



**República Federativa do Brasil**  
Ministério da Indústria, Comércio Exterior  
e Serviços  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(11) PI 0303508-5 B1**

**(22) Data do Depósito:** 12/09/2003

**(45) Data de Concessão:** 28/03/2017



**(54) Título:** MÉTODO PARA CONTROLAR UM REFRIGERADOR, E, REFRIGERADOR TENDO PELO MENOS DOIS COMPARTIMENTOS

**(51) Int.Cl.:** G05D 23/19; F25B 49/02; F25B 5/02; F25D 17/06; F25D 11/02

**(30) Prioridade Unionista:** 13/09/2002 EP 02020506.8

**(73) Titular(es):** WHIRLPOOL CORPORATION

**(72) Inventor(es):** ALESSANDRO BOER; RAFFAELE PAGANINI; ROCCO PATRIGLIANO

“MÉTODO PARA CONTROLAR UM REFRIGERADOR, E, REFRIGERADOR TENDO PELO MENOS DOIS COMPARTIMENTOS”

A presente invenção diz respeito a um método de controlar um refrigerador de compartimento de refrigeração múltiplo, preferivelmente do tipo que tem um compressor de capacidade variável ou uma válvula de controle de vazão de refrigerante.

Um tipo de refrigerador que teve e está tendo um grande sucesso no mercado de aparelhos domésticos é um que tem uma geladeira e uma unidade de congelamento em um gabinete com um único compressor. Este sucesso de deve, por um lado, à versatilidade de tal solução (dois compartimentos em diferentes temperaturas, duas portas) e, por outro lado, ao menor preço de tal refrigerador que tem um único compressor e um único circuito de refrigeração, se comparado com um refrigerador de compressor duplo. O inconveniente desta solução técnica é que um controle de temperatura independente não fácil no compartimento da geladeira e no compartimento do congelador.

O controle de temperatura em um compartimento do congelador (FZ) ou de um compartimento do refrigerador (FR) é geralmente obtido, no caso de um aparelho que tem circuito eletrônico de controle, e no caso de uso de um compressor de capacidade de resfriamento variável, ajustando-se a capacidade de resfriamento do compressor com base no parâmetro de erro de temperatura. Uma outra maneira de controlar temperaturas dos compartimentos do refrigerador é ajustar a vazão do refrigerante entregue ao evaporador por meio de uma válvula de controle de vazão, ou ajustar o fluxo do ar de resfriamento entregue aos compartimentos através de um regulador tipo borboleta móvel. A lógica de controle clássica é baseada em PID, significando que as partes Proporcional, Interativa e Derivativa da variável de erro de temperatura são levadas em consideração no sistema de realimentação negativa para ajustar a variável de saída até se obter

a temperatura necessária. A figura 1 anexa mostra um caso em que o sistema de controle de realimentação negativa PID é usado para controlar a temperatura de um refrigerador de compartimento único. A entrada do bloco de controle PID é o Erro de Temperatura (diferença entre a temperatura visada e a real) e a saída é convertida diretamente em solicitação de capacidade de resfriamento. A temperatura medida pode ser tanto a temperatura no interior do compartimento como a temperatura de uma ou mais zonas predeterminadas do evaporador. Um inversor dedicado receberá o sinal de solicitação de capacidade de resfriamento como entrada e terá a tarefa de acionar o compressor, mantendo sob controle a capacidade de resfriamento (tal compressor sendo tanto do tipo que tem uma velocidade variável como do tipo com um deslocamento variável, isto é, o assim chamado compressor linear).

No caso de múltiplos compartimentos e um único compressor disponível, o controle das temperaturas se torna mais crítico. Uma solução conhecida para um refrigerador de compartimento duplo, divulgada na EP-A-859208, compreende dois sensores de temperatura, um na câmara de refrigeração, formando parte do circuito de controle feito para parar e iniciar o compressor, o outro na câmara de congelamento, formando parte do circuito de controle feito para controlar a velocidade do compressor.

A figura 2 mostra a condição de acordo com uma outra solução na qual o controle opera em um caso de um refrigerador de compartimento duplo. Os dois blocos “Controlador FR” e “Controlador FZ” podem ser dois controladores tipo PID, e cada um deles computa a “Solicitação de Capacidade de Resfriamento” a ser fornecida ao compressor, necessária para controlar a temperatura do respectivo compartimento, refrigerador (FR) ou congelador (FZ). O “Gerenciamento do Compartimento de Resfriamento” é um bloco de controle usado para estabelecer a direção e/ou a vazão do refrigerante, ou, no caso de um refrigerador resfriado por ar

de resfriamento (típico o caso do assim chamado refrigerador lado-a-lado), a posição de um regulador tipo borboleta que divide o fluxo de ar entre o congelador e os compartimentos de alimentos frescos. No primeiro caso citado, o dispositivo “V” é uma válvula que recebe o comando e que entrega  
5 total ou parcialmente o refrigerante pelo evaporador do refrigerador e/ou pelo evaporador do congelador. Idealmente, o controlador tem múltiplas tarefas de controle: primeiramente, o controlador tem que manter as temperaturas estabelecidas pelo usuário e, em segundo lugar, o controlador tem que poder acionar eficientemente o compressor e a válvula V para manter o consumo de  
10 energia o mais baixo possível. Entretanto, no caso de controles independentes (conforme mostrado na figura 2) a solução pode ser muito complicada, ou até mesmo impossível, se o consumo de energia tiver que ser mantido baixo.

O objetivo da presente invenção é fornecer um método e um refrigerador que usa tal método que, no caso de controle de temperatura de  
15 compartimentos múltiplos, pode satisfazer as exigências de temperatura e, ao mesmo tempo, funcionar o aparelho com máxima eficiência do sistema, conseguindo-se um consumo de energia muito baixo.

De acordo com a presente invenção, isto é obtido com um método e com um refrigerador que tem os recursos listados nas reivindicações  
20 anexas.

A presente invenção se baseia principalmente no uso de um controle de solicitação de capacidade de resfriamento que depende do “estado” de todos os compartimento a serem controlados.

O “estado” representa quanto os compartimentos têm que ser  
25 resfriados, e o bloco de controle de solicitação de resfriamento recebe a soma de todos os estados dos compartimentos, com base na soma de sinais relacionados a erro de cada sistema de controle de realimentação negativa associado com cada compartimento. O propósito principal da presente invenção é obter uma única informação do “estado” do aparelho e assim

acionar o atuador de controle, por exemplo, o compressor, como se fosse um único compartimento. O “estado” de cada compartimento é obtido processando-se os dados de erro de temperatura relacionados a cada sistema de controle de realimentação simples. Um exemplo de uma função de

5 transferência do bloco de processamento de erro do N-ésimo compartimento pode ser como se segue:

$$\text{estado}_N = G_N \left( 1 + \frac{1}{s T_i} + s T_d \right)$$

em que  $G_N$ ,  $T_i$  e  $T_d$  são três constantes (ganho, tempo integrativo e tempo derivativo) que dependem da dinâmica do N-ésimo compartimento. A tarefa deste bloco é filtrar a informação de erro de

10 temperatura e principalmente fornecer valores históricos do erro em si (parte integrativa). Mesmo se na descrição seguinte for feita referência a um sistema de controle PID geral (onde se pretende que nem todas as três ações, proporcional-integral-derivativa, sejam sempre necessárias para um bom controle), outros sistemas de controle podem ser igualmente usados, por exemplo, um sistema de controle com base em um conjunto de regras de lógica nebulosa.

No caso de controle de temperatura de compartimento duplo, pode-se usar uma válvula para entregar total ou parcialmente o refrigerante nos evaporadores do aparelho. De acordo com a invenção, o gerenciamento

20 da posição da válvula que comuta de duas posições diferentes pode se basear na diferença entre o “estado” de cada compartimento.

A válvula referida pode ser usada para resfriar simultaneamente dois compartimentos ou apenas um. O bloco de controle de gerenciamento do compartimento de resfriamento (responsável pela

25 determinação da posição de tal válvula) pode também se basear no “estado” de somente um compartimento.

O método de acordo com a invenção pode ser aplicado em

aparelhos equipados com apenas um evaporador e, em casos em que a válvula é substituída por regulador tipo borboleta que é dedicado a resfriar um ou mais compartimentos.

No caso de o atuador de controle ser uma válvula que permite um controle da vazão de refrigerante (além de uma ou mais direções de fluxo), a determinação da vazão, em cada direção, pode ser determinada com a mesma lógica de controle estabelecida para acionar o sistema de acionamento do compressor, isto é, com base na soma de estado de cada compartimento. Fica evidente, de fato, que a variação da capacidade de resfriamento é obtida variando-se a vazão de refrigerante.

De acordo com mais uma modalidade da invenção, no caso de a válvula estar permitindo um controle da vazão de refrigerante (uma ou mais direções), o ajuste da vazão, em cada direção, pode ser feito com base na diferença entre a temperatura de entrada e de saída no evaporador, e com um bloco de controle tipo PID.

A invenção será agora explicada com mais detalhe com referência ao desenho anexo, em que:

A figura 1 representa um diagrama de blocos de controle de temperatura clássico que mostra a abordagem usada para determinar a capacidade de resfriamento adequada no caso de compressor de capacidade de resfriamento variável e no caso de um compartimento simples;

A figura 2 é um diagrama de blocos que mostra uma estratégia de controle adotada para controlar a temperatura em um aparelho de compartimentos duplos e em que o compressor recebe dois dados independentes provenientes de dois blocos de controle independentes;

A figura 3 é um diagrama de blocos que mostra como controlar um refrigerador de acordo com uma primeira modalidade da invenção, o controle provendo o compressor com uma solicitação de resfriamento que é computada somando-se o estado de dois compartimentos,

e em que a posição da válvula é obtida subtraindo-se o estado dos dois compartimentos;

A figura 4 é um diagrama que traça em gráfico as temperaturas e a velocidade do compressor de um Compressor de Velocidade variável quando um controle da tecnologia anterior de acordo com a figura 2 é aplicado;

A figura 5 é um diagrama que traça em gráfico as temperaturas e a velocidade do compressor quando um controle de acordo com a invenção é usado;

A figura 6 é um diagrama que mostra o sinal fornecido à válvula e que estabelece sua posição de acordo com a presente invenção (figura 3) e à estratégia de controle independente (figura 2) de acordo com a tecnologia anterior;

A figura 7 mostra o caso de aplicação de controle de acordo com a invenção, em que o gerenciamento do compartimento de resfriamento controla uma válvula não-sequencial; e

A figura 8 mostra uma segunda modalidade da invenção para controlar a vazão do refrigerante, quando uma válvula, com vazão variável, é usada para variar a capacidade de resfriamento em uma ou duas ramificações dos circuitos termodinâmicos.

Com referência aos desenhos, e particularmente com referência à figura 3, o bloco de controle de solicitação de resfriamento 10 é um tipo de regulador que varia a capacidade de resfriamento de acordo com a soma dos estados de compartimento. Cada compartimento é provido com um sensor de temperatura  $T_R$  e  $T_Z$ , respectivamente, ligados a um circuito de controle de realimentação negativa LR e LZ, respectivamente. Unidades do tipo regulador PID 12 e 14 recebem saída dos sensores de temperatura  $T_R$  e  $T_Z$ , respectivamente, geram valor de estado de compartimento e podem ser usados com propósito de controle, em que os dados de saída são ajustados à

escala e adaptados ao tipo de compressor que é usado. O valor de estado do compartimento representa quanto os compartimentos têm que ser resfriados. O estado de cada compartimento é obtido processando-se os dados de erro de temperatura relacionados a cada compartimento. As saídas das unidades 12 e 134, os estados dos compartimentos, são somados e fornecidos ao bloco de controle 10. Com base neste valor somado, é gerada uma demanda de resfriamento total. O valor de demanda de resfriamento total é usado para acionar um compressor 15, que está mostrado na figura 3 como um compressor de capacidade variável.

Além de gerar um valor de demanda de resfriamento total, o bloco de controle 16, denominado “gerenciamento do compartimento de resfriamento” a seguir, opera para determinar qual compartimento tem que ser resfriado. De acordo com esta decisão, a posição de uma válvula V (ou regulador tipo borboleta) será estabelecida. A determinação da posição da válvula se baseia em uma informação de erro de temperatura, seguido por uma função de histerese. A informação de erros de temperatura usada para controlar a posição da válvula V está representada pela diferença dos “estados” do compartimento, que são determinados pelos mesmos blocos de processamento de erro 12 e 14 considerados previamente com referência ao controle do compressor (ver figura 3). Desta maneira, o compartimento com a maior demanda de resfriamento é resfriado primeiro.

Com referência à figura 4 e 5, o requerente fez teste com um compressor de velocidade variável (“VSC”) e com um sistema de controle de acordo com a tecnologia anterior, conforme mostrado na figura 2, e de acordo com a presente invenção, conforme mostrado na figura 3, respectivamente. Em tais figuras, a solicitação de capacidade de resfriamento está representada pelo sinal de referência “Velocidade do Compressor”. Para este tipo de compressor, existem limites de velocidade práticos: 1.600 rpm e 4.500 rpm, respectivamente, para a velocidade mais baixa e a mais alta. Quando o

controle solicita velocidade (capacidade de resfriamento) menor do que a mínima, o compressor é desligado.

Comparando-se a figura 4 e a figura 5, em que está mostrada a fase de puxada para baixo do congelador, fica claro quais são as principais vantagens do método de controle de acordo com a invenção, isto é, a oscilação da solicitação de resfriamento e o ruído emitido são fortemente reduzidos, e o sistema atinge sua temperatura visada muito rapidamente, com uma maior economia de energia. As temperaturas visadas do compartimento da geladeira e do congelador nos testes mostradas nas figuras 4 e 5 são  $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respectivamente, e as temperaturas iniciais são  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  para o compartimento de geladeira e  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  para o de congelamento.

No caso de duas estratégias de controle independentes (figura 2), os dois reguladores estabelecem respectivamente uma baixa velocidade para o compartimento do refrigerador, em virtude de o erro FR ser relativamente baixo, e uma velocidade muito alta para o compartimento do congelador, por causa do alto erro FZ (figura 4). Quando a válvula V comuta o fluido refrigerante de uma direção para a outra, a velocidade de referência correspondente é fornecida ao compressor, introduzindo grandes oscilações de solicitação de resfriamento ao circuito termodinâmico. Os efeitos negativos são geração de ruído e perdas de energia.

Na figura 5, o efeito da solução de acordo com a invenção, obtido aplicando-se um método de controle descrito na figura 3, pode ser visto por comparação. A solicitação de resfriamento é inicialmente muito alta (tende ao máximo 4.500 rpm) em virtude de a soma de erros, que depende principalmente do erro Fz, ser muito alta. A mesma solicitação de resfriamento fornecida para o resfriamento do compartimento do congelador é também estabelecida para o compartimento da geladeira; o efeito é que a válvula V permanece na posição  $F_R$  por um menor tempo, enquanto mais tempo é dedicado ao resfriamento do compartimento do congelador. Um

efeito claro é que o compartimento do congelador leva menos tempo para atingir seu alvo, e também a velocidade de referência fornecida ao compressor é bastante estável, e assim o ruído fica limitado. Uma vez que o sistema atinja a condição de estado estacionário, a solicitação de resfriamento se torna em  
 5 média muito baixa, e pouca energia é gasta para compensar a dissipação térmica do aparelho. No exemplo mostrado na figura 5, a velocidade do compressor tende a ser menor do que 2.000 rpm, e a variação de velocidade é mínima, por causa das pequenas oscilações de temperatura e seus pequenos erros de temperatura correspondentes, isto é, pequena soma de erros. Por essa  
 10 razão, a principal consequência é que a quantidade total de energia gasta, comparada com um sistema de controle clássico que adota controladores independentes, é fortemente reduzida. Até uma surpreendente economia de energia de 10% foi observada durante testes de energia realizados pelo requerente.

15 Uma outra comparação entre um sistema de blocos de controle independentes e a presente invenção é derivável da análise da figura 6. Tais resultados de comparação são obtidos controlando-se um refrigerador que possui uma válvula que entrega o refrigerante em apenas um dos dois evaporadores (assim denominado refrigerador “seqüencial”, divulgado em  
 20 US-A-5465591): quando um ambiente é resfriado, o outro é aquecido até provocar a ativação da válvula. Existem também aparelhos em que a válvula (não-seqüencial) pode entregar o refrigerante em apenas um evaporador (geralmente o congelador), ou, quando a válvula é ativada, em ambos os evaporadores simultaneamente. Pela figura 6, fica claro que o método de  
 25 acordo com a invenção (parte superior da figura 6) requer uma menor quantidade de comutações da válvula, se comparado com um método com controle independente (figura 2). Isto significa um baixo ruído e menor consumo de energia.

A figura 7 mostra o caso do controle aplicado a um aparelho

de compartimento duplo no qual a posição da válvula seleciona o resfriamento FR+FZ ou o resfriamento FZ apenas (válvula não-seqüencial). Nesta condição, o “estado” do compartimento FR apenas é usado pelo bloco de controle do gerenciamento do compartimento de resfriamento.

5                   A figura 8 mostra uma segunda modalidade da invenção para controlar a vazão do refrigerante, quando uma válvula, com vazão variável, for usada para variar a capacidade de resfriamento em uma ou duas ramificações dos circuitos termodinâmicos. Cada laço de controle de realimentação recebe entrada de sensores de temperatura  $E_R$  e  $E_Z$  colocados  
10 em cada evaporador. Cada um dos sensores citados é preferivelmente um arranjo de dois sensores capaz de estimar a diferença de temperatura entre a entrada e saída do evaporador. Tal diferença de temperatura é indicativa da solicitação de capacidade de resfriamento de cada compartimento. Cada um de tais sinais é usado por um bloco controlador 22 e 24, respectivamente, para  
15 ajustar a vazão do refrigerante, por meio de uma válvula de controle  $V'$ . Na figura 8, o bloco de controle 26 mostra que cada sinal do bloco controlador 22 e 24 é usado somente quando a válvula  $V'$  fica posicionada para direcionar o fluxo de refrigerante para o evaporador correspondente. Desta maneira, o sinal do bloco controlador 22 é usado quando o refrigerante escoar pelo  
20 evaporador do refrigerador, e o sinal do bloco de controle 24 é usado quando o refrigerante escoar pelo evaporador do congelador. Portanto, o bloco de controle de gerenciamento do compartimento de resfriamento 26 funciona substancialmente da mesma maneira divulgada com referência à primeira modalidade (figura 3). Fica claro que a válvula simples  $V$  ou  $V'$  pode ser  
25 substituída por mais válvulas que realizem as mesmas funções globais.

## REIVINDICAÇÕES

1. Método para controlar um refrigerador que tem um atuador de controle (15) e pelo menos dois compartimentos (FR, FZ) resfriados até as respectivas temperaturas, os ditos compartimentos compreendendo dispositivos  
5 sensores ( $T_R$ ,  $T_Z$ ) usados para gerar sinais de controle em resposta a demandas de resfriamento para cada um dos respectivos compartimentos, sendo um sinal indicativo da demanda de resfriamento total gerado com base na soma de cada demanda de resfriamento do compartimento, tal sinal sendo usado para acionar  
10 o atuador de controle (15) de acordo com a dita demanda de resfriamento total, em que um refrigerante ou um fluxo de ar de resfriamento é direcionado para compartimentos (FR, FZ) selecionados de refrigeração, caracterizado pelo fato de que um sinal auxiliar que determina a direção do refrigerante ou do fluxo de ar de resfriamento é gerado com base na diferença entre sinais de resposta às demandas de resfriamento para cada um dos respectivos compartimentos, tal que  
15 o compartimento com a maior demanda de resfriamento seja resfriado primeiro.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que os sinais de controle são sinais de temperatura indicativos do erro de temperatura entre a temperatura real e a temperatura visada em cada dito compartimento (FR, FZ),  
caracterizado pelo fato de que tais sinais de temperatura dependem de erros de  
20 temperatura presentes, passados e futuros estimados.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o atuador de controle ser um compressor de velocidade variável (15).

4. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o atuador de controle ser uma válvula de controle de vazão de refrigerante.

25 5. Refrigerador tendo pelo menos dois compartimento (FR, FZ) resfriados até respectivas temperaturas, um sistema de controle do refrigerador compreendendo dispositivos sensores ( $T_R$ ,  $T_Z$ ) para gerar sinais de controle do refrigerador em resposta a demandas de resfriamento para cada dos respectivos compartimentos e um atuador de controle (15) acoplado ao sistema de controle,

o sistema de controle do refrigerador (10, 12, 14, 16) sendo adaptado para emitir um sinal indicativo da demanda de resfriamento total com base na soma de cada demanda de resfriamento para cada dos respectivos compartimentos, tal sinal sendo usado para acionar o atuador de controle (15) de acordo com tal demanda

5 de resfriamento total, em que o sistema de controle do refrigerador compreende meio (V) para direcionar um refrigerante ou um fluxo de ar de resfriamento para compartimentos (FR, FZ) selecionados do refrigerador, caracterizado pelo fato de o sistema de controle do refrigerador (10, 12, 14, 16) ser adaptado para emitir um sinal que determina a direção do refrigerante ou fluxo de ar de resfriamento

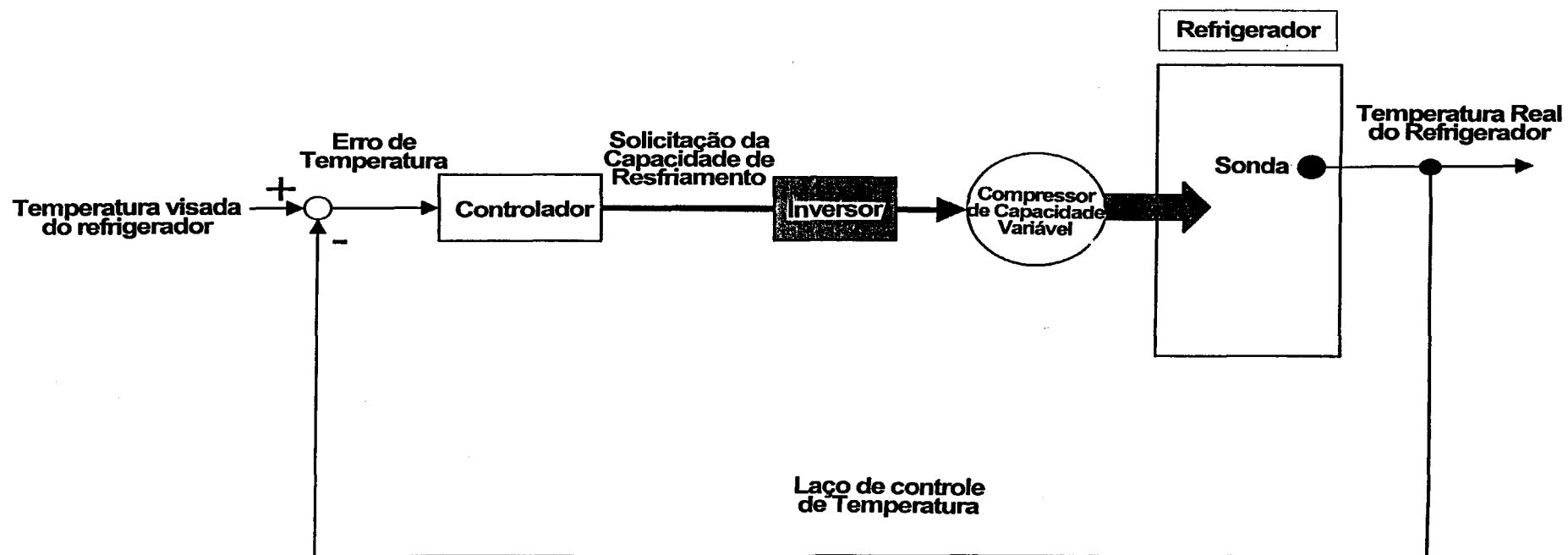
10 para um compartimento selecionado com base na diferença entre as demandas de resfriamento para os respectivos compartimentos, tal que o compartimento com a maior demanda de resfriamento seja resfriado primeiro.

6. Refrigerador, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de que o dito atuador de controle (15) é um compressor de velocidade variável, um compressor linear ou qualquer compressor em que sua capacidade

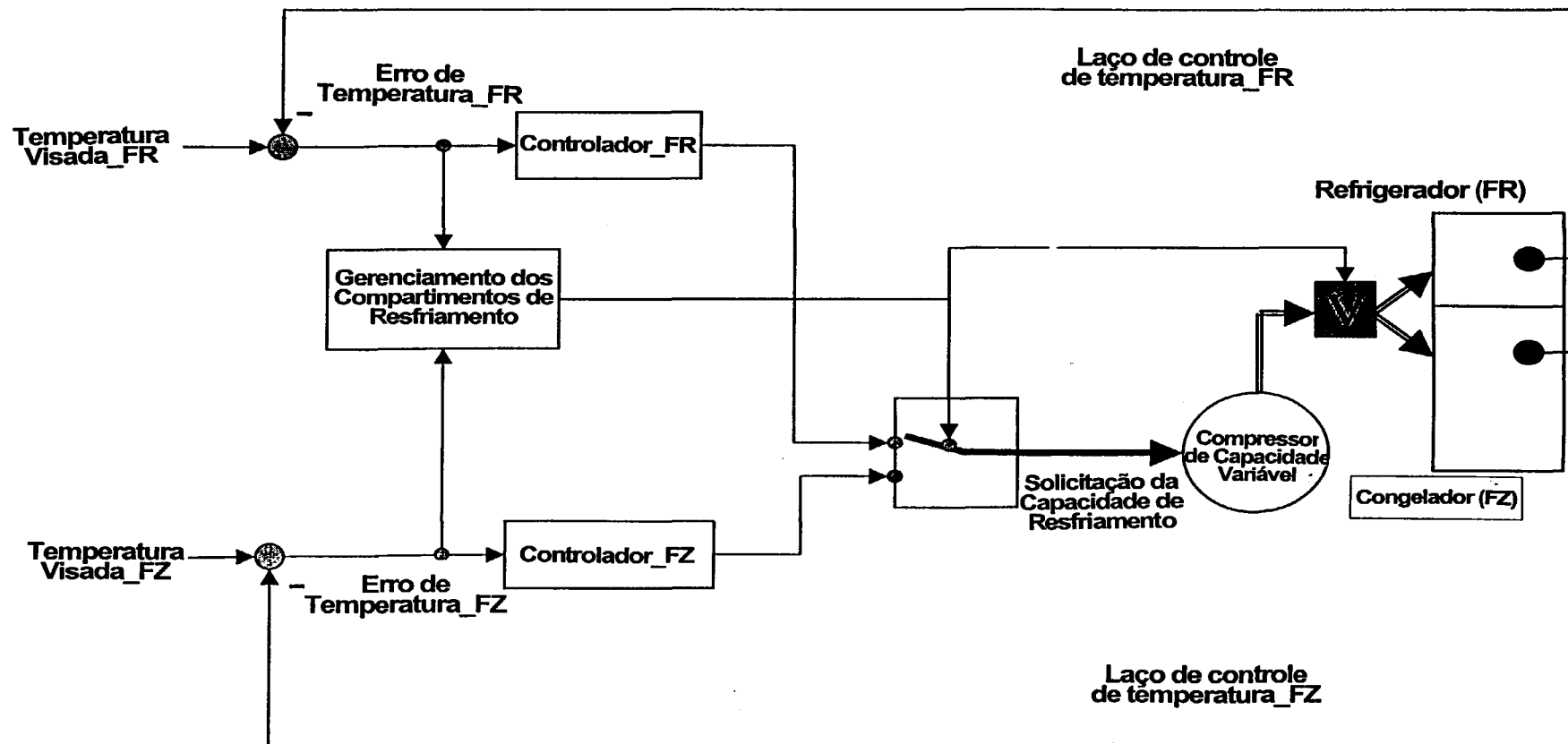
15 de resfriamento possa ser controlada.

7. Refrigerador, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de que o dito atuador de controle é uma válvula de controle de vazão de refrigerante.

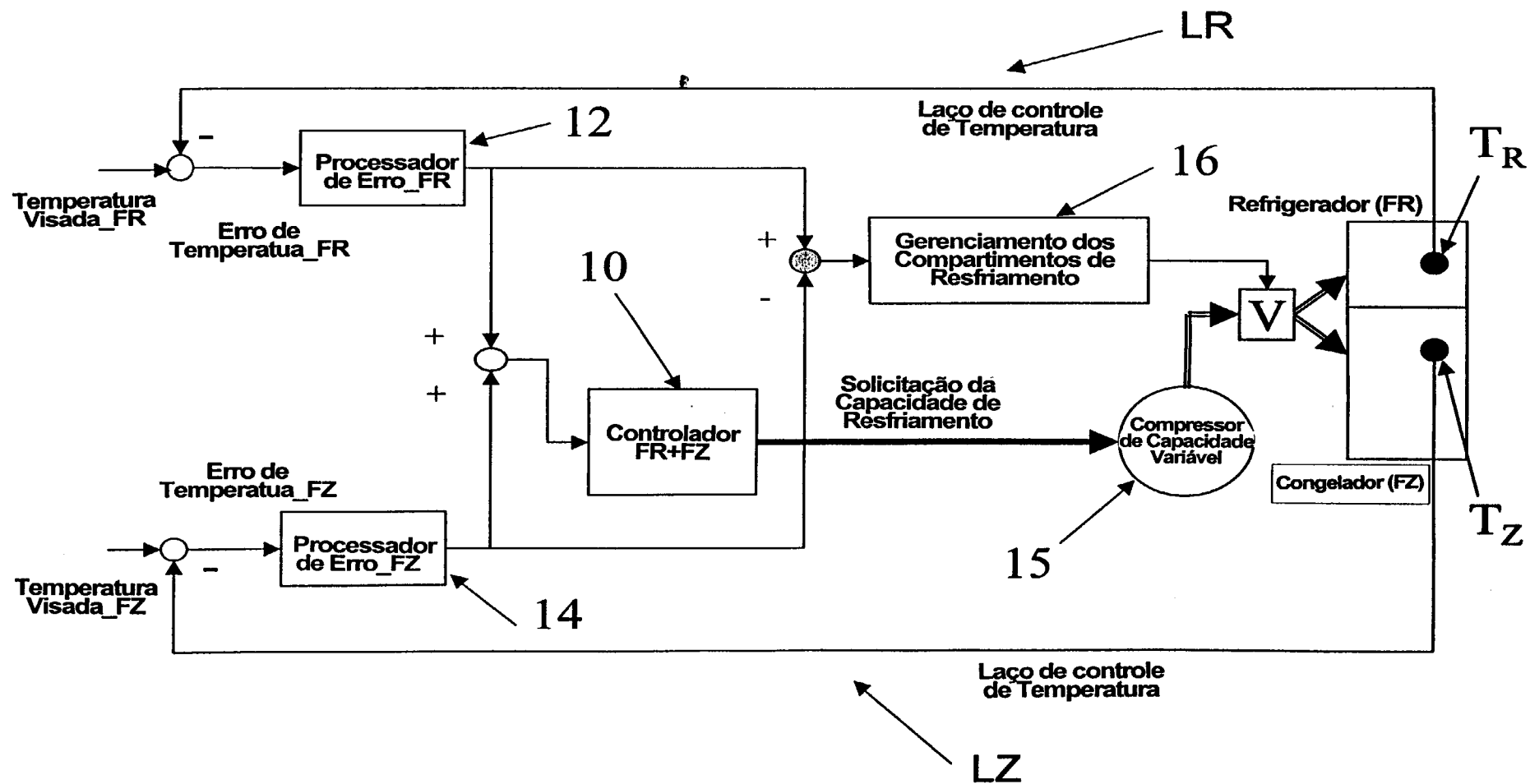
20 8. Refrigerador, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de que os sinais de controle do refrigerador que responde a demandas de resfriamento dos respectivos compartimentos contêm informação de erro de temperatura que dependem dos erros presentes, passados e futuros estimados.



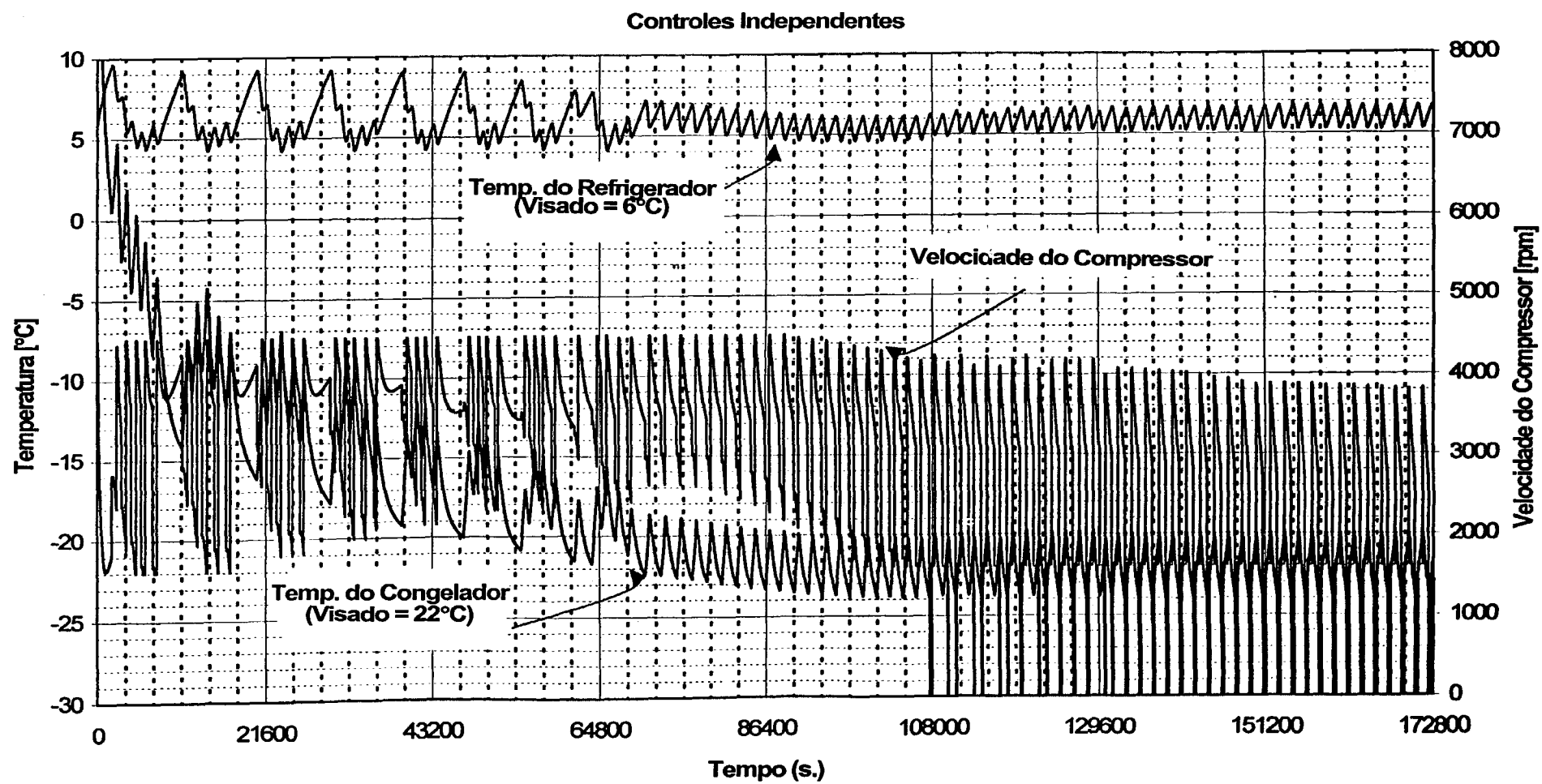
**Figura 1**      Técnica Anterior



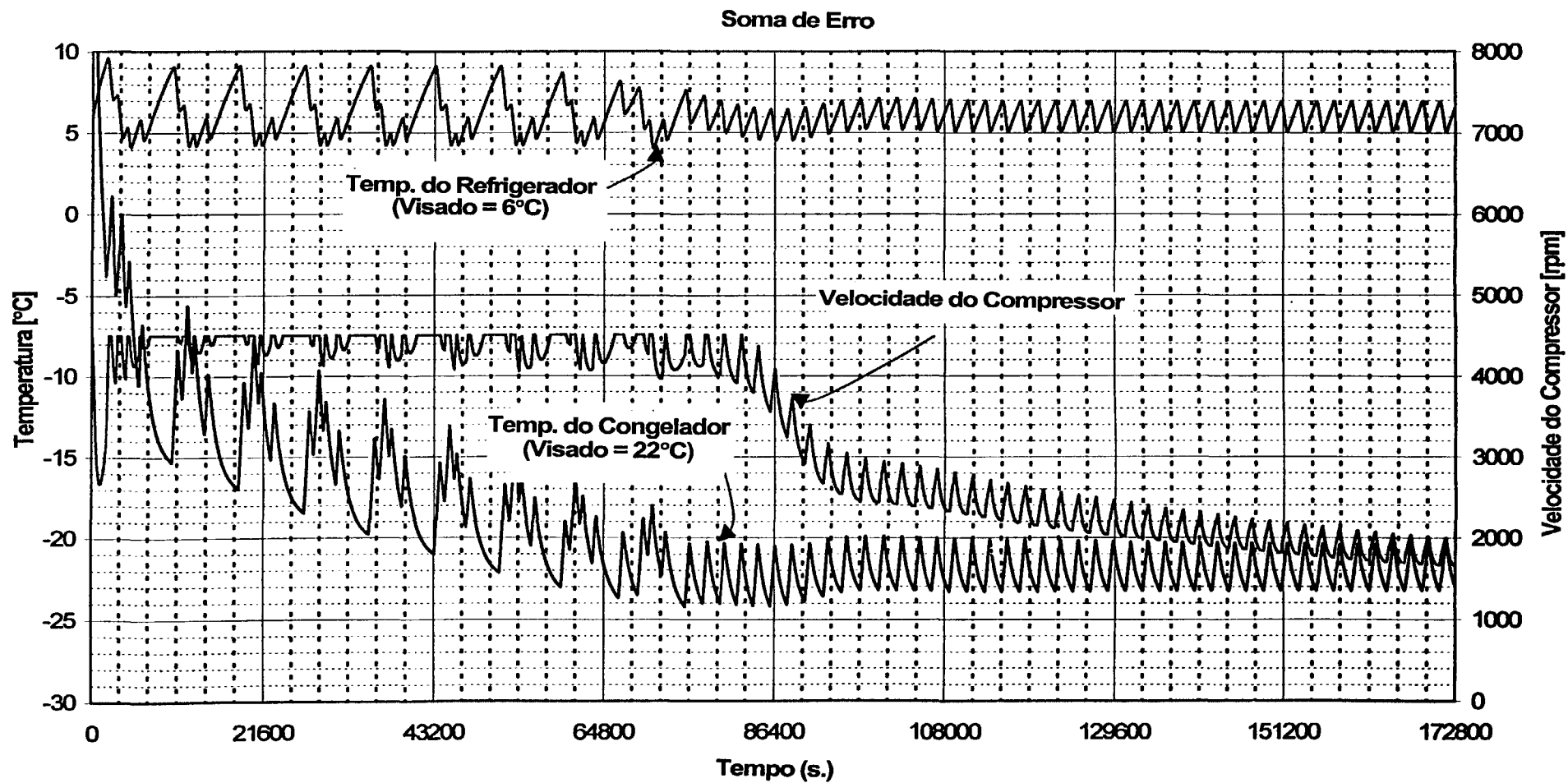
**Figura 2**



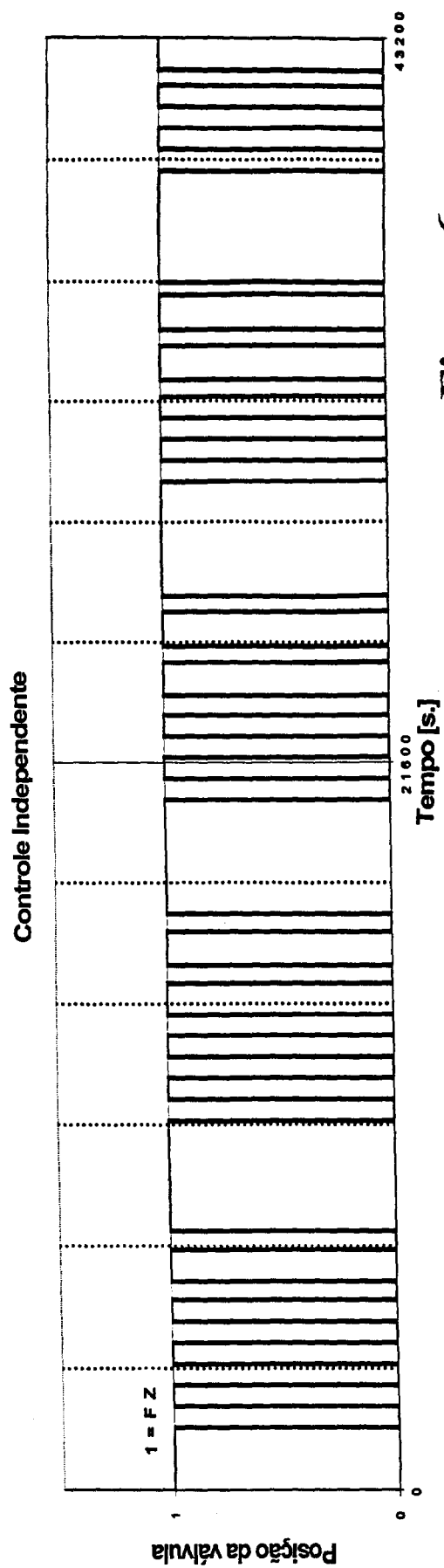
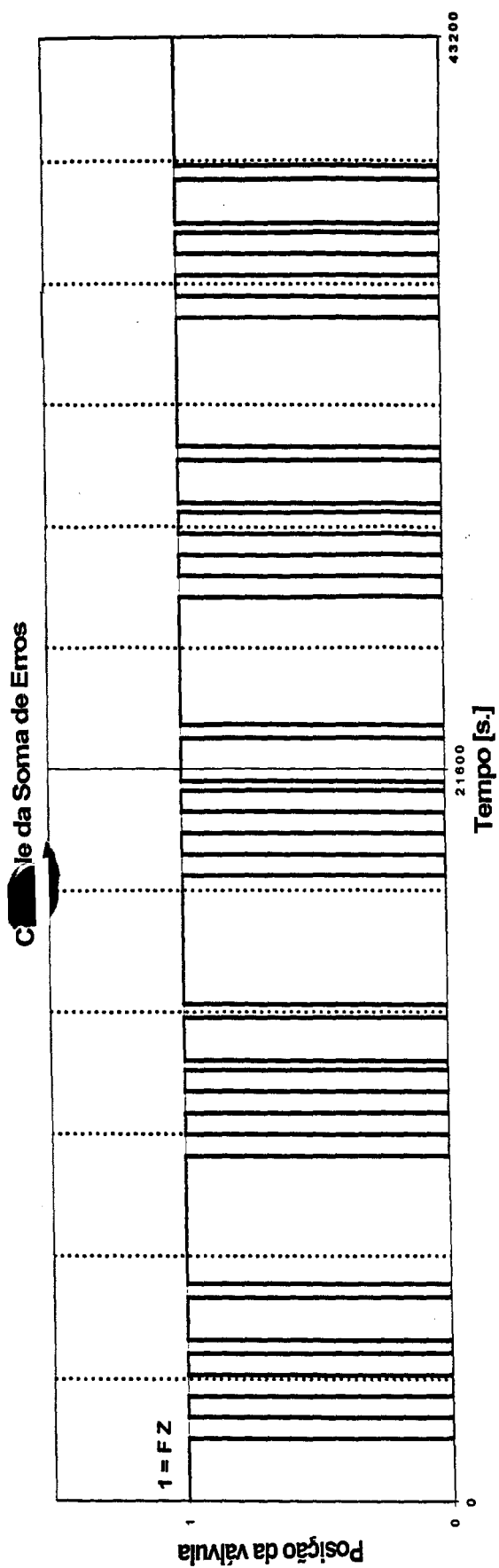
**Figura 3**



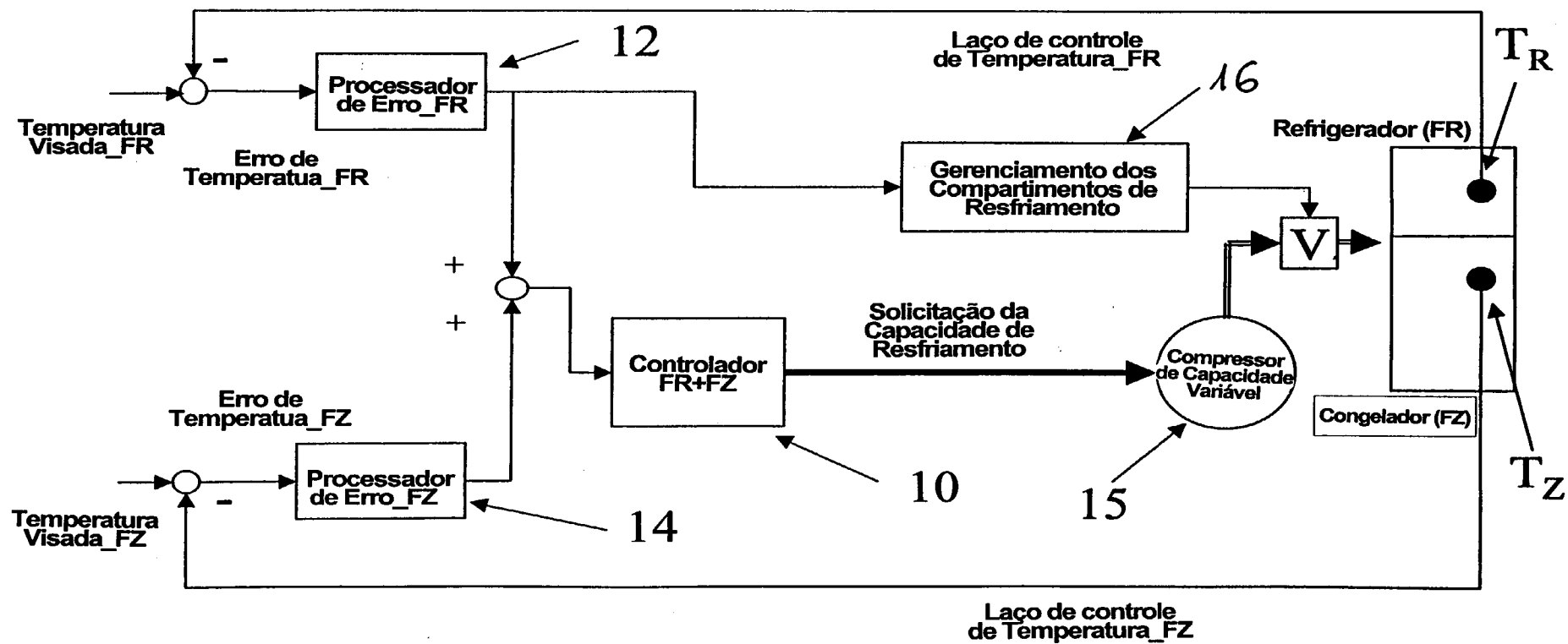
**Figura 4**



**Figura 5**

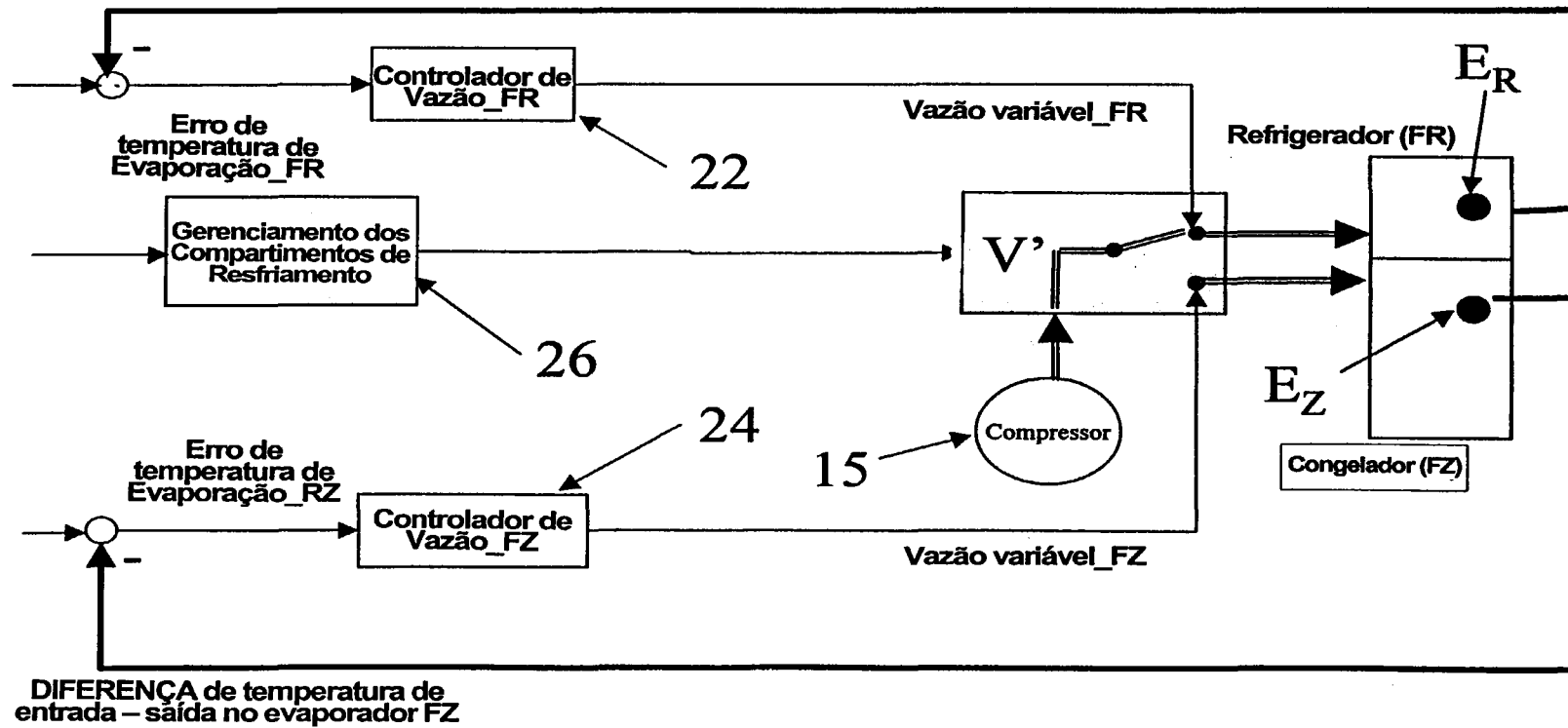


**Figura 6**



**Figura 7**

DIFERENÇA de temperatura de  
entrada – saída no evaporador FR



**Figura 8**