

Desenvolvimento de algoritmo computacional para calcular o valor da propriedade de transporte de calor difusividade térmica de produtos alimentícios aquecidos pelo mecanismo de transporte de calor de

Autores

Rubens Gedraite
Newton Libanio Ferreira

Apoio Financeiro

Fap

1. Introdução

O processamento térmico de alimentos industrializados consiste no aquecimento de embalagens em autoclaves pressurizadas, que podem ser estacionárias ou rotativas, verticais ou horizontais, e/ou contínuas ou descontínuas. O processamento térmico deve ser especificado por especialistas que, para cada sistema equipamento/embalagem/alimento definem as condições de processo: tempo de processo, temperatura de processo, temperatura mínima inicial do alimento, perfil de pressão e programa de desaeração da autoclave".

2. Objetivos

O objetivo deste trabalho é apresentar um modelo matemático, desenvolvido para ser executado em tempo real, e que leve em consideração as condições de operação de uma autoclave estacionária. Este modelo deverá ser empregado em conjunto com o sistema de controle da autoclave, com a finalidade de garantir o nível de letalidade previamente estabelecido para microorganismos.

3. Desenvolvimento

Descrição do protótipo de autoclave a ser usado no processo de esterilização de alimentos enlatados

Posteriormente, deverá providenciada a instalação dos bocais para fixação das tubulações de água de resfriamento e de ar comprimido no corpo da autoclave. Por se tratar de vaso de pressão, será necessária a realização de teste hidrostático visando assegurar que este atendia às normas de segurança estabelecidas para este tipo de situação.

A tubulação inferior será usada para introduzir a água de resfriamento no interior da autoclave, ao passo que

a tubulação superior é usada tanto para a retirada da água de resfriamento alimentada como para a introdução do ar comprimido necessário na etapa inicial do resfriamento para a equalização das pressões interna e externa do produto alimentício. O diâmetro das tubulações foi dimensionado com base em (WHITE, 1999), tendo sido utilizados tubos de aço carbono, com 3/16 polegadas de diâmetro.

O sistema de controle instalado no protótipo de autoclave deverá ser composto de um controlador e indicador eletrônico de temperatura que permite a troca de informações com um microcomputador PENTIUM II®. A temperatura da autoclave é enviada para o controlador a partir de um termopar tipo K. Este controlador executa o cálculo da ação corretiva necessária e envia o sinal de correção para um transdutor que atua sobre o resistor de aquecimento instalado na autoclave. Foi instalado um sistema de ventilação e dissipação de calor aplicado ao relê de estado sólido para que o mesmo não desarme por sobre-aquecimento. Simultaneamente, o sinal de temperatura é enviado pelo controlador para o software supervisor que permite a sua visualização na tela do microcomputador. O controle seqüencial da operação está baseado na relação tempo-temperatura estabelecida para o processamento térmico em estudo, sendo programado no controlador automático de temperatura. O controlador de temperatura deverá ser montado em painel elétrico.

O controlador a ser utilizado no presente trabalho deverá possibilitar a programação da mudança do valor do "set-point" na forma de um degrau durante a etapa de aquecimento e na forma de uma rampa na etapa de resfriamento, assim como a programação dos alarmes de eventos para o acionamento das válvulas solenóides. A programação a ser empregada para o controlador usado neste trabalho teve por premissa os seguintes pontos: (i)- o ciclo de operação foi iniciado com o valor de referência igual a 25 °C, permanecendo neste valor por 1 minuto; (ii)- transcorrido este intervalo de tempo, provocou-se uma variação no valor do valor de referência, em degrau, para 121 °C sendo mantida por 60 minutos; (iii)- findo o intervalo de tempo pré-estabelecido na etapa anterior, tem início a etapa de resfriamento, onde a variação do valor de referência foi feita em rampa, tendo duração de 1 minuto e atingindo o valor de 20 °C. Na seqüência, foi realizado – de forma automática – o acionamento das válvulas solenóides. Inicialmente, é feito o acionamento simultâneo das válvulas de água de resfriamento e de ar comprimido. O fornecimento de ar comprimido é interrompido após 1 segundo do acionamento anteriormente citado; e (iv)- por fim, após 1 minuto do início do resfriamento, é executado de forma automática o acionamento da válvula de dreno para a circulação de fluido de resfriamento.

O sistema de controle da autoclave estacionária a ser usada no desenvolvimento deste trabalho é apresentado no fluxograma de engenharia mostrado na figura 1.

Para que a esterilização seja bem sucedida, é de fundamental importância o controle da temperatura à qual o alimento será exposto e do tempo de exposição àquela temperatura. O controlador e indicador de temperatura apresenta o recurso de aceitar a variação de seu valor de referência em patamares e rampas, permitindo ajustar o período de duração dos mesmos de acordo com as necessidades do processo. Ele permite, também, a associação de alarmes aos eventos pré-estabelecidos de transição nestes patamares e rampas. Assim, uma vez alcançado o tempo de processamento desejado, o controlador produz um sinal discreto que é usado para interromper a etapa de aquecimento e, em seguida, iniciar a etapa de resfriamento, abrindo as válvulas solenóides que comandam a injeção de água e de ar comprimido no

interior da autoclave.

A contagem do tempo requerido para o período de exaustão deveria ser feita de forma manual devido ao fato da autoclave utilizada apresentar um volume útil pequeno, dispensando assim a necessidade do uso de recursos mais sofisticados. O período de manutenção na temperatura necessária à letalidade dos microorganismos indesejáveis é controlado por meio de temporizadores configurados no controlador e indicador de temperatura, atrelados ao valor de referência da temperatura, como anteriormente citado.

Figura 1

Uma vez alcançada a esterilização desejada, deve-se proceder ao resfriamento da autoclave por meio da injeção de água. Nesta etapa do processo é muito importante o controle da pressão no interior da autoclave, para evitar que os recipientes que contêm o alimento sejam danificados. O controle da etapa de resfriamento e da pressão no interior da autoclave é realizado por meio da introdução de água de resfriamento e de ar comprimido no interior da autoclave em estudo, atuando o controlador e indicador de temperatura sobre as válvulas solenóides instaladas nas respectivas tubulações de alimentação.

O controle regulatório da pressão no interior da autoclave é realizado em malha aberta. Para a medição da pressão foi instalado um manômetro local sobre a tampa da autoclave, que opera em conjunto com uma válvula reguladora de pressão auto-operada.

O software de monitoração a ser utilizado no microcomputador do tipo PC[®], permite a configuração de telas sinótico que apresentarão a evolução das variáveis de processo de interesse; a geração de gráficos de tendência; o acompanhamento do estado dos sinais de saída discretos, etc.

Uma vez implementado no microcomputador a ser utilizado neste trabalho, o algoritmo computacional executa o ajuste do parâmetro difusividade térmica usando como critério de validação o perfil de temperatura no centro do produto alimentício. Por meio da comparação entre o resultado obtido com o modelo matemático usado para a predição da temperatura do alimento e aquele obtido com o sensor virtual, será ajustado o valor da propriedade difusividade térmica.

A forma que se pretende usar para o ajuste dos parâmetros é transformar o cálculo da propriedade difusividade térmica num problema de otimização, no qual se procurará minimizar o erro total, expresso como a somatória dos quadrados do erro, calculado para cada uma das temperaturas.

Este algoritmo computacional foi desenvolvido para ser executado de forma descontínua, a partir de uma intervenção do operador humano responsável pela operação da autoclave, com o objetivo de garantir que o nível de letalidade desejado seja alcançado e que o valor da propriedade térmica difusividade térmica seja calculado.

O algoritmo computacional desenvolvido deverá ser executado em um microcomputador PENTIUM III[®] ou

superior, interligado em rede com o microcomputador dedicado a executar o "software" de supervisão do processo que é parte integrante do sistema de controle da autoclave.

Para calcular o valor das temperaturas no nó central do produto alimentício em estudo, em função do tempo, o algoritmo computacional desenvolvido utiliza o valor da propriedade física denominada difusividade térmica. Na área de Fenômenos de Transporte, esta propriedade é calculada pelo quociente entre o valor da condutividade térmica do meio e o valor do produto da densidade do material pelo calor específico do mesmo. Fisicamente, ela representa a habilidade que o meio estudado possui em transferir a energia térmica através de si.

Assim sendo, o operador humano alimenta o programa com as seguintes informações: (i)- tempo (expresso em segundos); (ii)- temperatura do protótipo da autoclave em cada instante (expressa em °C); (iii)- temperatura central do produto alimentício ensaiado, medida experimentalmente em cada instante (expressa em °C); (iv)- temperatura preliminar do produto alimentício, em cada instante, estimada com base no modelo matemático implementado por GEDRAITE (1999) (expressa em °C); (v)- valor preliminar da propriedade difusividade térmica (expressa em m²/s) e (vi)- valor preliminar da função erro acumulado, em cada instante (expresso em °C).

Estes dados são introduzidos no programa por intermédio de uma tabela de interpolação em tabela de entrada de dados usada pelo código computacional EES ("Lookup Table"). O intervalo de tempo abrangido pela tabela de interpolação contempla o tempo requerido para a execução do ciclo completo de esterilização do produto alimentício.

O cálculo da alteração do valor do parâmetro difusividade térmica será realizado com base no índice de mérito conhecido como função erro acumulado, cuja determinação é feita por meio da equação do cálculo da letalidade acumulada que é imposta a um produto alimentício.

O cálculo do novo valor da difusividade térmica é feito no programa EXCEL®, por meio do emprego da planilha eletrônica denominada "recursão.xls". Nesta planilha, é verificado se o valor da variável função erro acumulado é positivo. Caso esta condição seja verdadeira, é executada a alteração no valor da difusividade térmica, decrementando o valor da difusividade térmica e vice-versa.

A amplitude do valor incrementado e/ou decrementado na difusividade térmica é igual ao último valor da propriedade em questão acrescida algebricamente de fator de incremento fixo. Este incremento fixo foi definido na planilha eletrônica denominada "recursão.xls", sendo igual a 1,0E-8 m²/s. Neste trabalho, o incremento fixo foi multiplicado por um fator de ajuste igual a 0,95, com a finalidade de permitir um ajuste mais preciso no valor da difusividade térmica.

Ainda na planilha eletrônica denominada "recursão.xls", o valor da variável função erro acumulado também é comparado com um outro valor previamente definido pelo operador humano. Caso ele seja menor ou igual ao valor definido como valor alvo, a execução do algoritmo é interrompida. Caso contrário, ele continua a ser executado. O valor arbitrado como valor alvo para a função erro acumulado foi igual à unidade.

- Fluxograma de Engenharia da Autoclave

Descrição do sistema de monitoração e controle usado no protótipo de autoclave estudado

Para a realização deste trabalho será empregada uma autoclave de pequeno porte com capacidade aproximada de 20L e aquecida eletricamente. A escolha desta autoclave deve-se ao fato da mesma não estar em uso didático. Neste contexto, será necessário realizar as adaptações requeridas para a sua readequação às necessidades do processamento térmico tipicamente empregado na indústria alimentícia. Inicialmente, deverá ser providenciada a instalação de bocal para fixação de elemento sensor de temperatura denominado termopar do tipo K. Com a finalidade de evitar a perfuração excessiva do casco do vaso de pressão e, também, em função das características construtivas da autoclave, optou-se pelo desenvolvimento de um adaptador especialmente projetado para alojar o elemento sensor de temperatura a ser instalado e o manômetro/termômetro bem como a respectiva válvula de segurança originalmente existente.

4. Resultados

Neste trabalho foi utilizada a metodologia proposta por TEIXEIRA & BALABAN (1996) para a abordagem do comportamento dinâmico do processo de esterilização térmica de alimentos acondicionados em embalagens de geometria cilíndrica e que sejam aquecidos pelo mecanismo de transmissão de calor por condução.

O principal objetivo foi o de desenvolver um algoritmo computacional que permitisse a avaliação do valor da propriedade de transporte de calor denominada difusividade térmica, aplicando a metodologia já citada, visando a melhoria do desempenho do sistema de controle existente em autoclaves estacionárias típicas.

Com base nos resultados obtidos com a aplicação do algoritmo computacional desenvolvido neste trabalho poder-se-á verificar que é possível contribuir para a melhoria da qualidade do processamento térmico aplicado a produtos alimentícios industrializados que o necessitem, garantindo assim que o nível de letalidade desejado para o microorganismo de referência presente nos mesmos seja alcançado. Esse algoritmo, no entanto, depende do desenvolvimento de um aplicativo mais geral que execute a troca de informações com sistemas de controle tipicamente encontrados no mercado.

Os dados a serem obtidos neste trabalho permitirão avaliar os seguintes pontos: **(i)-** verificar se o algoritmo computacional implementado é adequado para calcular o valor da propriedade de transporte difusividade térmica, visando o controle otimizado da operação da autoclave; **(ii)- verificar se os desvios constatados entre os valores das temperaturas dos produtos alimentícios ensaiados, medidas experimentalmente, e os daquelas calculadas com base no valor ajustado da difusividade térmica – com base em simulação computacional – são pouco significativos;** e **(iii)- avaliar com base em uma análise de sensibilidade sobre o número de elementos de volume (nós) utilizados no modelo matemático se este parâmetro não exerce influência importante nos resultados fornecidos pelo referido modelo.**

5. Considerações Finais

Os autores pretendem implementar este modelo matemático num algoritmo computacional que será usado para otimizar a operação de autoclave estacionária. Este algoritmo deverá ser executado em tempo real, num microcomputador do tipo PC®.

Referências Bibliográficas

BASTOS, J. L. F. Notas de Aula da Disciplina Análise Termofluído Dinâmica de Reatores Nucleares. Depto. de Reatores do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 1994.

GEDRAITE, R. Desenvolvimento e Implementação de Algoritmo Computacional para garantir um determinado nível de Letalidade Acumulada para Microorganismos presentes em Alimentos Industrializados. 1999, São Paulo. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

KLEIN, S. A., ALVARADO, F. L. Engineering Equation Solver. Middleton, WI, 2003. Manual do Usuário, F-Chart Software.

LEONHARDT, G. F. CONTRIBUIÇÃO AO CÁLCULO DA TEMPERATURA DE ALIMENTOS QUE SE AQUECEM POR CONDUÇÃO: Cálculo da Temperatura Central e da Temperatura Média para os casos de Latas Cilíndricas e Paralelepípedicas. São Paulo, 1973. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

TEIXEIRA A.A. & BALABAN, M. Notas de Aula do Curso Computer Applications in Thermal Processing of Canned Foods. ITAL, Campinas, 1996.

Anexos



