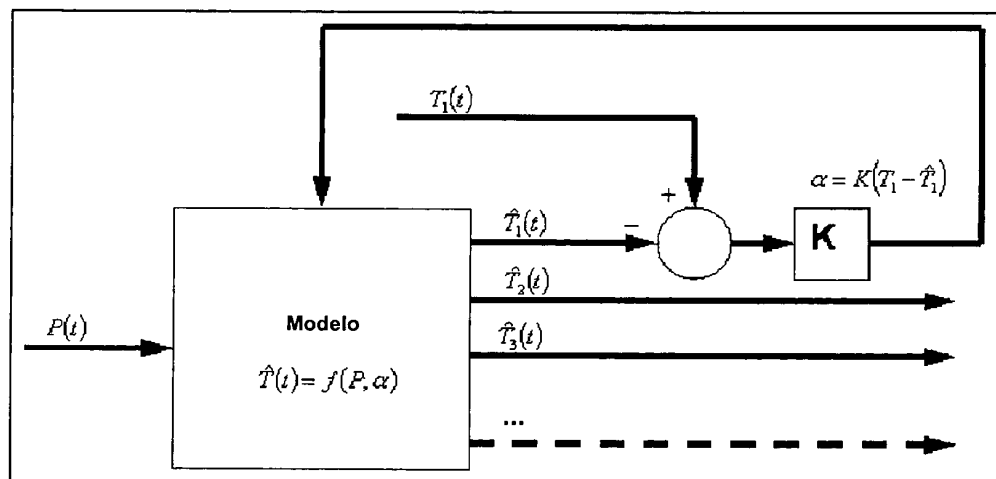


Fig. 2

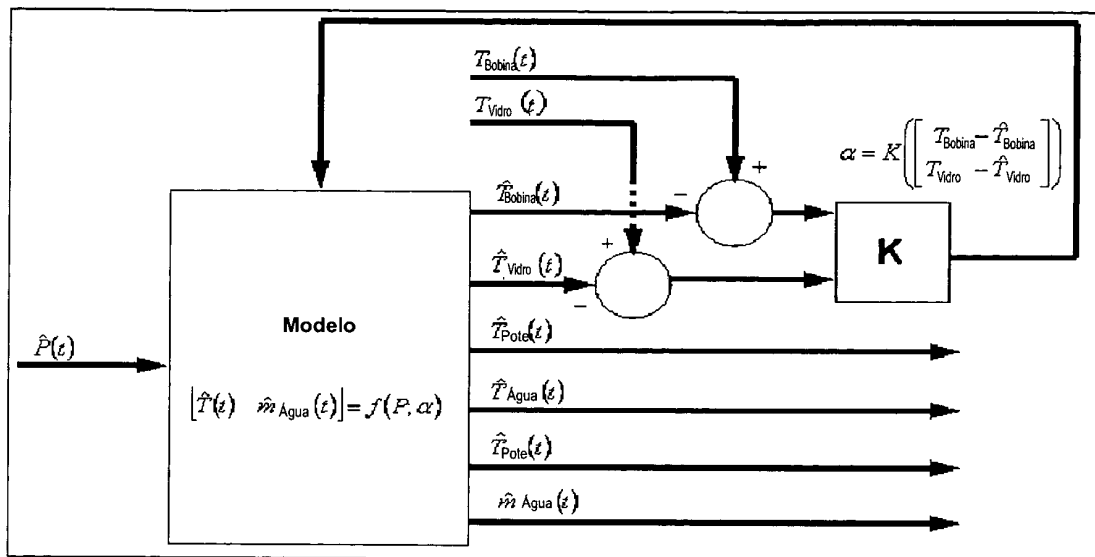


Fig. 3

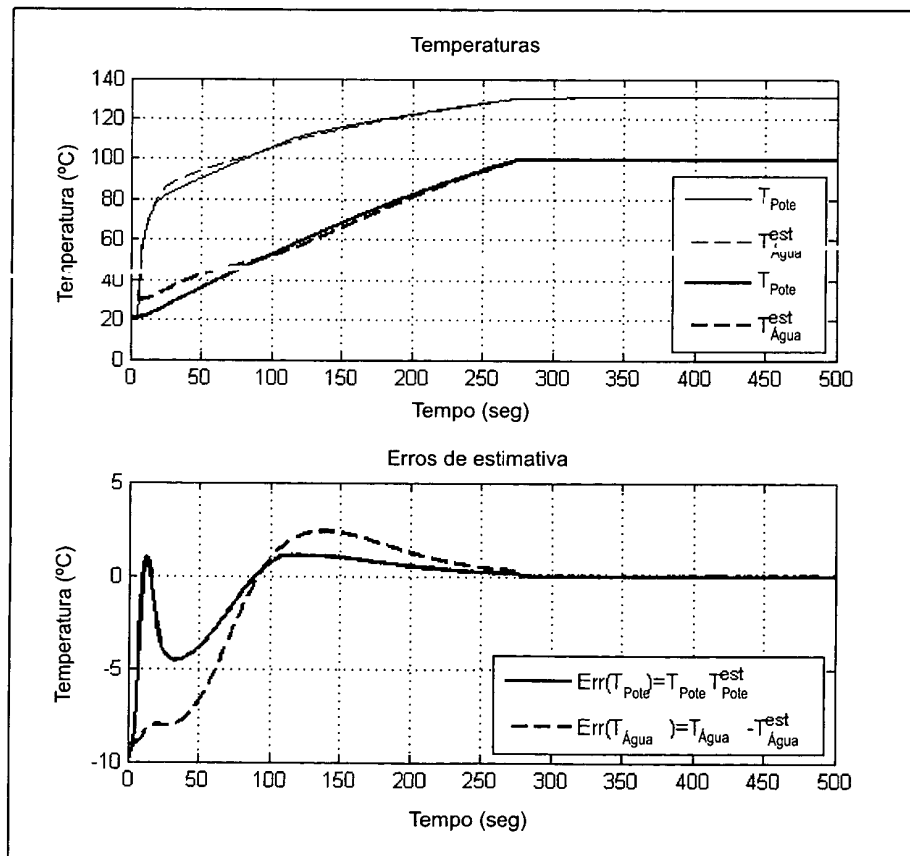


Fig. 4

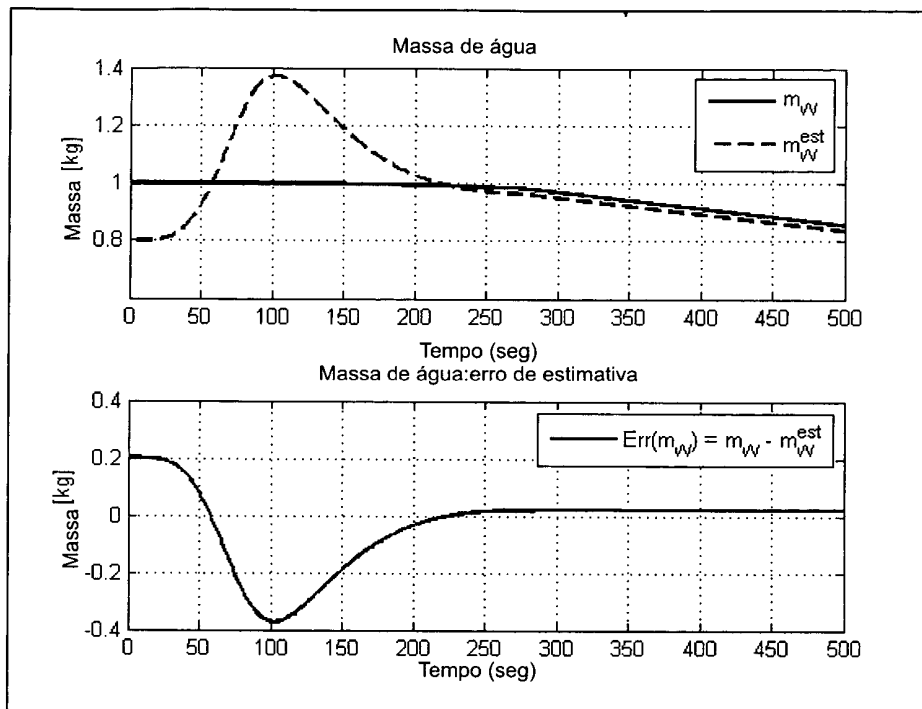


Fig. 5

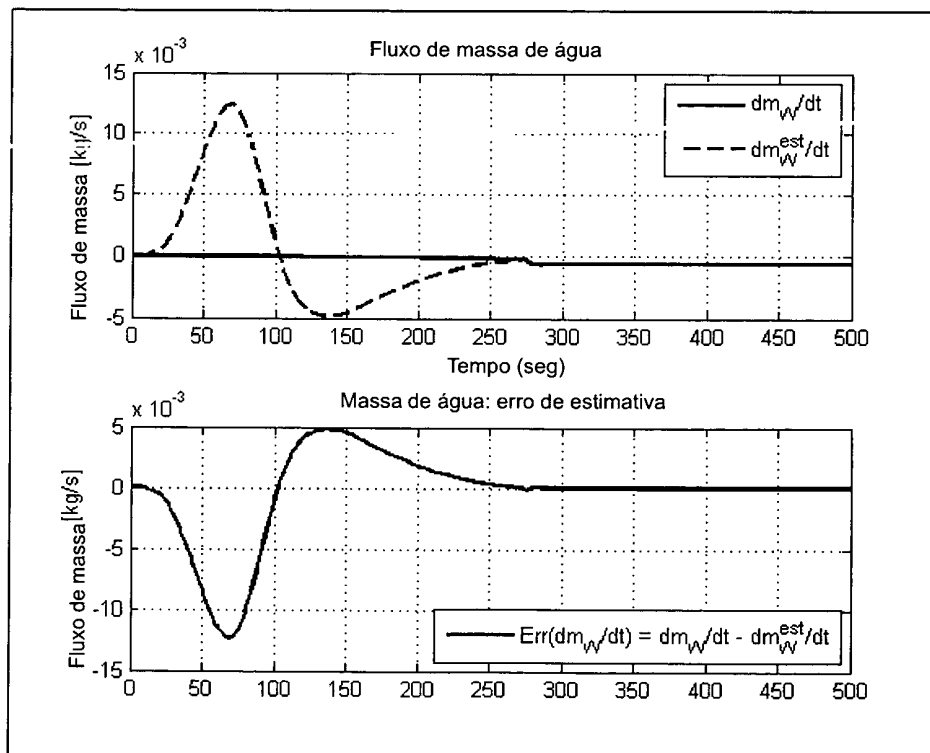


Fig. 6