

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 04

ISSN 1678-0434
Novembro, 2003

Sistema de Controle de Temperatura para Câmara de Armazenamento de Alimentos Frescos em Meio Líquido



República Federativa do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva

Presidente

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Roberto Rodrigues

Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa

Conselho de Administração

José Amauri Dimázio

Presidente

Clayton Campanhola

Vice-Presidente

Dietrich Garhard Quast

Alexandre Kalil Pires

Sérgio Fausto

Urbano Campos Ribeiral

Membros

Diretoria Executiva da Embrapa

Clayton Campanhola

Diretor-Presidente

Gustavo Kauark Chianca

Hebert Cavalcante de Lima

Mariza Barbosa

Diretores-Executivos

Embrapa Instrumentação Agropecuária

Ladislau Martin Neto

Chefe-Geral

Álvaro Macedo da Silva

Chefe-Adjunto de Administração

Luiz Henrique Capparelli Mattoso

Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Elomir Antonio Perussi de Jesus

Gerente da Área de Comunicação e Negócios



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Instrumentação Agropecuária
Ministério da Agricultura e do Abastecimento*

ISSN 1678-0434

Novembro, 2003

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 04

Sistema de Controle de Temperatura para Câmara de Armazenamento de Alimentos Frescos em Meio Líquido

Paulo Renato Orlandi Lasso
José Dalton Cruz Pessoa
Adonai Gimenez Calbo
Paulo Estevão Cruvinel

São Carlos, SP
2003

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Instrumentação Agropecuária
Rua XV de Novembro, 1452
Caixa Postal 741
CEP 13560-970 - São Carlos-SP
Fone: (16) 3374 2477
Fax: (16) 3372 5958
www.cnpdia.embrapa.br
E-mail: sac@cnpdia.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Dr. Luiz Henrique Capparelli Mattoso
Secretária-Executiva: Janis Aparecida Baldovinotti
Membros: Dr. Odílio Benedito Garrido de Assis,
Dr. João de Mendonça Naime,
Dr. Rubens Bernardes Filho,
Dr. Washington Luiz de Barros Melo
Membro Suplente: Dra. Débora Marcondes Bastos Pereira Milori

Supervisor editorial: Dr. Odílio Benedito Garrido de Assis
Revisor de texto: Janis Aparecida Baldovinotti
Normalização bibliográfica: Janis Aparecida Baldovinotti
Tratamento de ilustrações: Valentim Monzane
Foto(s) capa: Rubens Bernardes Filho
Editoração eletrônica: Valentim Monzane

1ª edição

1ª impressão (2003): tiragem 300

Todos os direitos reservados.

**A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).**

**CIP-Brasil. Catalogação-na-publicação.
Embrapa Instrumentação Agropecuária**

Lasso, Paulo Renato Orlandi

Sistema de controle de temperatura para câmara de armazenamento de alimentos frescos em meio líquido. / Paulo Renato Orlandi Lasso, José Dalton Cruz Pessoa, Adonai Gimenes Calbo, Paulo Estevão Cruvinel. São Carlos: [Embrapa Instrumentação Agropecuária], 2003.

12 p. : il. (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, ISSN 1678-0434; n. 04).

1. Armazenamento. 2. Hidroconservação. 3. Vegetais frescos minimamente processados. I. Pessoa, José Dalton Cruz. II. Calbo, Adonai Gimenes. III. Cruvinel, Paulo Estevão. IV. Embrapa Instrumentação Agropecuária. V. Título. VI. Série.

CDD (21. Ed.) 631.55

© Embrapa 2003

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Introdução	7
Material e Métodos	8
Resultados e Discussão	10
Conclusões	11
Referências Bibliográficas	12

Sistema de Controle de Temperatura para Câmara de Armazenamento de Alimentos Frescos em Meio Líquido

Paulo Renato Orlandi Lasso¹

José Dalton Cruz Pessoa²

Adonai Gimenez Calbo³

Paulo Estevão Cruvinel⁴

Resumo

Neste trabalho é proposto um sistema de controle da temperatura para uma câmara na qual os produtos (já embalados) são armazenados imersos em meio líquido. Esta metodologia de armazenamento permite aumentar o tempo de prateleira de produtos vegetais frescos através da redução da temperatura, sem o perigo de congelar os produtos armazenados. Foi avaliado o desempenho do sistema de controle quanto à precisão e gradientes internos em comparação com uma câmara convencional de meio aéreo. Os resultados mostraram que a nova metodologia permite armazenar produtos frescos com segurança à apenas 0,4°C acima do ponto de congelamento, enquanto que em câmaras convencionais esses devem ser armazenados à, pelo menos, 2,0°C acima do ponto de congelamento.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema de controle, Armazenamento, Hidroconservação, Vegetais Frescos, Minimamente Processados.

¹ Físico e Engenheiro Eletrônico, Instrumentação para Fisiologia Vegetal. Embrapa Instrumentação Agropecuária, Rua XV de Novembro, 1452 - São Carlos - SP, lasso@cnpdia.embrapa.br, Telefone: (16) 274-2477, Fax: (16) 272-5958

² Pesquisador, Instrumentação para Fisiologia Vegetal. Embrapa Instrumentação, São Carlos - SP, dalton@cnpdia.embrapa.br

³ Pesquisador, Fisiologia de pós-colheita. Embrapa Hortaliças, Brasília DF, adonai@cnph.embrapa.br

⁴ Pesquisador, Instrumentação Agropecuária. Embrapa Instrumentação, São Carlos - SP, cruvinel@cnpdia.embrapa.br

Sistema de Controle de Temperatura para Câmara de Armazenamento de Alimentos Frescos em Meio Líquido

Paulo Renato Orlandi Lasso

José Dalton Cruz Pessoa

Adonai Gimenez Calbo

Paulo Estevão Cruvinel

Abstract

In this work is proposed a temperature control system for a chamber in which the products are stored under water. This storage methodology allows to increase fresh vegetables shelf time through reducing temperature, without the danger of the stored products come to freeze. The control system performing was evaluated in precision and internal gradients in comparison with a conventional air chamber. The results showed that the new methodology allows to storage fresh products with security at only 0,4°C above the freezing point, while in conventional air chamber the products should be stored, at least, 2,0°C above the freezing point.

INDEX TERMS: Control System, Storage, Hydroconservation, Fresh Vegetables, Fresh Cut

Introdução

O Brasil tem papel de destaque na produção mundial de frutas, ocupando a terceira posição no ranking mundial, logo atrás da China e da Índia, (SANTIAGO et al., 2001). No caso de legumes, em especial tomates, o Brasil é o oitavo produtor mundial e o sétimo maior em processamento (CAMARGO FILHO, 2001). A perda de frutas no Brasil é da ordem de 30%, a de hortaliças de 30,3% e folhas de 40,6% (GOMES, 1996). Neste cenário a questão das perdas pós-colheita devido à ineficiência dos sistemas de refrigeração durante toda a cadeia de comercialização deve ser objeto de pesquisa no sentido de minimizá-las.

Um dos fatores mais importantes para a degradação dos tecidos vegetais é a temperatura de armazenamento, que determina a velocidade das reações bioquímicas associadas à senescência. O Q10 (aumento relativo na velocidade de uma reação química ou processo biológico induzido por um aumento de 10°C na temperatura de armazenamento) pode ser superior a 5 dependendo do material vegetal e da faixa de temperatura considerada (WILLS et al., 1998).

Existem produtos como a ameixa, a alface, beterraba, cenoura, couve, maçã, nectarina, pêssego, pêra e uva que podem ser armazenados logo acima do ponto de congelamento, enquanto que outros como abacate, abacaxi, banana verde, beringela, goiaba, limão, manga, mamão, melancia, pepino, pimentão e tomate devem ser armazenados a temperaturas mais distantes do ponto de congelamento (CHITARRA e CHITARRA, 1990).

O problema que se coloca é como manter alimentos frescos o mais próximo possível da temperatura ideal, para minimizar o metabolismo, mas sem o risco de submeter o produto à injúria de frio ou congelamento. Para produtos como o alface, o morango e a uva podemos dizer que a situação ideal seria o armazenamento a uma temperatura mais próxima possível do ponto de congelamento garantindo, no entanto, que em momento algum e em ponto nenhum da câmara de armazenagem a temperatura atinja o valor crítico (WILLS et al., 1998 e EMBRAPA, 2002). Isto impõe a necessidade de uma instrumentação que forneça um controle muito acurado de temperatura, tanto em relação ao set point como em relação aos gradientes internos.

Pode ser definido o conceito de Margem de Segurança (MS) como sendo o intervalo, acima do ponto crítico, que deve ser guardado no ajuste do set point, a fim de garantir que em momento algum e em ponto nenhum da câmara, a temperatura atinja o valor crítico que provoca injúria. A definição matemática da MS (equação 1) deve levar em consideração a pior situação possível, expressa pela soma do erro máximo de controle da temperatura em regime estacionário (E_{ssmax}) com a maior diferença de temperatura observada entre dois pontos da câmara (T_{max}).

$$MS = E_{ssmax} + T_{max} \quad (1)$$

Usando a definição de MS, o problema colocado acima passa a ser, simplesmente, como minimizar a Margem de Segurança. Com o objetivo de desenvolver um sistema de armazenamento que permita o controle estrito da temperatura, comparou-se o desempenho do sistema de controle de temperatura de uma câmara convencional, onde os produtos são armazenados em ambiente gasoso, com uma nova câmara onde os produtos (embalados) são imersos em ambiente líquido.

Material e Métodos

A montagem utilizada é composta por um módulo de refrigeração, uma câmara de armazenagem e um computador que registra e controla a temperatura da câmara. O módulo de refrigeração tem capacidade de 4200 BTU/h, sendo constituído por um compressor modelo TCA1042-E fabricado pela ELGIN, acionado por motor elétrico 220VCA, um condensador com ventilação forçada e um evaporador na forma de serpentina. A câmara de armazenamento, mostrada na figura 1, foi construída a partir de uma caixa térmica com capacidade para 55 litros dentro da qual foi instalada a serpentina do evaporador. O sistema de aquisição de dados é composto por um computador Pentium III de 650MHz que registra a temperatura de um sensor PT100 posicionado no centro da câmara. A figura 2 mostra o diagrama de blocos do hardware construído, evidenciando a malha fechada do sistema de controle da temperatura e na figura 3 é mostrada uma vista geral da montagem.

O programa de controle, desenvolvido em *LabView*, trabalha segundo um algoritmo ON-OFF comparando a temperatura do Pt100 com a temperatura definida pelo usuário (*set point*). Enquanto aquela for superior o módulo de refrigeração permanece ligado (OGATA, 1982). O programa também registra os valores lidos pelo sensor, com precisão de 0,03°C, em função do tempo.

Com a montagem e o programa de controle acima descritos foi comparado o comportamento térmico de uma câmara de armazenagem preenchida com uma solução aquosa e com ar, para dois valores de *set point*: 1°C e 11°C. Para essa comparação foram medidos o erro máximo de controle da temperatura (E_{ssmax}) e a maior diferença de temperatura (T_{max}) em regime estacionário, sendo que esta última medida foi realizada utilizando-se oito sensores Pt100 distribuídos estrategicamente na câmara acoplados a um leitor multicanal de temperatura com precisão de 0,1°C. Desta forma foi possível determinar a margem de segurança (MS) em cada caso

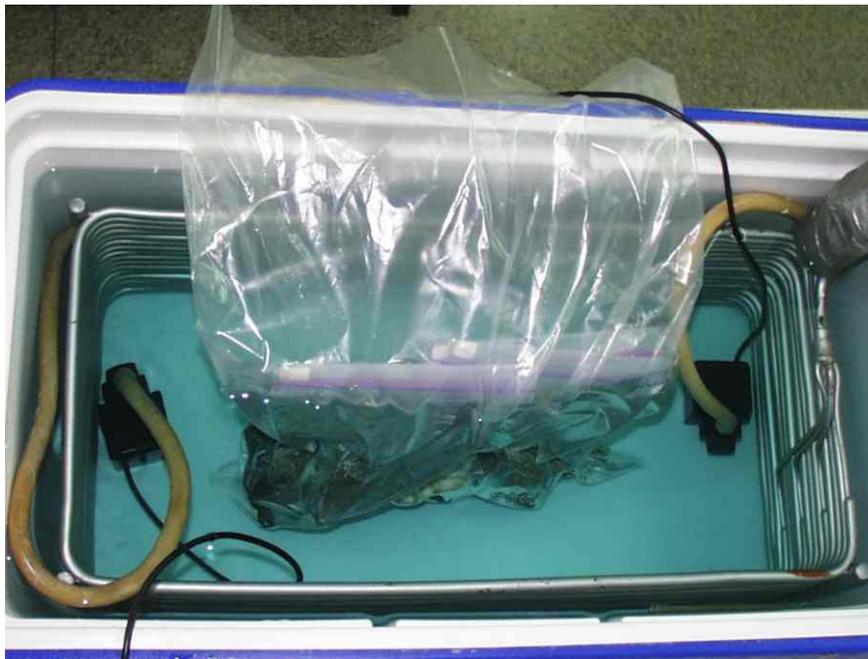


Figura 1: Câmara de armazenamento, preenchida com o meio líquido de conservação e contendo produtos vegetais armazenados.

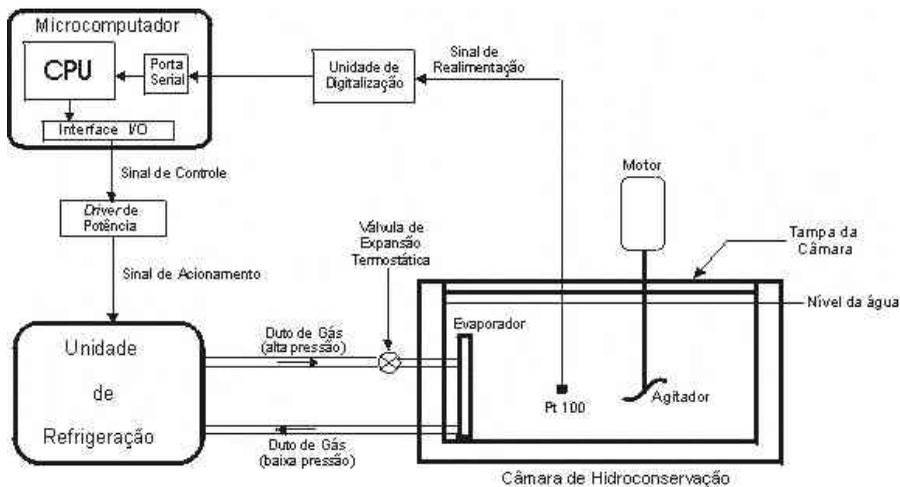


Figura 2: Diagrama de blocos Hardware do sistema



Figura 3: Vista geral da montagem

Resultados e Discussão

Para o *set point* de 11°C foram obtidos os seguintes resultados:

- Câmara Aérea: $E_{ssmax} = 1,42^{\circ}\text{C} \quad 0,03^{\circ}\text{C}$
 $T_{max} = 1,9^{\circ}\text{C} \quad 0,1^{\circ}\text{C}$ portanto $MS = 3,3^{\circ}\text{C} \quad 0,1^{\circ}\text{C}$

- Hidroconservador: $E_{ssmax} = 0,08^{\circ}\text{C} \quad 0,03^{\circ}\text{C}$
 $T_{max} = 0,3^{\circ}\text{C} \quad 0,1^{\circ}\text{C}$ portanto $MS = 0,4^{\circ}\text{C} \quad 0,1^{\circ}\text{C}$

Para o *set point* de 1°C foram obtidos os seguintes resultados:

- Câmara Aérea: $E_{ssmax} = 0,89^{\circ}\text{C} \quad 0,03^{\circ}\text{C}$
 $T_{max} = 1,1^{\circ}\text{C} \quad 0,1^{\circ}\text{C}$ portanto $MS = 2,0^{\circ}\text{C} \quad 0,1^{\circ}\text{C}$

- Hidroconservador: $E_{ssmax} = 0,05^{\circ}\text{C} \quad 0,03^{\circ}\text{C}$
 $T_{max} = 0,3^{\circ}\text{C} \quad 0,1^{\circ}\text{C}$ portanto $MS = 0,4^{\circ}\text{C} \quad 0,1^{\circ}\text{C}$

A figura 4 mostra uma comparação entre os regimes estacionários para a câmara aérea e o Hidroconservador para o *set point* de 1°C.

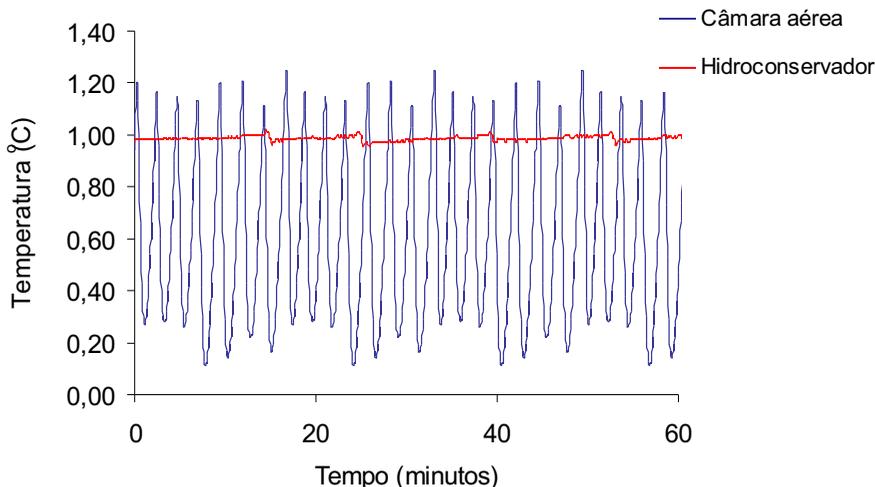


Figura 4: Comparação dos regimes estacionários para a câmara aérea e o Hidroconservador para o set point de 1°C

Observa-se que, em 60 minutos de aquisição, ocorreram 26 ciclos *ON-OFF* com a câmara aérea e apenas 4 com o Hidroconservador. Medindo-se o ciclo de trabalho e o consumo de potência dos sistemas, foi possível projetar o consumo médio mensal de energia elétrica:

- Câmara Aérea: 125 kWh
- Hidroconservador: 31 kWh

Conclusões

O Hidroconservador mostrou-se um sistema melhor que a câmara aérea convencional para conservar vegetais frescos uma vez que permite uma temperatura de armazenamento muito próxima do ponto de congelamento do produto, aproveitando melhor os benefícios da refrigeração sobre o tecido vegetal. A alta capacidade calorífica da água confere maior estabilidade térmica ao Hidroconservador, fazendo com que os ciclos *ON-OFF* sejam menos frequentes, preservando a vida útil do sistema e dependendo menos energia elétrica.

Referências Bibliográficas

- CAMARGO FILHO, W. P. Perspectivas dos Mercados de Tomate para Indústria e Mesa. *Informações Econômicas*, São Paulo, v. 31, n. 5, p.1, maio, 2001.
- CHITARRA, M. I. F., CHITARRA, A. B. Pós-colheita de frutos e hortaliças. Lavras: ESAL/FAEPE, 1990. 293p.
- EMBRAPA. José Dalton Cruz Pessoa; Adonai Gimenes Calbo; Paulo Estevão Cruvinel; Paulo Renato Orlandi Lasso. Hidroconservador e processo de conservação de produtos orgânicos perecíveis utilizando o mesmo. BR n.PI 000291, 11 jul. 2002.
- GOMES, M. S. DE O. Conservação Pós-Colheita: frutas e hortaliças. [Brasília]: EMBRAPA-SPI, 1996. 134 p. (Coleção Saber, 2).
- OGATA, K. Engenharia de Controle Moderno. [Rio de Janeiro]: Ed. Prentice/Hall do Brasil., 1982. 929 p.
- SANTIAGO, M. M. D.; ROCHA, M. B. O mercado de frutas e as estimativas dos preços recebidos pelos fruticultores no Estado de São Paulo, 1990-2000. *Informações Econômicas*, São Paulo, v. 31, n. 2, p. 1, fev., 2001.
- WILLS, R.; MCGLASSON, B.; GRAHAM, D.; JOYCE, D. Postharvest: an introduction to the physiology & handling of fruit, vegetables & ornamentals. 4th ed. Wallingfor: CAB International, 1998. 262 p.