

Série Produtor Rural



Métodos Empregados no Pré-Resfriamento de Frutas e Hortaliças

SÉRIE PRODUTOR RURAL - Nº 40

Universidade de São Paulo/USP
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/ESALQ
Divisão de Biblioteca e Documentação/DIBD





ISSN 1414-4530

Universidade de São Paulo - **USP**
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - **ESALQ**
Divisão de Biblioteca e Documentação - **DIBD**

Ivan Sestari
Ricardo Alfredo Kluge

Métodos Empregados no Pré-Resfriamento de Frutas e Hortaliças

Série Produtor Rural – nº 40

Piracicaba
2008

Série Produtor Rural, nº 40

Divisão de Biblioteca e Documentação - DIBD

Av. Pádua Dias, 11 – Caixa Postal 9
Cep: 13418-900 - Piracicaba - SP
e-mail: biblio@esalq.usp.br
http://dibd.esalq.usp.br

Revisão e Edição:

Eliana Maria Garcia

Editoração Eletrônica e Impressão:

Serviço de Produções Gráficas - USP/ESALQ

Tiragem:

300 exemplares

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Divisão de Biblioteca e Documentação - ESALQ/USP

Sestari, Ivan

Métodos empregados no pré-resfriamento de frutas e hortaliças / Ivan Sestari e Ricardo Alfredo Kluge. -- Piracicaba: ESALQ - Divisão de Biblioteca e Documentação, 2008.

64 p. : (Série Produtor Rural, nº 40)

ISBN 1414-4530

Bibliografia.

1. Conservação de alimentos 2. Fisiologia pós-colheita 3. Frutas Hortaliças I. Kluge, R.A. II. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Divisão de Biblioteca e Documentação III. Título IV. Série

CDD 664.085
S494m

Ivan Sestari ¹
Ricardo Alfredo Kluge ²

¹ Doutorando - Departamento de Ciências Biológicas - ESALQ/USP

² Professor Doutor - Departamento de Ciências Biológicas - ESALQ/USP

Métodos Empregados no Pré-Resfriamento de Frutas e Hortaliças

Série Produtor Rural – nº 40

Piracicaba
2008

SUMÁRIO

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | PERFIL DA CULTURA | 7 |
| 2 | VIDA ÚTIL PÓS-COLHEITA DOS PRODUTOS HORTÍCOLAS | 8 |
| 3 | PRÉ-RESFRIAMENTO | 10 |
| 3.1 | Definição | 10 |
| 3.2 | Influência do tempo de espera entre a colheita e o pré-resfriamento | 10 |
| 3.3 | Influência do pré-resfriamento na taxa respiratória e metabolismo | 11 |
| 3.4 | Influência do pré-resfriamento na síntese de etileno | 11 |
| 4 | PARÂMETROS A SEREM CONSIDERADOS PARA DETERMINAÇÃO DA NECESSIDADE DE PRÉ-RESFRIAMENTO | 12 |
| 4.1 | Qualidade do produto no ponto de venda | 12 |
| 4.2 | Flutuações nas condições de mercado e demanda | 13 |
| 4.3 | Mercado em expansão | 13 |
| 5 | PARÂMETROS BÁSICOS NO RESFRIAMENTO | 14 |
| 5.1 | Carga de calor | 14 |
| 5.2 | Taxa de resfriamento | 16 |
| 5.3 | Avaliação da temperatura da superfície de produtos hortícolas | 19 |
| 6 | MÉTODOS DE PRÉ-RESFRIAMENTO | 23 |
| 6.1 | Fatores que afetam os métodos de pré-resfriamento | 23 |
| 6.1.1 | Natureza do produto | 23 |
| 6.1.2 | Necessidade de embalagem do produto | 23 |
| 6.1.3 | Fluxo do produto | 24 |
| 6.1.4 | Limites econômicos | 24 |
| 6.2 | Pré-resfriamento em câmara | 24 |
| 6.2.1 | Processo de pré-resfriamento em câmara | 25 |
| 6.2.2 | Sistema de pré-resfriamento em câmara | 26 |
| 6.2.3 | Vantagens | 27 |
| 6.2.4 | Desvantagens | 27 |

| | | |
|---------|---|----|
| 6.2.5 | Produtos que podem ser pré-resfriados em câmara | 27 |
| 6.3 | Pré-resfriamento com ar forçado | 27 |
| 6.3.1 | Sistemas de pré-resfriamento por ar forçado | 28 |
| 6.3.2 | Variáveis envolvidas no pré-resfriamento com ar forçado | 31 |
| 6.3.3 | Influência de embalagens | 31 |
| 6.3.4 | Vantagens do pré-resfriamento com ar forçado | 32 |
| 6.3.5 | Desvantagens do pré-resfriamento com ar forçado | 33 |
| 6.3.6 | Produtos que podem ser pré-resfriados com ar forçado | 34 |
| 6.4 | Pré-resfriamento com água gelada | 34 |
| 6.4.1 | Sistema de pré-resfriamento com água gelada | 35 |
| 6.4.2 | Vantagens do pré-resfriamento com água gelada | 39 |
| 6.4.3 | Desvantagens do pré-resfriamento com água gelada | 39 |
| 6.4.4 | Produtos que podem ser pré-resfriados com água gelada | 39 |
| 6.5 | Pré-resfriamento com gelo | 40 |
| 6.5.1 | Sistema de pré-resfriamento com gelo | 40 |
| 6.5.1.1 | Acondicionamento com gelo | 41 |
| 6.5.1.2 | Gelo líquido | 42 |
| 6.5.2 | Parâmetros operacionais | 43 |
| 6.5.3 | Vantagens do pré-resfriamento com gelo | 44 |
| 6.5.4 | Desvantagens do pré-resfriamento com gelo | 44 |
| 6.5.5 | Produtos que podem ser pré-resfriados com gelo | 45 |
| 6.6 | Pré-resfriamento a vácuo | 45 |
| 6.6.1 | Sistema de pré-resfriamento a vácuo | 45 |
| 6.6.2 | Parâmetros operacionais | 49 |
| 6.6.3 | Vantagens do pré-resfriamento a vácuo | 50 |
| 6.6.4 | Desvantagens do pré-resfriamento a vácuo | 51 |
| 6.6.5 | Produtos que podem ser pré-resfriados a vácuo | 52 |
| 7 | COMPARATIVO ENTRE MÉTODOS E ADEQUAÇÃO DOS MESMOS AOS DIFERENTES PRODUTOS | 53 |
| 8 | ARMAZENAMENTO | 56 |
| | BIBLIOGRAFIA CONSULTADA | 57 |

1 PERFIL DA CULTURA

O termo qualidade está associado não somente à produção, mas também à tecnologia pós-colheita, à comercialização de frutas e hortaliças frescas e, em definitivo, às expectativas do consumidor em relação a esses produtos. As medidas pós-colheita exercem papel fundamental no atendimento desses anseios. Tão importante quanto o papel da produção, estas medidas abrangem atividades que devem ser incorporadas pelos produtores, como classificação, embalagem e o uso da tecnologia do frio desde a fazenda até o consumidor. Dentro da tecnologia do frio, deve-se distinguir duas etapas, que idealmente devem ser consideradas como duas operações distintas, para as quais convém utilizar instalações diferentes. A primeira é o resfriamento, isto é, a remoção do calor de campo necessário para que a temperatura do produto diminua até uma temperatura próxima daquela a ser praticada durante o armazenamento. Esta operação é conhecida como pré-resfriamento. A segunda etapa consiste na manutenção do produto pré-resfriado na temperatura desejada, extraindo do interior da câmara frigorífica o calor proveniente do metabolismo respiratório e o calor que entra do exterior da câmara.

Um dos fatores mais importantes afetando a vida pós-colheita e a qualidade dos produtos hortícolas é a temperatura. A perda de qualidade após a colheita ocorre como resultado de processos fisiológicos e biológicos, cujas taxas são influenciadas pela temperatura do produto. Como a manutenção da qualidade de mercado é de vital importância para o sucesso da produção hortícola, é necessário não somente resfriar o produto, mas resfriar o mais rápido possível após a colheita.

Embora seja um grande produtor de frutas e hortaliças, o Brasil perde anualmente parte significativa da sua produção devido ao manuseio incorreto dos diferentes tipos de produtos, por falta de infra-estrutura e má remuneração do produto final. Em geral, no Brasil os diferentes elos da cadeia produtiva não se utilizam tecnologias apropriadas para a colheita, pós-colheita e comercialização de produtos perecíveis, exceto em alguns

casos raros, geralmente voltados para a exportação. Esse descaso, associado ao mau gerenciamento, contribui para a obtenção de um produto de baixa qualidade o que limita a competitividade do produto nacional no exterior. O emprego criterioso e sustentável das tecnologias de refrigeração existentes permitiria um avanço significativo em toda a cadeia produtiva de frutas e hortaliças. Com a implantação e utilização das tecnologias existentes, poder-se-ia propiciar um significativo acréscimo na manutenção da qualidade dos produtos, reduzindo-se as perdas na pós-colheita, e por consequência gerando aumento da renda de produtores e empresários que atuam nos diferentes elos da cadeia produtiva de frutas e hortaliças, bem como contribuiria para a melhoria da qualidade de vida da população através do fornecimento de produtos de melhor qualidade e segurança alimentar.

2 VIDA ÚTIL PÓS-COLHEITA DOS PRODUTOS HORTÍCOLAS

A compreensão do requerimento de resfriamento por parte dos diferentes tipos de produtos de origem vegetal requer um adequado conhecimento de suas respostas biológicas. Primeiramente, é de fundamental importância ter-se em mente que os produtos hortícolas são organismos vivos que realizam diversos processos biológicos essenciais a sua manutenção da vida. Assim, esses produtos devem permanecer vivos e saudáveis até serem processados ou consumidos “in natura”.

A energia necessária para que os diversos processos vitais continuem são providos pelas reservas acumuladas enquanto o vegetal em questão (fruto, bulbo, flores, folhosas, etc.) ainda estava ligado à planta mãe que lhe originou. Através do processo respiratório, parte das reservas acumuladas pelo produto é transformada em energia. Por meio de uma seqüência de reações complexas as reservas (amido e açúcares) são

convertidas em ácidos orgânicos e subsequentemente a simples compostos de carbono. O oxigênio presente no ar é utilizado neste processo enquanto dióxido de carbono (CO_2) é liberado. Como comentado anteriormente, parte da energia é gasta para manutenção dos processos vitais enquanto outra parte é liberada na forma de calor. A perda destas reservas através da respiração significa redução no valor do produto, perda de sabor, aroma e rápida deterioração. Assim sendo, a taxa respiratória dos produtos praticamente determina a vida pós-colheita. Quanto maior a temperatura de armazenamento, maior será a taxa respiratória, e menor a vida de prateleira.

Em segundo lugar, é importante salientar que a qualidade não pode ser melhorada após a colheita, apenas pode ser mantida. Consequentemente, o processo de deterioração não pode ser revertido, mas apenas retardado; portanto, é de suma importância colher os frutos, hortaliças e as flores em adequado tamanho e estágio de maturação que propiciem seu máximo de qualidade.

De maneira geral, a extensão da vida de prateleira pode ser alcançada com a adoção de tecnologias adequadas, desde a colheita até a mesa do consumidor. A utilização do frio, ou seja, a redução da temperatura, de maneira compatível com o tipo de produto, representa o principal método de conservação de frutos e hortaliças. Atualmente, existem vários métodos visando a conservação da qualidade, tais como a atmosfera modificada, a atmosfera controlada, radiação gama, ultravioleta, ozonização, dentre outras. Todavia, independente do método escolhido, é importante lembrar sempre que nenhum deles substitui o efeito da temperatura, sendo assim complementos que devem ser utilizados sempre em associação à refrigeração.

3 PRÉ-RESFRIAMENTO

3.1 Definição

O correto manuseio da temperatura de produtos perecíveis tem início no adequado manuseio na colheita. No geral, os produtos devem ser colhidos no período da manhã de forma que apresentem uma menor temperatura possível no período que antecede o início do pré-resfriamento. Frutos cítricos representam uma exceção a esta recomendação, os quais são danificados se manuseados no período da manhã quando se encontram túrgidos.

Os produtos hortícolas, na maioria dos casos são colhidos em temperatura superior à recomendada para armazenagem, fazendo-se necessário que passem por um processo de resfriamento rápido, também chamado pré-resfriamento, no qual é retirado o calor de campo do produto recém colhido, antes que o mesmo seja armazenado ou transportado a longas distâncias visando a comercialização.

Em decorrência da maioria das câmaras de armazenamento não possuírem suficiente capacidade de refrigeração e nem o movimento de ar necessário para propiciar um resfriamento rápido, este procedimento normalmente é realizado em local separado do destinado ao armazenamento o qual requer equipamentos específicos. Quanto mais rápido este procedimento for realizado, maior o tempo que o produto poderá ser mantido em condições adequadas de comercialização. O pré-resfriamento melhora principalmente a conservação de frutos altamente perecíveis produzidos em regiões de clima quente.

O processo de resfriamento reduz a velocidade da deterioração natural (amadurecimento e senescência) e do crescimento dos organismos deteriorantes, reduzindo também o murchamento, visto que a perda de água ocorre mais lentamente em temperaturas baixas do que em altas.

3.2 Influência do tempo de espera entre a colheita e o pré-resfriamento

O calor de campo pode causar rápida deterioração dos produtos hortícolas. Assim, é desejável remover este calor o mais rápido possível

após a colheita. O resfriamento é fortemente afetado pela temperatura inicial do produto e esta pelo horário e condições do produto no momento da colheita e pelo tempo de espera antes do pré-resfriamento. Muitas vezes, o produto é colhido pela manhã, mas se aquece no campo ou no galpão de embalagem no decorrer do dia.

3.3 Influência do pré-resfriamento na taxa respiratória e metabolismo

Como a taxa respiratória é influenciada pela temperatura (Figura 1), a deterioração dos produtos após a colheita está intimamente relacionada à taxa de respiração do produto colhido.

Dentro da faixa de temperatura das plantas cultivadas, a taxa de deterioração aumenta logaritmicamente com o aumento da temperatura, sendo que a taxa metabólica dobra a cada 10°C de aumento da temperatura. Isto está de acordo com relatos de que a taxa de deterioração geral a 15°C é aproximadamente 2,5 vezes maior do que aquela a 0°C. A partir desses dados, pode-se concluir que quanto mais rápida a temperatura é reduzida, menores serão as perdas. Por isso, o pré-resfriamento é essencial para reduzir as mudanças metabólicas, como a atividade enzimática, e para diminuir a maturação de frutos, flores e outros produtos perecíveis.

3.4 Influência do pré-resfriamento na síntese de etileno

A falta de atratividade de flores cortadas está relacionada a muitos fatores. Entre eles, o nível de produção de etileno é um dos mais significantes. A redução na temperatura tem a vantagem adicional de reduzir a produção e a sensibilidade do produto ao etileno, o qual acelera o amadurecimento e a senescência. Assim, quanto mais rápido e mais prontamente o calor de campo, e conseqüentemente a temperatura, é reduzido após a colheita, mais rapidamente estes processos deteriorativos são retardados, propiciando desta forma manutenção da qualidade.

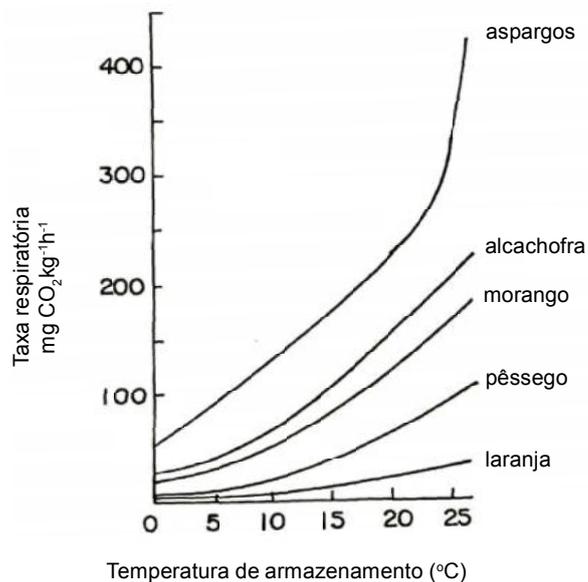


Figura 1 - Efeito da temperatura de armazenamento sobre a taxa respiratória de alguns frutos e hortaliças. Fonte: adaptado de Hardenburg, Watada e Wang (1986)

4 PARÂMETROS A SEREM CONSIDERADOS PARA DETERMINAÇÃO DA NECESSIDADE DE PRÉ-RESFRIAMENTO

4.1 Qualidade do produto no ponto de venda

A qualidade e o frescor dos produtos são elementos essenciais, já que a qualidade é o fator econômico mais relevante, tendo uma expressiva relação com a satisfação do consumidor. O requisito de qualidade de produtos perecíveis varia entre os produtos e depende de sua intenção de uso e do nível de qualidade necessária para este objetivo.

Para muitos produtos, o pré-resfriamento pode ser o passo mais importante para a extensão da vida de prateleira e manutenção da qualidade exigida pelo consumidor. Os requisitos de resfriamento dos produtos variam consideravelmente, e dependem das características, valor e vida de prateleira dos produtos. Produtos como morangos, aspargos, hortaliças folhosas, brócolis e muitas variedades de flores de corte são altamente perecíveis e devem ser resfriados o mais rápido possível após a colheita, já que o resfriamento imediato é essencial para a conservação da qualidade durante o período de espera e distribuição. Sem o pré-resfriamento, estes produtos não chegariam ao mercado no padrão exigido e, conseqüentemente, o produtor/atacadista teria grandes perdas.

4.2 Flutuações nas condições de mercado e demanda

O fornecimento e a demanda de produtos hortícolas perecíveis nem sempre estão em equilíbrio e podem ocorrer grandes flutuações sazonais tanto na quantidade quanto no preço. A regulação no fluxo de flores de corte ao mercado é uma prática muito importante, já que a demanda por flores é irregular. O mercado para hortaliças também está constantemente mudando, especialmente o mercado de produtos exóticos.

Recomenda-se que o pré-resfriamento seja usado juntamente com um controle adequado da temperatura para prover ao mercado a flexibilidade necessária para enfrentar estes picos e demandas extras. Com esta flexibilidade, perdas devido à superprodução podem ser evitadas e uma vida de prateleira máxima pode ser conseguida.

4.3 Mercado em expansão

O mercado para hortaliças, frutas e flores está em franco crescimento. No Brasil, o aquecimento da economia interna propicia maior competição entre produtores e atacadistas visando atender as crescentes exigências dos consumidores propensos a adquirir produtos diferenciados. Também,

a necessidade de alcançar mercados mais distantes, atendendo um maior número de consumidores requer a utilização de técnicas para prolongar a vida de prateleira e colocar no mercado um produto que melhor satisfaz o consumidor.

5 PARÂMETROS BÁSICOS NO RESFRIAMENTO

A temperatura é o fator mais importante na conservação de frutas e hortaliças, uma vez que afeta diretamente os processos naturais de respiração, transpiração e outros aspectos fisiológicos dos produtos hortícolas. Quando o calor aumenta, a velocidade respiratória também aumenta. Dentro da faixa de temperatura de 0°C a 30°C, a cada 10°C de aumento na temperatura a velocidade respiratória pode duplicar, triplicar ou mesmo quadruplicar. Portanto, o calor acelera a respiração, provocando diminuição da matéria seca do produto e, conseqüentemente, degradação da qualidade de frutas e hortaliças, reduzindo sua vida útil ou de conservação.

Como esse é um fator controlável, a maioria dos métodos de conservação está vinculada à utilização de baixas temperaturas. Por esse motivo, utiliza-se a tecnologia do resfriamento para diminuir o calor do produto e do ambiente onde este se encontra. O meio a ser utilizado para reduzir o calor varia dentre os diversos produtos, pois estes apresentam comportamentos distintos. Alguns são mais tolerantes ao resfriamento, ao passo que outros são bastante sensíveis.

5.1 Carga de calor

O calor é uma forma de energia encontrada em qualquer matéria. O termo "frio" é simplesmente uma forma de expressão para um nível relativamente baixo de calor. O calor sempre flui naturalmente de um objeto

quente para um frio. No pré-resfriamento e armazenamento sob refrigeração, o produto é resfriado pela remoção do seu calor e não pela transmissão do frio para o mesmo.

Independente da técnica utilizada para o pré-resfriamento, é essencial que a carga de calor seja removida rapidamente. O pré-resfriamento necessita uma maior capacidade de refrigeração em comparação àquela necessária para manter o produto em uma temperatura constante ou para o resfriamento lento de um produto. É preciso, então, ter uma capacidade de resfriamento adequada para o pré-resfriamento efetivo.

A maior parte dos sistemas de refrigeração é projetada somente para manter baixa a temperatura do produto previamente resfriado e, por esta razão, em geral não dispõem de capacidade suficiente para retirar o calor de campo de uma maneira rápida e eficiente. As câmaras frigoríficas convencionais, via de regra, não podem ser utilizadas como resfriadores, uma vez que não possuem a capacidade de refrigeração ou a velocidade de ar necessária ao resfriamento rápido do produto.

O resfriamento rápido é realizado comercialmente por vários métodos, todos envolvendo a transferência rápida de calor do produto para um meio refrigerante, tal como o ar, a água ou o gelo. Os métodos mais usados são o resfriamento com ar forçado, com água gelada, a vácuo e com gelo. Alguns produtos podem ser resfriados por vários meios, mas a maioria deles responde melhor a um ou dois métodos. O tempo requerido para um resfriamento rápido adequado pode variar de 30 minutos a 24 horas ou mais.

O pré-resfriamento em câmara, com ar forçado, com água gelada e a vácuo, devem ser realizados antes que o produto seja transportado ou armazenado. Contudo, durante o período de transporte de frutas e hortaliças, pode-se utilizar o resfriamento rápido com gelo.

A composição da carga total de calor vem do produto, meio circundante, infiltração de ar, containeres e outros equipamentos produtores de calor. O calor do produto é a maior porção da carga total de calor no sistema de pré-resfriamento. A carga de calor depende da temperatura do produto, da

taxa de resfriamento, da quantidade de produto a ser resfriado em um dado tempo e do calor específico do produto. O calor de respiração faz parte da carga de calor do produto, mas em geral ele pode ser ignorado nos cálculos de pré-resfriamento, já que o resfriamento é rápido.

Para um cálculo preciso da carga de calor, uma determinação precisa da temperatura do produto é essencial. Como resultado da rápida transferência de calor, um gradiente de temperatura desenvolve-se no produto, com um resfriamento mais rápido causando gradientes maiores. Conseqüentemente, a temperatura na superfície muda mais rapidamente, enquanto a temperatura no centro muda mais lentamente.

5.2 Taxa de resfriamento

A taxa de resfriamento depende de muitos fatores, incluindo taxa de transferência de calor, diferença de temperatura entre o produto e o meio de resfriamento, propriedades térmicas do produto, tamanho e forma do produto, acessibilidade do produto ao meio refrigerante, natureza do meio refrigerante e do tipo de empacotamento.

Em qualquer processo de pré-resfriamento a determinação do tempo necessário para o resfriamento completo que, em geral, corresponde ao tempo requerido para atingir a temperatura desejada antes de transferir o produto à estocagem ou ao transporte representa uma grande preocupação. Assim, para quantificar o processo de resfriamento, tanto em termos de tempo como de temperatura, são empregados diversos parâmetros, dentre os quais os mais comuns são o tempo de meio (1/2) resfriamento e o tempo de sete-oitavos (7/8) de resfriamento.

O tempo de meio resfriamento é o tempo necessário para resfriar o produto até a temperatura média entre a temperatura inicial e a temperatura do meio de resfriamento. Teoricamente, o tempo de meio resfriamento, assim como o tempo de sete-oitavos de resfriamento, é independente da temperatura inicial do produto, e permanece constante durante o período de resfriamento. De maneira prática, se uma carga de pêssegos em uma

câmara com ar a 0°C leva quatro horas para ser resfriada de 20°C até 10°C (tempo de meio resfriamento), levará outras quatro horas para chegar a 5°C, mais quatro horas para chegar a 2,5°C, e assim por diante.

A velocidade de resfriamento parece diminuir enquanto se dá o processo, visto que essa redução ocorre de forma inversa e logarítmica, isto é, há uma queda acentuada da temperatura inicial até a metade dessa diferença e bem menos acentuada à medida que a temperatura do produto se aproxima da temperatura do meio de refrigeração (Figura 2). Uma vez conhecido o tempo de meio resfriamento de um sistema, pode-se estimar o efeito das variáveis nas temperaturas do produto e do meio de resfriamento, e no tempo necessário para atingir uma certa temperatura do produto.

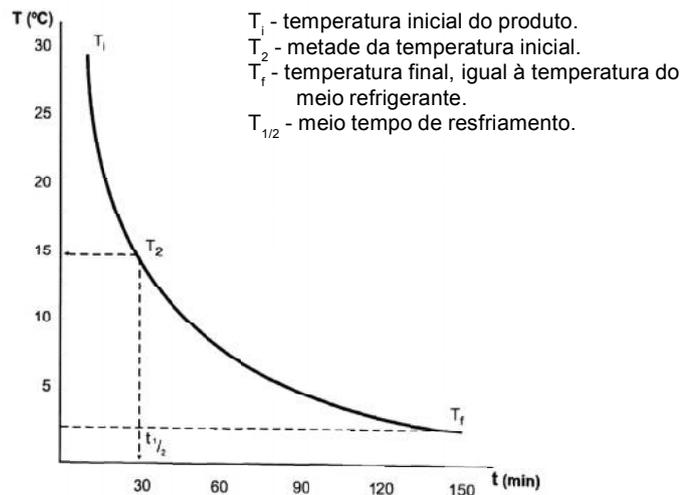


Figura 2 - Tempo de meio resfriamento em função da temperatura inicial do produto.
Fonte: adaptado de American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers - ASHRAE (1994)

Com freqüência, utiliza-se o termo sete-oitavos de resfriamento (equivalente a três "tempos de meio resfriamento", no exemplo anterior valendo 12 horas) como um ponto de referência. O tempo de sete-oitavos de resfriamento poderia ser definido como o tempo necessário para resfriar o produto sete-oitavos da diferença entre a temperatura inicial e a temperatura média do meio de resfriamento. O tempo de sete-oitavos de resfriamento é de uso mais prático nas operações comerciais de resfriamento, porque a temperatura do produto no tempo de sete-oitavos de resfriamento é aceitavelmente próxima à temperatura necessária no armazenamento ou transporte, e é igual a três tempos de meio resfriamento. O produto pode então ser armazenado, onde um-oitavo de calor restante pode ser gradualmente removido com menos custo de energia.

Os parâmetros tempo de meio resfriamento ou tempo de sete-oitavos de resfriamento são fortemente influenciados pelo produto resfriado, pelo método de resfriamento empregado, pelo tipo de embalagem e por outras condições de operação.

O tempo de meio resfriamento é função do coeficiente de resfriamento, que pode ser estimado em qualquer tempo (t) a partir da relação de temperaturas (Y) (ASHRAE, 1998):

$$Y = \frac{T - T_o}{T_i - T_o} \quad (1)$$

onde **T** corresponde à temperatura do produto em qualquer tempo **t** do resfriamento; **T_i** designa a temperatura inicial do produto; e **T_o** é a temperatura do meio de resfriamento utilizado.

O coeficiente de resfriamento expressa a mudança na temperatura do produto pela mudança unitária do tempo de resfriamento para cada grau de diferença de temperatura entre o produto e o meio circundante.

Além da relação entre temperaturas, para a determinação dos tempos de meio ou sete-oitavos de resfriamento, tem grande influência o coeficiente de transferência de calor de um corpo. Isto porque este consiste na medida

de intensidade do transporte entre a superfície e o meio, ou melhor, numericamente, o coeficiente de transferência de calor (h) corresponde à quantidade de calor emitido ou absorvido por uma unidade de área em uma unidade de tempo e pode ser obtido por meio da equação 2 (MOREIRA, 1999):

$$h = \frac{k \cdot Nu}{d} \quad (2)$$

onde **Nu** refere-se ao número de Nusselt, **k** corresponde à condutibilidade térmica do produto e **d** equivale ao seu diâmetro. Desta forma, o valor de **h** depende da taxa volumétrica do fluxo de ar e das características físicas do produto.

5.3 Avaliação da temperatura da superfície de produtos hortícolas

Os métodos do coeficiente da taxa de resfriamento (CC) e do tempo de meio resfriamento ($t^{1/2}$) têm sido usados para comparar diferentes técnicas de pré-resfriamento. Esses dois métodos podem ser aplicados em situações em que a temperatura do meio de resfriamento é uniforme em torno do produto. Entretanto, o CC e o $t^{1/2}$ dependem do diâmetro do produto que está sendo testado e consideram uma temperatura constante e uniforme na superfície do produto.

O processo de transferência de calor pode ser dividido em três classes, dependendo do número de Biot (Bi), que é definido como a relação entre a resistência interna e a resistência externa quanto à transferência de calor (MOHSENIN, 1980) (equação 3):

$$Bi = \frac{h S_o}{k} \quad (3)$$

Quando $Bi > 10$, a transferência de calor por convecção ($h S_o$) é elevada, em comparação à condutibilidade térmica (k), que se torna um fator limitante

à transferência de calor. A relação entre a resistência interna e a externa à transferência de calor é também alta quando a capacidade de resfriamento do meio externo consiste do calor latente da fusão do gelo. A temperatura do meio externo permanece constante e a condutibilidade térmica do produto é novamente o fator limitante na transferência de calor.

Por outro lado, quando $Bi < 0,2$ k é elevado em comparação a $h S_0$ e, nesse caso, a temperatura é considerada uniforme ao longo de todo o volume do produto, e $h S_0$ é considerado como o fator limitante para a transferência de calor. Por definição, tais condições não ocorrem com alimentos sólidos quando submetidos ao processo de resfriamento, pois o k de um sólido deve ser relativamente pequeno quando comparado ao h .

Entre um Bi de 0,2 e 10, há uma resistência interna e externa finitas. O processo de resfriamento rápido usando gelo líquido é considerado desta categoria.

Um outro parâmetro adimensional no estudo de um processo de transferência de calor é o número de Fourier (Fo). Este número, definido pela equação 4 (HOLMAN, 1986):

$$Fo = \alpha / S_0^2 \quad (4)$$

é a relação entre a profundidade de penetração da onda de temperatura num tempo t , sobre a dimensão característica do corpo.

Existem soluções gerais para transferência de calor transiente aplicável para diferentes formas (HOLMAN, 1986). Estas formas são: placa infinita, cilindro infinito e esfera. Para $Fo > 0,2$ a solução de séries infinitas para a temperatura no centro do corpo, à temperatura uniforme no início, pode ser aproximadamente dentro de 1% de erro de um único termo (equação 5).

$$Q = \frac{\theta_o - C_b \exp(-A_b^2 \alpha t / r_o^2)}{\theta_i} \quad (5)$$

Essa equação aproximada é válida para um cilindro, tendo um coeficiente de condutibilidade térmica constante e uniforme. A_b é a solução da equação 6 e C_b é então calculado com a equação 7. As relações para fora do centro do produto podem ser expressas usando a equação 8.

$$\frac{A_b J_1(A_b)}{J_0(A_b)} = Bi \quad (6)$$

$$C_b = \frac{2 J_1(A_b)}{A_b J_0^2(A_b) + J_1^2(A_b)} \quad (7)$$

$$\frac{\theta_r}{\theta_0} = J_0(A_b r / r_0) \quad (8)$$

Da equação 5, o logaritmo da relação de temperatura, $\ln(\theta / \theta_i)$, plotado em relação ao tempo deve dar, após um certo intervalo de tempo, uma linha reta onde CC é a inclinação dessa linha e denota a mudança na temperatura do produto por unidade de tempo (ASHRAE, 1986; GARIETY et al., 1987).

A equação 9 define CC como uma função de relações de temperatura e tempo, sendo $t_{1/2}$ o tempo requerido para alcançar a relação de temperatura de 0,5 (GUILLOU, 1958; ASHRAE, 1986) (equação 10).

$$CC = \frac{\ln(\theta / \theta_2) - \ln(\theta / \theta_1)}{(t_2 - t_1)} \quad (9)$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln(0,5)}{CC} \quad (10)$$

Baseado nas equações 5, 9 e 10, ambos CC e $t_{1/2}$ dependem muito do raio do corpo. Além disso, o valor do coeficiente A_b é uma função de Bi (equação 6), o qual varia com o raio do produto. Na prática, as medições

de CC e $t^{1/2}$ são bastante variáveis entre os produtos submetidos às mesmas condições de resfriamento, sobretudo quando todas as condições não são totalmente controladas.

A temperatura em qualquer posição dentro do produto tende a se aproximar do equilíbrio com a temperatura do meio de resfriamento na superfície do produto (T_{∞}) pela transferência de calor (HOLMAN, 1986). Foi formulada a hipótese de que é possível determinar T_{∞} durante o processo de resfriamento, baseado nos dados obtidos pelo registro de temperatura efetuado minuto a minuto sobre um período específico de tempo durante o processo de resfriamento. O período de registro corresponde ao período no qual CC é constante e é determinado pela restrição da equação 5 ($\alpha t / r_0^2 > 0,2$) (HOLMAN, 1986). Portanto, a parte dos dados usados para calcular é determinada pelo valor de Q. Q é calculado com a equação 5, substituindo o termo $\alpha t / r_0^2$ por 0,2 e, para ser conservador, substituindo as constantes A_b e C_b pelos valores que correspondem a um grande Bi: $A_b = 2,4$ e $C_b = 1,6$. A parte dos dados usados corresponde a $Q \leq 0,5$. Considerando que T_{∞} é desconhecido e é necessário para estimar os dados que podem ser usados, considera-se que T_{∞} é a temperatura do meio de resfriamento. Por exemplo, se um produto é colhido a uma temperatura de 24°C (T_i) e é então processado com o uso de gelo líquido a 0°C (assumido T_{∞}), $Q = 0,5$ é obtido quando $T_b = 12^{\circ}\text{C}$ ou $0,5 = (T - 0) / (24 - 0)$.

A temperatura é registrada a partir desse ponto até que T_b alcance uma temperatura equivalente para $Q = 0,125$ ou T_b não mude em mais de 0,2°C no período de um minuto. T_{∞} é então calculada por meio da linha de melhor ajuste, usando a técnica de regressão linear nos dados de temperatura. T_{∞} é calculado de forma interativa a fim de se obter o melhor coeficiente de correlação da linha obtida do gráfico $\ln(Q)$ versus tempo. A temperatura T_{∞} finalmente obtida é considerada como uma temperatura média de superfície do produto durante o processo de resfriamento. A principal vantagem de usar T_{∞} como resultado comparativo, para avaliar e comparar um método de resfriamento em que a temperatura do meio não é uniforme, é que T_{∞} não deve ser afetada por parâmetros polimórficos do produto, pois a

temperatura em qualquer ponto dentro do produto tende a atingir a temperatura média do meio que está em volta do produto (HOLMAN, 1986).

6 MÉTODOS DE PRÉ-RESFRIAMENTO

6.1 Fatores que afetam os métodos de pré-resfriamento

Há uma variedade de técnicas de pré-resfriamento disponíveis para o uso na produção hortícola. Os principais métodos de pré-resfriamento para produtos perecíveis incluem pré-resfriamento em câmara, por ar forçado, com água gelada, por gelo e a vácuo, com muitas variações e alterações entre estas técnicas. Enquanto alguns produtos podem ser pré-resfriados por qualquer um desses métodos sem sofrer qualquer perda de qualidade, outros podem ser afetados adversamente dependendo do método utilizado. A escolha do método de pré-resfriamento é influenciada pelos seguintes fatores.

6.1.1 Natureza do produto

Diferentes tipos de produtos têm diferentes necessidades de resfriamento. Por exemplo, morangos e brócolis necessitam temperaturas próximas ao congelamento, enquanto abóbora e tomate seriam danificados nestas temperaturas. Do mesmo modo, devido a problemas que podem ser causados pelo acúmulo de água em certos produtos, determinados tipos de flores de corte, por exemplo, podem ser suscetíveis a fungos, não sendo, para estes produtos, recomendado o resfriamento com água gelada.

6.1.2 Necessidade de embalagem do produto

A escolha do método de resfriamento também é grandemente influenciada pelo tipo de embalagem usada. O produto pode estar em uma

caixa, cesta ou filme plástico, os quais irão alterar e/ou afetar as características de resfriamento do produto em questão. Por exemplo, a ausência de aberturas laterais nas caixas onde os produtos se encontram e o inadequado empilhamento das caixas atrapalha a circulação do meio refrigerante através do produto resultando em baixa redução da temperatura.

6.1.3 Fluxo do produto

Invariavelmente, algumas técnicas de resfriamento são muito mais rápidas do que outras, e assim apresentam diferentes produções. Se o volume de produto a ser resfriado por estação, por dia, ou por hora é grande, uma técnica de resfriamento mais rápida é necessária para atingir o fluxo necessário. Além disso, a relação entre o equipamento de resfriamento e a operação de embalagem deve ser considerada para não interromper o fluxo de produto.

6.1.4 Limites econômicos

Os custos de construção, operação e manutenção variam grandemente entre os métodos de resfriamento. O custo do método escolhido deve ser justificado por maior preço de venda ou outros benefícios econômicos.

6.2 Pré-resfriamento em câmara

O pré-resfriamento em câmaras frias ou câmaras de pré-resfriamento é uma prática antiga. Este método envolve a colocação do produto (em caixas de madeira, fibra ou plástico, ou outras embalagens) em câmara fria, onde ocorre a exposição do produto ao ar frio (Figura 3).

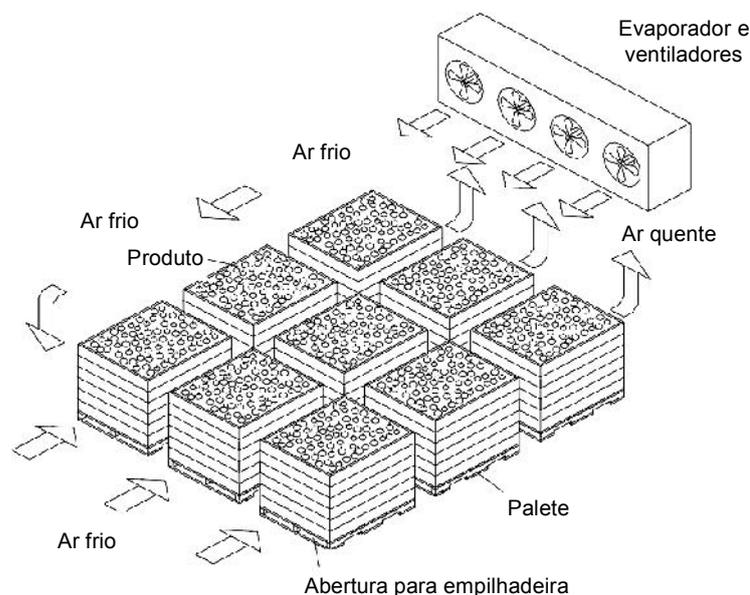


Figura 3 - Representação esquemática da rota percorrida pelo ar no resfriamento em câmara (adaptado de RENNIE, 1999)

6.2.1 Processo de pré-resfriamento em câmara

Normalmente o ar frio entra na câmara perto do teto, e passa pelas embalagens do produto para retornar aos trocadores de calor. O ar frio é geralmente fornecido por força ou corrente induzida, consistindo de evaporadores com hélices para circular o ar. Portanto, para conseguir um resfriamento rápido e eficiente, deve-se atentar para a correta disposição das embalagens. A velocidade do ar ao redor das embalagens deve ser de no mínimo 60 m min^{-1} , para fornecer a turbulência necessária para conseguir a remoção do calor e resfriamento adequado. Também se sugere que a câmara de resfriamento permita que o produto seja resfriado no mesmo local em que será armazenado, minimizando o dano por manipulação.

Entretanto, para se alcançar as melhores taxas de resfriamento, mais espaço é necessário do que o requerido para o armazenamento, e assim certo rearranjo do produto após o resfriamento pode ser necessário para utilizar a capacidade de armazenamento total.

Como a maior parte do resfriamento é conseguida por condução, o resfriamento em câmara apresenta uma redução de temperatura lenta e variável. Portanto, produtos perecíveis que são pré-resfriados por este método devem ser tolerantes à baixa taxa de remoção do calor.

6.2.2 Sistema de pré-resfriamento em câmara

Uma câmara fria convencional não é adequada para esta operação porque mais de $\frac{3}{4}$ da capacidade do refrigerador pode ser requerida somente para remover o calor formado, e as taxas de resfriamento são freqüentemente de $0,5^{\circ}\text{C h}^{-1}$, sendo muito variáveis. Para flores não empacotadas, o calor pode ser removido em 20 minutos por resfriamento em câmara, enquanto a redução de temperatura de flores empacotadas é um processo lento, podendo levar 2 dias ou mais, o que é um período muito longo para um produto com uma vida útil tão curta. Alguns produtos embalados podem necessitar de vários dias para alcançar a temperatura adequada de armazenamento na câmara de resfriamento. Conseqüentemente, as câmaras normalmente usadas para produtos altamente perecíveis são projetadas para ter um fluxo de ar de 170 a 225 $\text{m}^3 \text{min}^{-1}$ para um câmara com uma capacidade de 15000 Kg e refrigeração suficiente para resfriar o produto a 5°C em aproximadamente 12 horas.

Para os produtos que podem ser resfriados por este método, há uma grande economia, devido a carga de refrigeração ser distribuída por um período mais longo e os requisitos de fluxo de ar são geralmente menores do que aqueles para um resfriamento mais rápido. Assim, uma câmara de resfriamento projetada adequadamente pode ser relativamente eficiente em termos energéticos e representar uma economia para o produtor.

6.2.3 Vantagens

- O produto pode ser resfriado e armazenado no mesmo local possibilitando menor manipulação;
- O sistema tem simplicidade no seu arranjo e operação;
- A câmara fica sempre refrigerada;
- O pico de carregamento da câmara é menor;
- Menor consumo de energia pelo sistema, pois o calor é removido lentamente.

6.2.4 Desvantagens

- O resfriamento é lento, podendo durar de várias horas a alguns dias;
- Maior perda de água;
- O ar circula pelo caminho de menor resistência não entrando nas embalagens;
- Efeito prejudicial do aumento da temperatura provocado pela entrada de carga quente sobre o produto já resfriado, reduzindo a eficiência do sistema.

6.2.5 Produtos que podem ser pré-resfriados em câmara

O resfriamento em câmara pode ser usado para produtos que não deterioram rapidamente após a colheita, como feijão, beterraba, pepino, cebola, pimenta, batata, abóbora, rabanete, tomate, alho, ervas e nabo.

6.3 Pré-resfriamento com ar forçado

O pré-resfriamento através do ar forçado foi desenvolvido para produtos que necessitam de uma remoção rápida do calor de campo imediatamente após a colheita. Este é uma modificação do pré-resfriamento em câmara, e

consiste em dispor as pilhas de caixas (paletes) com produto dentro de uma estrutura forrada com uma lona térmica, no extremo da qual há um ventilador. O ventilador trabalha como exaustor, provocando um fluxo de ar forçado através do volume de caixas, criando assim uma "pressão negativa". Os diferenciais de pressão variam de 60 a 750 kPa e o fluxo de ar, de 1 a 3 L s⁻¹ por quilograma do produto. A montagem deste sistema deve ser feita no interior de uma câmara frigorífica convencional; assim, o ar que passa através das caixas no interior do duto é o ar frio que sai do evaporador do sistema de refrigeração da câmara frigorífica.

Dependendo do produto e da capacidade do forçador de ar, o método é quatro a dez vezes mais rápido que o resfriamento na câmara. Entretanto, mesmo assim, ele leva o dobro do tempo ou mais para resfriar os produtos, quando comparado ao hidrorresfriamento ou a vácuo.

6.3.1 Sistemas de pré-resfriamento por ar forçado

De maneira geral, existem três diferentes variações do sistema de ar forçado que são comumente utilizados comercialmente. São eles, o sistema de resfriamento por ar forçado do tipo "parede fria", do tipo serpentina e o túnel de ar forçado.

No sistema de resfriamento por ar forçado do tipo "parede fria" (Figura 4) o ar frio passa através das embalagens empilhadas devido à existência de um sistema permanente de ventilação por exaustão. Em geral, pilhas de embalagens paletizáveis são colocadas em um lado de uma parede da câmara fria, com os ventiladores de exaustão projetados para fazer com que o ar passe por um conjunto de evaporadores. Aberturas estão localizadas ao longo do lado da parede onde se encontra o sistema de ventilação e contra a qual são colocadas as pilhas das embalagens. Esse procedimento ocorre individualmente para todas as pilhas dentro da câmara até que o produto atinja a temperatura desejada e, em seguida, é movido para outra localização, evitando com isso a perda de água do produto devido ao ar frio forçado que passa por ele.

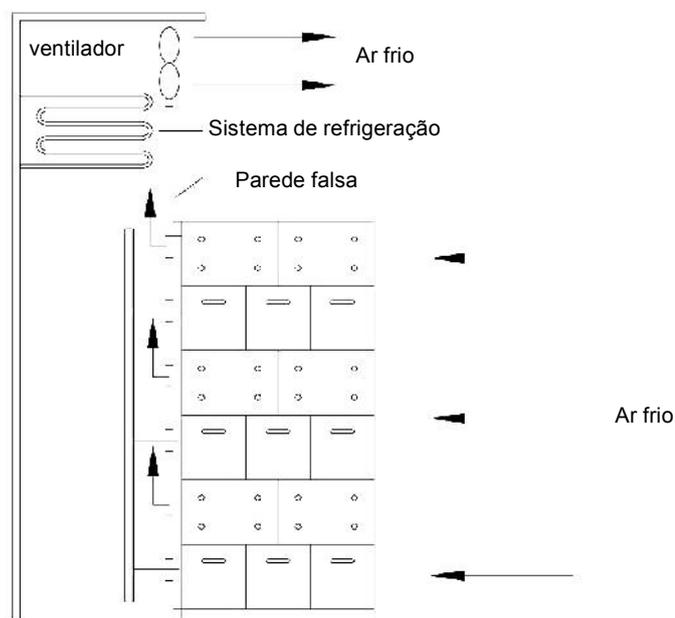


Figura 4 - Vista esquemática da seção transversal de um sistema de resfriamento por ar forçado do tipo "parede fria" (adaptado de RENNIE, 1999)

O sistema de resfriamento do tipo serpentina (Figura 5) tipicamente é usado em produtos que são embalados em bins paletizáveis. São requeridas algumas modificações no sistema de resfriamento do tipo parede fria de maneira que as aberturas, localizadas na base dos paletes, são usadas como entradas de ar. Através do bloqueio de parte das aberturas laterais, o ar frio circula verticalmente através do produto em cada bin criando uma diferença de pressão entre os compartimentos. O retorno de ar oposto ao lado fechado é aberto assim o ar descreve um comportamento de serpentina através do produto. A taxa de resfriamento deste sistema é menor se comparada ao sistema de túnel de ar forçado, todavia sua principal vantagem se deve a ausência de espaço entre as fileiras de bins, o que é desejável quando se deseja resfriar um grande volume de produto de uma só vez.

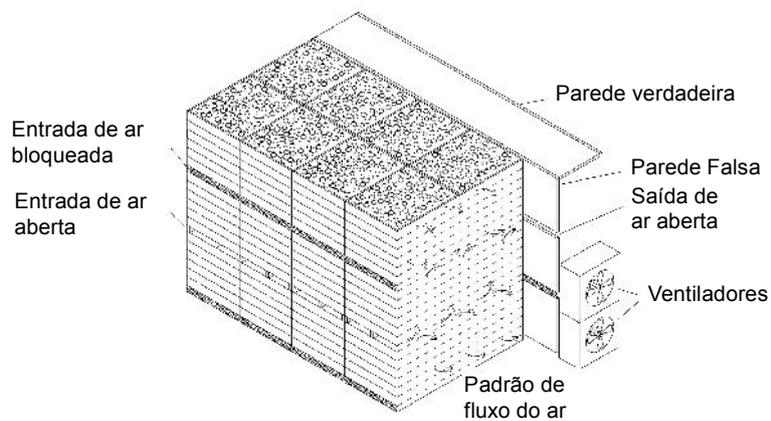


Figura 5 - Vista esquemática de um sistema de resfriamento por ar forçado do tipo serpentina (adaptado de RENNIE, 1999)

No sistema de resfriamento do tipo túnel de ar forçado, duas fileiras de bins paletizados são dispostas de modo a formar um canal entre as fileiras (Figura 6). A seguir uma lona é disposta sobre o produto formando um túnel. Numa das extremidades do túnel é colocado um ventilador responsável por criar uma pressão negativa no interior do túnel permitindo que o ar frio passe através das caixas.

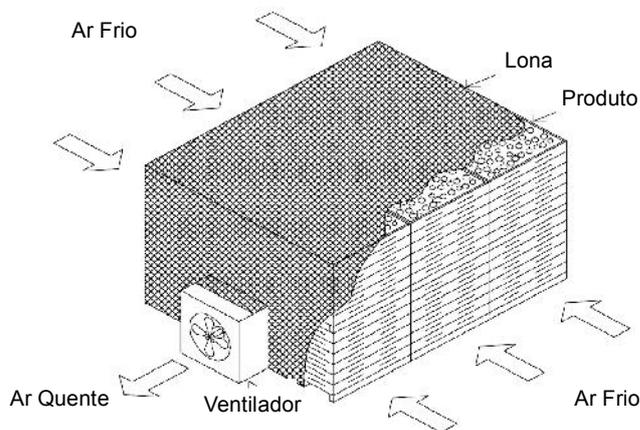


Figura 6 - Vista esquemática de um sistema de resfriamento por túnel de ar forçado (adaptado de RENNIE, 1999)

6.3.2 Variáveis envolvidas no pré-resfriamento com ar forçado

A taxa de resfriamento do produto é afetada por numerosas variáveis e, por esta razão, o custo do resfriamento por ar forçado varia. Estas variáveis incluem o tamanho e a forma do produto, propriedades térmicas, configuração do produto (a granel ou empacotado), dimensões das caixas, da área e da forma de distribuição das aberturas das caixas, profundidade da carga durante o resfriamento, temperatura inicial do produto, temperatura final desejada, taxa de fluxo de ar, temperatura e umidade relativa.

A taxa de resfriamento de um dado sistema depende primariamente da velocidade do fluxo de ar frio e este é o único fator controlador, já que nenhuma mudança pode ser feita em certos fatores fixos como tamanho, formato e propriedades térmicas do produto. Além disso, a temperatura do ar frio não pode ser reduzida abaixo de certo ponto seguro para evitar injúria pelo frio.

No sistema de resfriamento com ar forçado, o valor do coeficiente de transferência de calor é significativamente menor que os valores observados no sistema de resfriamento por água gelada. Contudo, isso varia de acordo com o produto utilizado e a temperatura do meio de resfriamento, podendo haver casos em que o valor do coeficiente de transferência de calor para o resfriamento rápido com ar forçado seja maior do que o do resfriamento por água gelada.

Diferentes frutas ou hortaliças, devido às suas características físicas, sobretudo a geometria, respondem de forma distinta a tratamentos similares de fluxo e temperatura do ar.

6.3.3 Influência de embalagens

A distribuição do produto e das embalagens deve ser de tal modo que o ar frio seja forçado através do produto e das embalagens individuais, ao invés de passar ao redor destes, atingindo uma parte substancial da superfície do produto. É primordial que existam aberturas nas embalagens

as quais devem estar dispostas na direção de movimentação do ar frio, sem prejudicar a livre movimentação do ar através da embalagem. Nestas condições, um diferencial de pressão relativamente pequeno entre os dois lados da embalagem permite boa movimentação do ar e excelente transferência de calor. Diferenciais de pressão recomendados pela literatura estão ao redor de 60 a 750 Pa, com um fluxo de ar de 1 a 3 litros por quilograma de produto.

Para garantir maior uniformidade do resfriamento é conveniente o uso de embalagens cujas aberturas para a ventilação tenham um porcentual mínimo entre 5% a 10% do seu volume e que esta área seja corretamente distribuída. Para caixas de papelão, 5% de orifícios nas arestas permitem um resfriamento rápido sem comprometer a resistência mecânica da embalagem. O formato, tamanho e disposição das aberturas presentes na embalagem, interferem na perda de carga. Poucos orifícios grandes são mais eficazes que muitos orifícios pequenos. Ainda, orifícios grandes permitem um alinhamento parcial das aberturas das caixas, mesmo quando estas não se encontram alinhadas corretamente. Contudo, aberturas largas podem ser bloqueadas mais facilmente pelo produto se comparadas aos orifícios estreitos.

Com relação à geometria da abertura, aquelas com forma elíptica conferem maior resistência mecânica à embalagem se comparada os orifícios circulares, quadrados ou retangulares. Dentro deste contexto, quanto maior a área disponível para a entrada do ar de resfriamento na embalagem, menor será a energia necessária para o funcionamento do sistema de refrigeração.

6.3.4 Vantagens do pré-resfriamento com ar forçado

- Rápido resfriamento (tempo de meio resfriamento varia de 30 minutos a 2 horas, dependendo do produto, embalagem e sistema de ventilação);

- A movimentação do ar é sempre no sentido do ar frio para o produto quente evitando a condensação de água sobre o produto, o que é comum nas câmaras frigoríficas;

- Normalmente, as câmaras frias podem ser utilizadas ou adaptadas para fazer o resfriamento por ar forçado a custo reduzido.

O sistema de circulação forçada do ar frio resfria, em geral, 1/4 a 1/10 em relação ao tempo requerido pelo sistema em câmara convencional, porém ainda é duas a três vezes mais lento do que o resfriamento em água ou a vácuo.

Em decorrência de o ar frio estar diretamente em contato com o produto, o processo de resfriamento é muito mais rápido do que numa câmara de resfriamento convencional. Isto dá a vantagem do movimento rápido do produto através do sistema de resfriamento e, em conseqüência, o tamanho da planta é de 1/3 a 1/4 de uma sala de resfriamento convencional.

6.3.5 Desvantagens do pré-resfriamento com ar forçado

- Necessidade de manuseio adicional do produto;
- Dificuldade no uso de embalagens secundárias que protegem o produto, o que ocorre com freqüência no caso de produtos folhosos;
 - Requer um padrão de empilhamento definido, necessitando operadores habilidosos para conseguir o padrão adequado para garantir taxas de resfriamento satisfatórias;
 - O resfriamento é desigual, uma vez que a temperatura desejada é atingida antes por alguns produtos do que por outros. Isto ocorre devido à posição do produto dentro da câmara de resfriamento: o produto próximo à entrada de ar é resfriado mais rapidamente do que aquele situado no outro lado;
 - O resfriamento é mais lento do que com resfriamento a água ou a vácuo;
 - Menor eficiência energética.

Quando é necessário o resfriamento muito rápido, o sistema de ar forçado é mais caro do que outros métodos de pré-resfriamento, e isto limita sua aplicação para produtos que precisam ser resfriados com maior rapidez.

A constante utilização da câmara como pré-resfriador, pode acarretar prejuízos em decorrência do aumento e variação da temperatura, devido à entrada de carga quente no produto já resfriado, assim como pelo prolongado período para redução de sua temperatura. Dependendo das condições de operação do sistema, poderá haver excessiva perda de água do produto no resfriamento ou armazenagem. Para minimizar essas perdas, pode-se optar por evaporadores maiores, contudo é importante levar em consideração o custo que isso resultará.

6.3.6 Produtos que podem ser pré-resfriados com ar forçado

O resfriamento por ar forçado é adaptável a diversos produtos, como frutas de caroço, citros, maçã, cereja, uva, alface, espinafre, tomate, pimentão, berinjela, brócolis, couve-de-bruxelas, couve-flor, aipo, pepino, cogumelos, cenoura, mandioquinha, beterraba, batata-doce, rabanete, e de bulbos, como cebola e alho, dentre outros.

Normalmente este é o método mais usado em flores. O tempo de resfriamento difere, variando de 8 a 62 minutos, dependendo do tipo de flor, velocidade do fluxo de ar, pressão estática e tipo e tamanho da caixa.

6.4 Pré-resfriamento com água gelada

Devido a sua simplicidade e eficiência, é um método popular de pré-resfriamento. Essencialmente, o resfriamento por água gelada consiste na utilização da água fria para diminuir a temperatura do produto solto ou em pequenas embalagens antes do empacotamento.

6.4.1 Sistema de pré-resfriamento com água gelada

Quando um filme de água gelada flui rápida e uniformemente sobre a superfície do produto, que está mais quente que a água, a temperatura desta superfície torna-se igual à temperatura da água.

Preferencialmente, a água a ser utilizada nesse sistema deve ser corrente, reduzindo o risco de ser contaminada. Porém, muitas vezes seu uso contínuo torna-se inviável devido ao custo. Nesse caso, a recirculação da água pode ser viabilizada desde que seja tratada com cloro, numa proporção de 60 a 70 mg de cloro por litro de água, não devendo ultrapassar 80 mg L⁻¹. Diariamente deve-se proceder a drenagem da água do resfriador, assim como o sistema precisa ser sanitizado. Produtos extremamente sujos devem ser lavados antes do processo de resfriamento visando diminuir a quantidade de impurezas que entram no sistema.

As principais restrições a utilização deste método são: o uso de desinfetantes na água, que pode ser um problema para determinados tipos de produto, a possibilidade de danos ao produto e/ou à embalagem, e a necessidade de uso de embalagens que não absorvam água.

Existem vários métodos de resfriamento por água gelada, que diferem nas taxas de resfriamento, eficiência do processo e no modo que o produto é movido ou colocado no refrigerador. Todos esses métodos requerem, além dos equipamentos básicos, como a unidade condensadora e o evaporador, uma bomba, um reservatório e um ventilador para distribuição da água pelo produto.

Dentre os vários tipos de resfriamento com água disponíveis podemos citar a imersão em água gelada, e a aspensão como os mais utilizados. Os sistemas por imersão possuem fluxo contínuo e são mais úteis para produtos que têm uma densidade superior à da água e, portanto, ficam submersos (Figura 7). Entre os produtos resfriados por este tipo de sistema, podemos citar pêssegos e melões. No sistema contínuo, o produto é conduzido através de um tanque de água gelada e erguido até o final deste por uma esteira inclinada. O produto pode ser introduzido no sistema em bins ou a granel. Em geral, como a velocidade da esteira é muito pequena para

fornecer adequada movimentação da água ao redor do produto, são utilizadas bombas de circulação para promover a transferência de calor. Devido ao fato de que a água fria envolve a superfície externa do produto, a redução da temperatura é mais rápida.

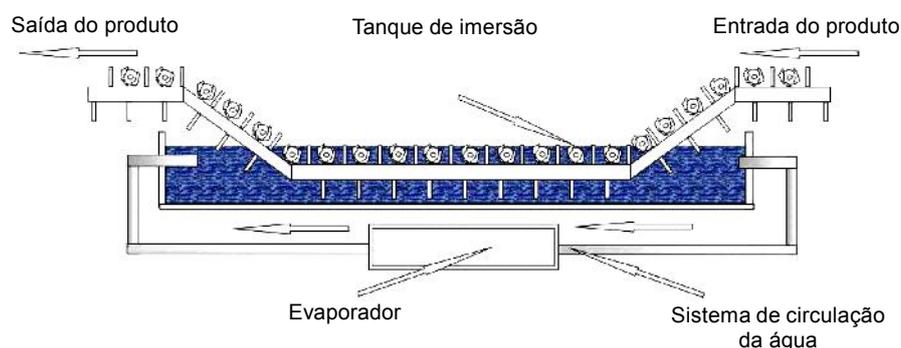


Figura 7 - Representação esquemática de um pré-resfriador por imersão em água (adaptado de CORTBAOUI, 2005)

Para produtos contidos em bins ou caixas um fluxo de água de 13 a 17 $L s^{-1} m^{-2}$ garante adequado resfriamento. A importância da qualidade da água no resfriamento por água gelada é imprescindível devido ao fato de que ao imergir determinados produtos em água gelada, o ar contido no seu interior diminui de volume, criando uma capacidade de sucção. Assim, os patógenos existentes na água podem ser sugados pelo produto, resultando no desenvolvimento de doenças.

No sistema por aspersão, a água é distribuída de maneira contínua ou em batelada sobre o produto. A água pode ser bombeada até uma bandeja perfurada e gotejar sobre o produto, ou ser aspergida por meio de pulverizadores (Figura 8). Ao aplicar a água sobre o produto, deve ser respeitada uma distância de 15 a 20 cm entre os aspersores e o produto. Alturas superiores a essa faixa podem danificar os produtos.

Ainda, há um sistema que combina o resfriamento por ar forçado com o resfriamento por água gelada, a partir da mistura do ar frio com água gelada

aspersada por sistema de micro aspersão que é circulado em volta e através das pilhas por convecção forçada. Este sistema é denominado resfriamento por água e ar (em inglês *hydraircooling*) sendo efetivo para produtos sensíveis a perda de água. Ele apresenta como vantagens o fato de requerer menos água, aumentar o potencial de melhoria dos aspectos sanitários e permitir o uso de embalagens de papelão que não poderiam ser usadas num sistema de resfriamento por água gelada convencional. Às vezes é possível obter taxas de resfriamento iguais e, em alguns casos, até melhores às obtidas pelo sistema convencional de resfriamento por água gelada. No resfriamento por água e ar, a taxa de ar/água influi na capacidade de transferência de calor do sistema e a aplicabilidade de certos produtos a essa técnica. Pepino, manga e mamão são melhor pré-resfriados por este método quando comparado ao resfriamento por água gelada ou resfriamento por ar forçado.

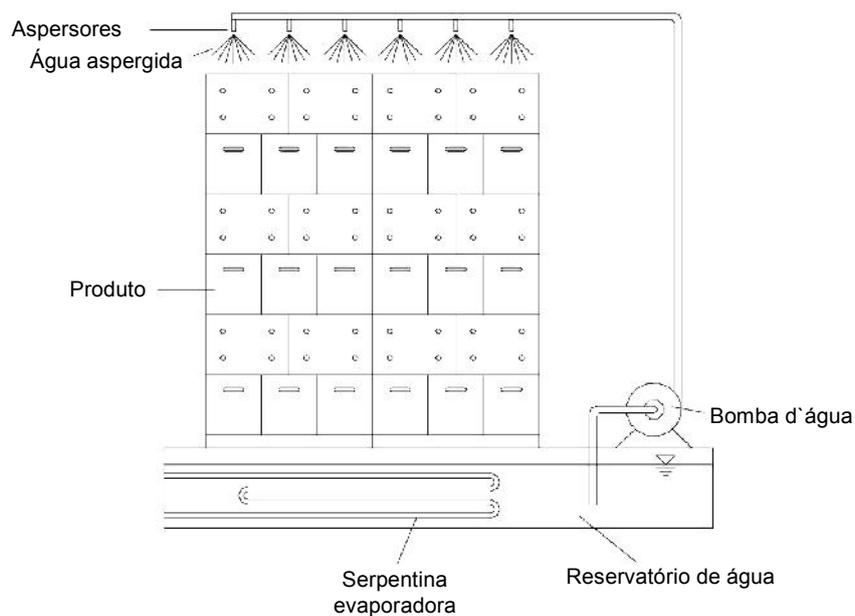


Figura 8 - Representação esquemática de um pré-resfriador por água gelada (adaptado de RENNIE, 1999)

O tempo de resfriamento de uma fruta ou hortaliça, quando resfriadas em água é dependente do valor do coeficiente de transferência de calor superficial, o qual varia consideravelmente, dependendo de várias condições, dentre as quais: temperatura da água, propriedades térmicas e similaridades entre os produtos. Com base na temperatura central e na massa média de algumas frutas e hortaliças são apresentadas na Figura 9 as curvas de resposta em função do binômio tempo-temperatura para o processo de resfriamento por água gelada.

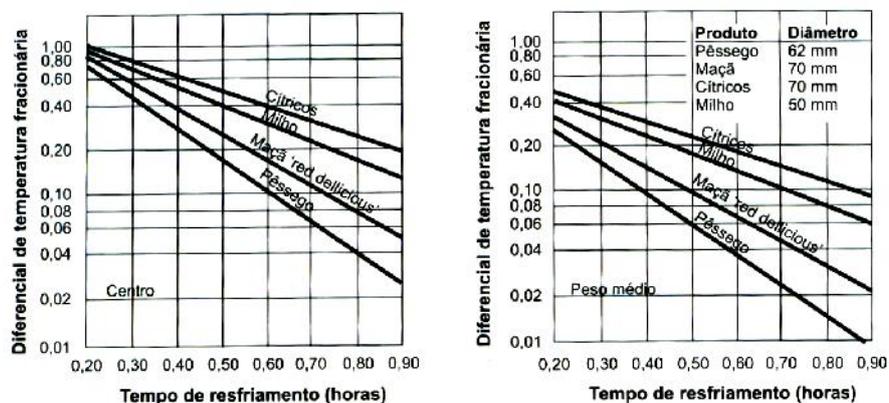


Figura 9 - Resposta de alguns produtos resfriados por água gelada em função do tempo-temperatura (adaptado de ASHRAE, 1994)

A eficiência do processo de resfriamento com água gelada é dependente da quantidade de água aplicada e da distribuição uniforme sobre o produto. Dependendo do tamanho do produto os tempos típicos de resfriamento com água gelada variam de 10 minutos a 1 hora.

Produtos sensíveis ao dano de frio podem ser resfriados em água a 0°C, desde que o tempo de resfriamento seja curto. O gelo é frequentemente utilizado no sistema de resfriamento por água gelada, sendo adicionado ao tanque de água para resfriá-la. Isso se deve ao grande requerimento de refrigeração demandado em um curto período de tempo. Desta forma, a

adição de gelo na água é uma alternativa para potencializar ainda mais os benefícios do resfriamento em água. Isto aumenta substancialmente a capacidade frigorífica, porque o gelo pode fornecer frio de forma prolongada.

6.4.2 Vantagens do pré-resfriamento com água gelada

- Menor perda de água do produto;
- Rapidez do processo.

6.4.3 Desvantagens do pré-resfriamento com água gelada

- Risco de contaminação devido à recirculação da água, que leva à possibilidade de acúmulo de microrganismos no sistema;
- A eficiência energética pode ser excepcionalmente baixa, a menos que o sistema seja operado em capacidade máxima, ou esteja localizado dentro de uma câmara fria ou sala isolada. A baixa eficiência é em parte devido à grande quantidade de refrigeração necessária dentro de um curto tempo para atingir o efeito de resfriamento desejado;
- O resfriamento pode não ser uniforme, deixando pontos quentes na carga de produto.

6.4.4 Produtos que podem ser pré-resfriados com água gelada

Em geral, os produtos resfriados por água gelada devem tolerar a umidade e não danificar pela aspersion de água ou por desinfetantes presentes na água. A água deixada na superfície de alguns produtos, como uvas e cerejas, pode favorecer sua deterioração. Assim, este método é recomendado para produtos cuja lavagem é parte de sua preparação para o mercado.

Muitos produtos são resfriados com sucesso pelo resfriamento por água gelada, como milho, aipo, aspargo, rabanete, cenoura, melão, ervilha,

pêssego, pepino, pimentão e batata. Essencialmente nenhuma flor é refrigerada por esta técnica.

Este método é menos adequado para produtos folhosos, pois a água retida no produto dificulta o manejo e a umidade residual da superfície pode levar à deterioração, como crescimento de fungos ou descoloração. Para este tipo de produtos, o resfriamento por ar forçado é preferido.

Este tipo de resfriamento não é adequado para frutas cítricas porque estas possuem uma longa estação de comercialização e uma boa resistência ao manuseio na fase de pós-colheita.

6.5 Pré-resfriamento com gelo

Antes do advento das técnicas de pré-resfriamento mais modernas, o contato ou acondicionamento em gelo foi extensivamente utilizado para o pré-resfriamento de produtos e manutenção da temperatura durante o transporte. Entretanto, ao contrário de outros métodos de resfriamento, o gelo não somente remove o calor rapidamente quando aplicado, mas continua a absorver calor enquanto derrete.

6.5.1 Sistema de pré-resfriamento com gelo

Há uma variedade de métodos diferentes no qual o gelo é aplicado ao produto para alcançar o efeito desejado de resfriamento. O acondicionamento em gelo envolve a colocação direta do gelo em neve, flocos ou pedaços entre o produto nas embalagens. Este método é suficiente onde é usado; entretanto, ele pode resultar em resfriamento desigual porque o gelo geralmente permanece onde ele é colocado até que derreta.

Outro método consiste em colocar o gelo sobre o produto. Este método só é usado ocasionalmente como complemento a outro método de resfriamento. Como as caixas de papelão ondulado vêm substituindo as caixas de madeira, o uso deste método tem diminuído. Caixas de papelão ondulado enceradas têm permitido o uso do gelo; entretanto, o gelo está

sendo substituído pelo resfriamento com água gelada e resfriamento a vácuo.

O gelo finamente moído pode ser misturado à água, fazendo uma mistura conhecida tecnicamente como gelo líquido. O gelo líquido pode ser injetado nas embalagens, de preferência preenchendo os espaços vazios, completando o resfriamento à medida que o produto é transportado. Neste caso a embalagem deve ser resistente à água e apresentar resistência mecânica suficiente para suportar o peso adicional do gelo.

Certos produtos, como brócolis, que podem perder sua turgidez, apresentam a vantagem de poder recuperar sua turgidez plenamente a partir da água resultante da fusão do gelo. Contudo, existem limites à capacidade de recuperação da turgidez. Cada produto apresenta distinta capacidade de recuperação a qual depende dentre outros fatores, do grau de perda de água, do estado fisiológico e da temperatura da água.

6.5.1.1 Acondicionamento com gelo

Antes do surgimento do resfriamento a vácuo, muitos vegetais folhosos eram empacotados com gelo moído entre camadas do produto e no topo da embalagem. A quantidade requerida de gelo era função da temperatura inicial do produto. Atualmente, adiciona-se gelo na parte superior de embalagens previamente resfriadas. Em escala reduzida, o gelo é colocado manualmente dentro das caixas ou embalagens; já em escala comercial, sistemas mecânicos garantem uma distribuição uniforme do gelo.

Recentes estudos sugerem que o gelo não deve ser usado para o resfriamento de produtos hortícolas, pois a troca de calor entre o produto e o gelo dá-se de maneira lenta, devido à reduzida superfície de contato. Contudo, em escala comercial a colocação de gelo sem água, em contato direto com o produto quente, provoca um estresse térmico considerável. Ainda, a adição de gelo puro, ou seja, não diluído em água pode resultar em temperaturas abaixo de 0°C. Desta forma, a colocação de gelo diretamente sobre o produto quente acarreta freqüentemente o congela-

mento da superfície do produto em contato direto com o gelo. A mistura de água com gelo elimina automaticamente esses dois problemas.

6.5.1.2 Gelo líquido

O gelo líquido distribui o gelo por todo o produto, conseguindo um melhor contato gelo/produto e desta forma um resfriamento mais uniforme. O sistema de gelo líquido consiste em misturar partículas finamente moídas de gelo com água, injetando esta mistura no interior das caixas do produto (Figura 10). O processo de manipulação do produto é bastante rápido, podendo variar de 1 a 20 segundos por embalagem. Porém o tempo necessário para o resfriamento pode ser bastante longo, podendo durar de 30 minutos até 4 horas, em função do produto e da uniformidade de distribuição do gelo na embalagem. Este sistema também permite a injeção de gelo através das aberturas laterais diminuindo o tempo necessário para abertura e fechamento das caixas.

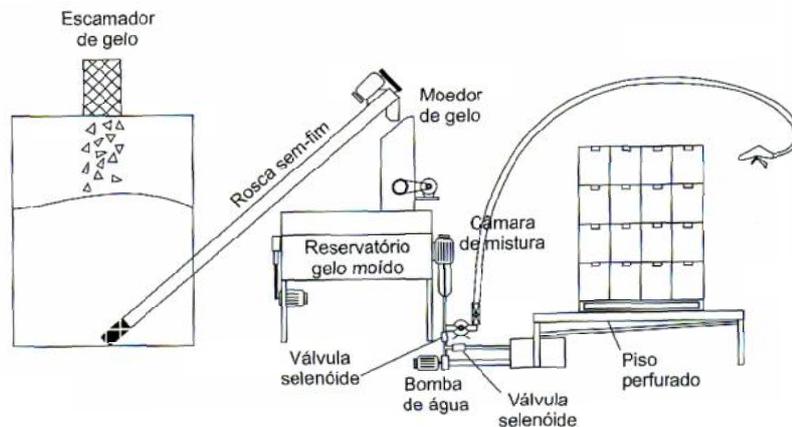


Figura 10 - Representação esquemática de um sistema de resfriamento por gelo líquido (adaptado de VIGNEAULT et al., 1995)

Embora a utilização do sistema esteja bem estabelecida a nível comercial de produção, sua utilização em pequena e média escala não é economicamente viável devido ao elevado custo inicial de implantação e de operação. Outro inconveniente decorre do sistema ser comumente operado por batelada com a finalidade de manter uma razão gelo-água constante, o que influi sistemas de alimentação rápidos para o gelo e para a água, para reduzir o tempo ocioso de enchimento do reservatório de gelo líquido. O processo de mistura em batelada requer mais potência para operar o sistema. Devido ao gelo boiar, a solução gelo-água deve ser constantemente homogeneizada para obter uma mistura uniforme.

6.5.2 Parâmetros operacionais

Pode-se levar em consideração como regra básica, para fins práticos que cada quilo de gelo possibilita resfriar oito quilos de produto até aproximadamente 5°C. Contudo, é preciso que se atente para o fato de que há cerca de 80 vezes mais energia na fusão do gelo do que para aquecer a mesma quantidade de água em 1°C. Isto significa que quando se deseja resfriar uma massa de produtos em 20°C, deve-se utilizar uma proporção de 1 kg de gelo para 4 kg de produto. Para 8 kg de produtos por 1 kg de gelo, obtém-se somente um diferencial de 10°C de temperatura, o que é muito pouco se considerarmos que temperatura inicial dos produtos é normalmente de 20°C a 25°C, imediatamente antes do resfriamento.

Sem levar em consideração o calor liberado pela respiração do produto a Ashrae (1986) sugere serem necessários o equivalente a 41,25% de gelo para resfriar um produto de 35°C para 2°C. Para a determinação da quantidade de gelo requerida, pode-se considerar 1 kg de gelo para cada 3 kg de produto, o que propicia uma diferença de 26°C na temperatura, sem considerar a respiração. Considerando a relação de 1 para 3, há pequena perda de gelo, porém boa parte dele permanece depois que o produto é resfriado derretendo posteriormente durante o transporte e a armazenagem. A determinação precisa da real quantidade de gelo requerida

pelo produto não é tarefa fácil, pois os produtos nunca chegam ao local de resfriamento com a mesma temperatura. Por este motivo, muitas vezes adota-se a proporção de 1 para 1, preenchendo bem as embalagens. Esta proporção proporciona uma margem de segurança garantindo a manutenção da qualidade dos produtos, embora ocorra muito desperdício de gelo.

6.5.3 Vantagens do pré-resfriamento com gelo

- O produto não seca enquanto é resfriado;
- Além de remover o calor de campo, o acondicionamento com gelo pode manter a temperatura do produto baixa durante o transporte. Assim, para um curto período de transporte, o transporte refrigerado pode não ser necessário.

6.5.4 Desvantagens do pré-resfriamento com gelo

- Embora necessite pequeno gasto em equipamentos especiais, um grande peso de gelo é utilizado, assim aumentando os custos, e também são necessárias embalagens a prova de água, que são mais caras do que embalagens normais. Por isso, considera-se o resfriamento por gelo um método energeticamente ineficiente e caro;
- O gelo molha o produto, e assim a superfície molhada do produto morno fornece um excelente local para doenças pós-colheita e deterioração. Por esta razão, é essencial não permitir que o produto reaqueça após o resfriamento;
- Após o derretimento do gelo, a embalagem fica somente parcialmente cheia;
- É limitado a produtos e embalagens que não se danifiquem com o gelo ou com a água;

- Mão-de-obra é necessária na manipulação das embalagens e na colocação do gelo.

6.5.5 Produtos que podem ser pré-resfriados com gelo

O gelo pode ser usado de modo eficaz para resfriar produtos como couve, repolho, couve-de-bruxelas, brócolis, rabanete, cenoura e cebola.

Flores também podem ser resfriadas com a adição de cubos de gelo nas caixas das flores. Entretanto, o gelo é pouco eficiente para este tipo de produto, já que é necessário um período maior para o resfriamento. Além disso, a diminuição da temperatura de 20 a 5°C requer uma grande quantidade de gelo (aproximadamente 25% do peso das flores).

6.6 Pré-resfriamento a vácuo

O sistema de resfriamento a vácuo é conhecido como um método rápido e uniforme de resfriamento de frutas e hortaliças desta forma, os produtos podem ser resfriados dentro de 20 a 30 minutos. O método consiste na rápida evaporação da água do produto através de baixa pressão atmosférica utilizando o calor latente de vaporização em vez da condução térmica.

O resfriamento por meio de câmaras de vácuo é mais eficiente em produtos que apresentam alta relação superfície volume como a alface e o repolho.

6.6.1 Sistema de pré-resfriamento a vácuo

Os princípios básicos do resfriamento a vácuo são:

- Em pressão atmosférica (760 mmHg), a temperatura de ebulição da água ocorre a 100°C. Este ponto de ebulição muda em função da pressão de saturação, portanto reduzindo a pressão atmosférica para 4,6 mmHg a ebulição da água ocorrerá a 0°C.

- Para mudar a água do estado líquido para vapor, o calor latente de vaporização deve ser fornecido pelo meio circundante, assim o calor sensível do produto é reduzido.

- O vapor de água originado pelo produto deve ser removido.

Assim, o método consiste em eliminar o ar de uma câmara que contenha o produto até que a pressão interna seja tão baixa a ponto de evaporar a água da superfície do produto (Tabela 1).

Tabela 1 - Propriedades do vapor d'água em diferentes níveis de vácuo

| Pressão absoluta (mmHg) | Temperatura de evaporação (°C) | Calor de evaporação (kJ kg⁻¹) | Volume do vapor (m³ kg⁻¹) |
|--------------------------------|---------------------------------------|---|--|
| 760,0 | 100,0 | 2.256 | 0,8 |
| 362,0 | 80,5 | 2.305 | 1,5 |
| 51,7 | 38,8 | 2.407 | 9,5 |
| 15,2 | 22,4 | 2.445 | 22,7 |
| 10,1 | 11,5 | 2.468 | 43,9 |
| 5,1 | 1,4 | 2.489 | 84,7 |
| 4,0 | -1,8 | ---- | 93,6 |
| 3,0 | -5,0 | ---- | ---- |
| 2,0 | -9,7 | ---- | ---- |

Fonte: adaptado de Belzile (1992)

A evaporação da água da superfície do produto causa o abaixamento da sua temperatura e, por esta razão, o princípio é o mesmo do "resfriamento evaporativo" usado amplamente nas regiões secas combinado com a tecnologia a vácuo.

De acordo com a Figura 11 as etapas do processo de resfriamento a vácuo são as seguintes:

- **Fase AB:** na primeira fase, a pressão da câmara de vácuo é reduzida da pressão atmosférica (760 mmHg) até aproximadamente 15mmHg e, durante este período, a evaporação é lenta e ocorre um resfriamento relativamente pequeno, i.e. a temperatura do produto permanece constante até que a pressão de saturação nesta temperatura é alcançada.

- **Ponto B:** próximo desta pressão ocorre o "flash point". Neste ponto a água no produto começa a vaporizar, isto é, o produto começa a perder umidade e resfria rapidamente.

- **Fase BC:** começa o resfriamento propriamente dito. Prolonga-se por cerca de 20 minutos e depende da capacidade do trocador de calor em condensar o vapor evaporado do produto. A temperatura do bulbo úmido aumenta bruscamente quando o ar do tanque é evacuado e substituído pelo vapor de água. Este vapor deve ser removido rapidamente para manter o ciclo de resfriamento em uma taxa razoável, e isto é conseguido pelo uso de um condensador na câmara. A pressão é reduzida mais um pouco e o resfriamento continua até que uma pressão correspondente à temperatura de saturação final desejada seja alcançada.

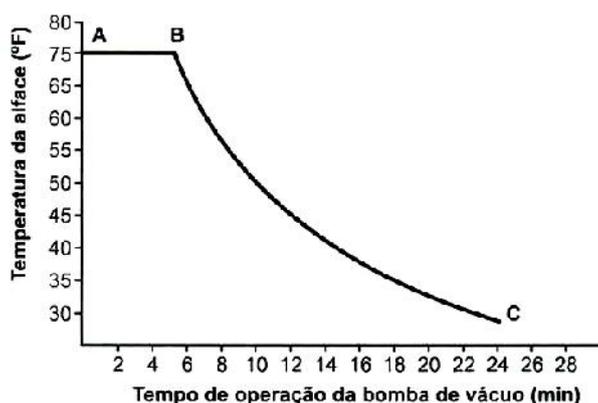


Figura 11 - Curva típica de refrigeração a vácuo (adaptado de BELZILE, 1992)

Na prática, a maioria dos operadores não diminui a pressão abaixo de 4,6 mmHg (pressão de saturação correspondente à temperatura de 0°C) devido ao trabalho extra envolvido e ao potencial congelamento em pressões reduzidas.

O grau de resfriamento pode ser atingido regulando as condições de vácuo. Por exemplo, se é necessário uma temperatura de 5°C para um produto, a pressão é regulada a um valor correspondente à pressão de vapor da água para essa temperatura, assegurando, portanto que a temperatura não baixará deste nível.

Resumidamente o sistema de pré-resfriamento a vácuo é composto por uma câmara, uma bomba de vácuo e uma unidade de refrigeração. A câmara é o local onde o produto será colocado e submetido ao vácuo (Figura 12). A câmara deve suportar o equivalente à pressão atmosférica (760 mmHg). Os formatos cilíndrico e cúbico de câmara são os mais usados, porém este último apresenta como vantagem o maior espaço útil em relação aos demais formatos, o que permite reduzir o tempo necessário para alcançar o vácuo desejado. Comumente, o volume de produto comportado pelas câmaras está entre 5 a 10 toneladas, contudo alguns modelos podem comportar até 20 toneladas.

Outro fator de extrema importância é a reposição da água evaporada do produto. Este procedimento além de acelerar o processo de resfriamento também reduz o murchamento do produto. Em alguns casos, os produtos são previamente molhados antes do pré-resfriamento com a finalidade de reduzir a perda de umidade excessiva do produto e aumentar a uniformidade do processo de resfriamento.

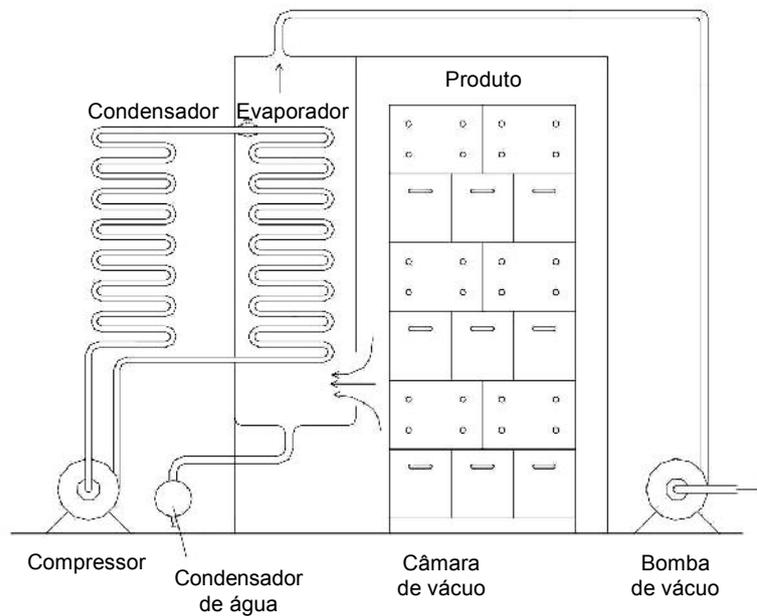


Figura 12 - Esquema representativo de um pré-resfriador a vácuo (adaptado de RENNIE, 1999)

6.6.2 Parâmetros operacionais

A taxa de resfriamento depende primariamente da razão entre a área superficial do produto e de seu peso ou volume, da taxa de vácuo utilizada na câmara e da temperatura inicial do produto. Tomando-se por base que a água é o elemento refrigerante primário podemos assumir que a quantidade de calor retirada do produto está diretamente relacionada ao conteúdo de água evaporada da superfície do produto em questão. O estudo conduzido por Barger (1961) suporta esta afirmação demonstrando que a eficiência do sistema de resfriamento a vácuo para produtos hortícolas é proporcional ao conteúdo de umidade evaporada do produto, sugerindo que a cada 5 a

6°C de redução da temperatura resulta em 1% de perda da massa do produto.

A partir das informações apresentadas pela Tabela 2, pode-se verificar que o resfriamento a vácuo é grandemente influenciado pela razão entre a área superficial e a massa, e com a facilidade com que a água é liberada dos tecidos dos diferentes produtos. Produtos com uma baixa razão área/massa apresentam grandes gradientes de temperatura.

6.6.3 Vantagens do pré-resfriamento a vácuo

- A rapidez do resfriamento (conseguido em cerca de 30 minutos) e a uniformidade da temperatura final do produto pós-resfriamento;
- Sua aplicação em vegetais folhosos (alface de quase todos os tipos, espinafre, rúcula, agrião etc.), que podem ser embalados no campo e resfriados com excelente uniformidade e rapidez;
- Apresenta os melhores resultados de eficiência energética, apresentando o menor custo de energia por unidade de produto resfriado, já que o calor só é removido do produto que se deseja resfriar, não havendo resfriamento das paredes da câmara. Em contraste, outros métodos de pré-resfriamento apresentam reduzida eficiência energética devido à troca de calor por infiltração e condução nos sistemas;
- Resfriamento uniforme em um pacote ou lote de produtos, desde que o pacote ou caixa seja poroso ou tenha espaços ou buracos de respiração para permitir a evaporação;
- É bastante seguro do ponto de vista sanitário, pois o ar entra na câmara somente quando esta é aberta para liberar o vácuo;
- É possível um controle preciso da temperatura durante o resfriamento.

Tabela 2 - Temperaturas finais de diferentes produtos pré-resfriados a vácuo por 25-30 minutos sob condições similares

| Produto | Temperatura final (°C) | Produto | Temperatura final (°C) |
|---------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------------------|
| Batatas | 18,0 | Alcachofra | 6,0 |
| Batatas descascadas | 15,5 | Ervilhas | 6,0 |
| Cenouras | 14,0 | Brócolis | 5,5 |
| Couve-flor | 10,5 | Couve-de-bruxelas | 4,5 |
| Repolho | 7,0 | Milho | 4,5 |
| Aspargos | 7,0 | Alface | 1,0 |
| Aipo | 7,0 | | |

Fonte: adaptado de Ashrae (1994)

6.6.4 Desvantagens do pré-resfriamento a vácuo

- O equipamento é dispendioso e requer mão-de-obra capacitada para sua operação e manutenção;
- O sistema torna-se econômico somente quando há utilização intensa com pouco tempo ocioso, com um produto com razoável preço de mercado e com um mercado exigente em qualidade. Deve haver, portanto, um volume adequado de produto para operar o equipamento perto da sua capacidade;
- Provoca perda de peso no produto resfriado devido à remoção de umidade. Reduções de temperatura ficam entre 5-5,5°C para cada 1% de perda de peso, independente do produto resfriado.

Para aproximadamente cada 10°C de redução da temperatura tem-se uma perda de 1,7% no peso. Esta pequena perda no peso é normalmente aceitável nos produtos resfriados por essa técnica, e uma forma de reduzir esta perda é aspergir água no produto antes dele ser colocado na câmara de resfriamento.

Devido ao sistema de resfriamento a vácuo ser considerado mais caro do que outros métodos citados anteriormente, seu uso é restrito a produtos cujo resfriamento a vácuo é muito mais rápido ou mais conveniente. Entretanto, o custo do equipamento inviabiliza sua utilização de forma econômica para a maioria dos produtores brasileiros. Além do elevado custo inicial de aquisição são necessários operadores qualificados o que faz com que o resfriamento a vácuo seja possível somente para grandes produtores ou organizações de produtores.

6.6.5 Produtos que podem ser pré-resfriados a vácuo

Qualquer produto que tem água livre e cuja estrutura não seja danificada pela remoção de tal água pode ser resfriado a vácuo.

Vegetais como espinafre, chicória, salsa, aspargo, brócolis, couve-de-bruxelas, repolho, couve-flor, aipo, ervilha verde, milho doce, alho porro e cogumelos também podem ser resfriados a vácuo. Entretanto, somente alface, couve-flor, aipo, repolho, espinafre e cogumelos são resfriados a vácuo em escala comercial. Produtos como tomate, maçã e pimentão, por apresentarem uma cutícula cerosa relativamente espessa, não são adequados para o resfriamento a vácuo.

Cogumelos podem ser resfriados a vácuo em aproximadamente 20 minutos, enquanto são necessárias de 8 a 13 horas para diminuir a temperatura em 1°C em câmara fria. Morangos podem ser resfriados em 22-26 minutos, mesmo estando embalados.

Pode-se utilizar o resfriamento a vácuo para flores de corte, embora a adoção deste método para flores seja relativamente recente. Tem sido verificado que independente da quantidade de flores resfriadas o período

de resfriamento é de aproximadamente 20 minutos. Experimentos com o uso do sistema de resfriamento a vácuo em flores de corte como lírios, crisântemos e cravos, relatam que o resfriamento a vácuo diminui a temperatura mais rapidamente do que outros métodos e é a técnica de resfriamento mais efetiva em diminuir a deterioração das flores estudadas. Flores como rosas, cravos, crisântemos, tulipas e narcisos podem ser resfriados a vácuo até 4-5°C em 20 minutos sem nenhum efeito prejudicial.

Os resultados do estudo de Sun e Brosnan (1999) com narcisos silvestres mostram que o resfriamento a vácuo pode estender significativamente a vida útil das flores independente da posterior utilização ou não do armazenamento refrigerado. Para flores pré-resfriadas armazenadas a 2°C, houve um aumento de 200% na vida útil mesmo após armazenamento por 10 dias.

7 COMPARATIVO ENTRE MÉTODOS E ADEQUAÇÃO DOS MESMOS AOS DIFERENTES PRODUTOS

A seleção de determinado método de pré-resfriamento em relação a outros deve partir da análise de uma série de parâmetros visando a escolha mais adequada para cada caso específico, tendo em vista que os distintos sistemas de pré-resfriamento apresentados aqui podem servir para um mesmo produto. Assim, deve-se levar em consideração dentre outros parâmetros, número de produtos trabalhados, época e intensidade de utilização do sistema, o manuseio de distintos produtos, exigência de resfriamento rápido, compatibilidade entre produtos, disponibilidade de espaço e energia, custo de aquisição e manutenção do sistema. A Tabela 3 apresenta um comparativo dos principais métodos de pré-resfriamento em relação a diversos parâmetros.

Tabela 3 - Comparação entre os métodos mais comumente utilizados no pré-resfriamento de frutas e hortaliças

| Parâmetros | Ar forçado | Água gelada | Vácuo | Gelo | Câmara Frigorífica |
|-----------------------------------|-------------------|--------------------|--------------|------------------------|---------------------------|
| Tempo de resfriamento (horas) | 1-10 | 0,1-1 | 0,3-2 | 0,1-0,3 ⁽¹⁾ | 20-100 |
| Perda de água (%) | 0,1-2 | 0-0,5 | 2-4 | — | 0,1-2 |
| Contato da água com o produto | Não | Sim | Não | Sim ⁽²⁾ | Não |
| Potencial de contaminação fúngica | Baixo | Alto | Nenhum | Baixo | Baixo |
| Custo | Baixo | Baixo | Médio | Alto | Baixo ⁽³⁾ |
| Eficiência no uso da energia | Baixa | Alta | Alta | Baixa | Baixa |
| Portátil | Às vezes | Raramente | Comum | Comum | Não |

⁽¹⁾ Gelo no topo da embalagem demora muito mais.

⁽²⁾ A menos que esteja empacotado.

⁽³⁾ Baixo, se o produto é, também, armazenado dentro da própria câmara, como é feito com maçãs, do contrário, longos períodos de resfriamento tornam o custo elevado.

Fonte: adaptado de Thompson et al. (1986)

A adequação dos distintos métodos de pré-resfriamento em função da escala de operação dos sistemas e dos diferentes produtos é apresentada na tabela 4.

Tabela 4 - Sugestões de métodos de resfriamento para produtos hortícolas

| Produtos | Escala de Operação | | Observações |
|------------------------------|--------------------|------------|--|
| | Grande | Pequena | |
| Frutas | | | |
| Cítricos | CF | CF | Damasco: não usa AG |
| Frutas sazonais | AF, AG, CF | AF | |
| Subtropicais | AF, CF | AF | Requerem sistemas aptos para fumigação com SO ₂ para uvas |
| Tropicais | AF, CF | AF | |
| Cerejas | AF | AF | |
| Uvas | AF | AF | |
| Hortaliças Folhosas | | | |
| Repolhos | AF, RV | AF | |
| Couves | AARV, CF, RV | AF | |
| Alfaces, espinafre, escarola | AF, AG, AARV, RV | AF | |
| Tubérculos | | | |
| Com folhagem | AF, AG, GE | AF, AG | |
| Sem folhagem | AG, GE | AF, AG, GE | |
| Variados | | | |
| Alcachofra | AG, GE | AF, GE | |
| Aspargos | AG | AG | |
| Brócolis | AF, AG, GE | AF, GE | |
| Couve-flor | AF, RV | AF | |
| Aipo | AG, AARV, RV | AF, AG | |
| Alho-porró | AG, GE | GE | |
| Cogumelos | AF, RV | AF | |
| Leguminosas | | | |
| Feijão | AF, AG | AF | |
| Ervilha | AF, GE, RV | AF, GE | |
| Bulbos | | | |
| Cebola | CF | AF, CF | Necessita adaptação para secagem |
| Alho | CF | | |
| Hortaliças c/ frutos | | | |
| Pepino | AF, CF, AFRE | AF, AFRE | |
| Melão | AF, AG, CF, GE | AF, AFRE | |
| Melancia | AF, AG | AF, CF | Sensíveis a temperaturas próximas do ponto de congelamento. |
| Pimentão | AF, CF, AFRE, RV | AF, AFRE | |
| Quiabo e abobrinha | AF, CF, AFRE | AF, AFRE | |
| Tomate | AF, CF, AFRE | AF, AFRE | |
| Abóbora | CF | CF | |
| Flores | | | |
| De corte | AF, CF | AF | Embaladas |
| De vaso | CF | CF | utilizarsomente AF |

AF = Ar Forçado;

AARV = Resfriamento a Vácuo com Aspersão de Água;

AFRE = Ar Forçado com Resfriamento Evaporativo;

AG = Água Gelada;

CF = Câmaras Frigoríficas;

GE = Gelo empacotado;

RV = Resfriamento a Vácuo.

Fonte: adaptado de Kader (1992)

8 ARMAZENAMENTO

Após o processo de pré-resfriamento, é imprescindível a manutenção do produto sob refrigeração observando sempre a faixa ideal de temperatura recomendada para o armazenamento do produto em questão. Muitos dos benefícios obtidos mediante o resfriamento rápido podem ser perdidos em decorrência de falhas operacionais que ocasionem o reaquecimento do produto, entre o pré-resfriamento e o acondicionamento do produto na câmara de armazenamento. Desta forma, a manutenção da cadeia de frio é o ponto chave para o sucesso do processo como um todo.

Produtos recém pré-resfriados submetidos a um ambiente sem refrigeração estão sujeitos à condensação de água na superfície do produto. Essa umidade na superfície, associada à elevação da temperatura, representa uma condição ideal para o desenvolvimento de microrganismos patogênicos que promoverão a deterioração do produto.

Ainda é importante salientar que a temperatura de conservação não é igual para todos os produtos, sejam eles frutas ou hortaliças. A temperatura de armazenamento varia em função de vários fatores dentre os quais podemos citar; a nutrição mineral, conteúdo de carboidratos, grau de maturação, tipo de produto, características morfológicas e anatômicas e a sensibilidade intrínseca do produto a baixa temperatura, dentre outros. Além disso, é necessário assegurar-se que a temperatura de conservação nunca seja inferior ao ponto de congelamento.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. Methods of precooling fruits, vegetables and ornamentals. In: _____. **Refrigeration systems and applications handbook**. Atlanta, 1986. chap. 11, p. 11.1-11.10.

_____. Methods of precooling fruits, vegetables and cut flowers. In: _____. **Refrigeration systems and applications handbook**. Atlanta, 1994. chap. 10, p. 10.1-10.10.

_____. Methods of precooling fruits, vegetables and cut flowers. In: _____. **Refrigeration systems and applications handbook**. Atlanta, 1998. chap. 14, p. 14.1 - 14.10.

ARTHEY, D.; ASHURST, P.R. **Processado de frutas**. Zaragoza: Ed. Acibia, 1997. 273 p.

BARGER, W.R. Factors affecting temperature reduction and weight loss of vacuum-cooled lettuce. In: ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. **Marketing research report**. Washington, 1961. p. 5-20.

BELZILE, G. Le refroidissement de légumes. In: COLLOQUE DE GENIE RURAL, 10., 1992, Quebec. Quebec: Université Laval, 1992.

BRACKMANN, A. Pré-resfriamento de frutas. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE FRUTICULTURA DE CLIMA TEMPERADO, 4., 2001, Fraiburgo, SC. **Anais...** Florianópolis: EPAGRI, 2001. p. 69-74.

BROSNAN, T.; SUN, D.W. Precooling techniques and applications for horticultural products: a review. **International Journal of Refrigeration**, Oxford, v. 24, p. 154-170, 2001.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: ESAL; FAEPE, 1990. 320 p.

CORTBAOUI, P. **Assessment of precooling technologies for sweet corn**. 2005. 106 p. Thesis (Master of Science) - McGill University, Montreal, 2005.

CORTEZ, L.A.B.; HONÓRIO, S.L.; MORETTI, C.L. (Ed.). **Resfriamento de frutas e hortaliças**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 428 p.

DINCER, I. Determination of temperature distributions and heat transfer rates during precooling of spherical foodstuffs. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, London, v. 19, p. 733-748, 1992.

_____. Air flow precooling of individual grapes. **Journal of Food Engineering**, London, v. 26, p. 243-249, 1995.

GARIETY, Y.; RAGHAVAN, G.S.V.; THERIAULT, R. Cooling characteristics of cabbage. **Canadian Agricultural Engineering**, Ottawa, v. 29, n. 1, p. 45-50, 1987.

GUILLOU, R. Some engineering aspects of cooling fruits and vegetables. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 1, n. 1, p. 38-39, 1958.

HARDENBURG, R.E.; WATADA, A.E.; WANG, C.Y. **The comercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks**. Washington: USDA, 1986. 136 p. (USDA. Agriculture Handbook, 66).

HENRY, F.E.; BENNETT, A.H. 'Hydroaircooling' vegetable products in unit loads. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 16, n. 40, p. 731-739, 1973.

HERRERO, A.; GUARDIA, J. **Conservación de frutos**: manual técnico. Madrid: Ed. Mundi-Prensa, 1992. 409 p.

HOLDSWORTH, S.D. **Conservacion de frutas y hortalizas**. Zaragoza: Ed. Acribia, 1988. 186 p.

HOLMAN, J.P. **Heat transfert**. Toronto: McGraw-Hill, 1986. 675 p.

HUNSCHE, M. **Pré-resfriamento de frutos e hortaliças**. 1999. 36 p. Monografia (Estágio Orientado - PET/CAPES) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1999.

KADER, A.A. **Postharvest technology of horticultural crops**. 2nd ed. Davis: University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, 1992. 295 p.

MARTYNEZ-ROMERO, D.; CASTILLO, S.; VALERO, D. Forced-air cooling applied before fruit handling to prevent mechanical damage of plums (*Prunus salicina* Lindl.). **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 28, p. 135-142, 2003.

MITCHELL, F.G.; THOMPSON, J.F.; CRISOSTO, C.H.; KASMIRE, R.F. The commodity. In: UNIVERSITY OF CALIFORNIA. Division of Agriculture and Natural Science. **Commercial cooling of fruits, vegetables, and flowers**. Davis, 1998. p. 1-7. (Publication, 21567).

MOHSENIN, N.N. **Thermal properties of foods and agricultural materials**. New York: Gordon and Breach, 1980. 405 p.

RAO, K.V.N.; NARASIMHAM, G.S.V.L.; MURTHY, M.V.K. Analysis of co-current hydraircooling of food products in bulk. **International Journal of Heat and Fluid Flow**, Stoneham, v. 13, n. 3, p. 300-310, 1992.

RENNIE, T.J. **Effects of vacuum rate on the vacuum cooling of lettuce**. 1999. 120 p. Thesis (PhD) - Department of Agricultural and Biosystems Engineering, McGill University, Quebec, 1999.

SHEWFELT, R.L. Postharvest treatment for extending the shelf life of fruits and vegetables. **Food Technology**, Champaign, v. 5, p. 70-77, 1986.

SIMÕES-MOREIRA, J.R.S. **Fundamentos e aplicações da psicrometria**. São Paulo: RPA, 1999. 194 p.

SUN, D.W.; BROSNAN, T. Extension of the vase life of cut daffodil flowers by rapid vacuum cooling. **International Journal of Refrigeration**, Oxford, v. 22, p. 472-478, 1999.

TALBOT, M.T.; BAIRD, C.D.; SARGENT, S.A.; BRECHT, J.K. **Improving forced-air cooler performance**. Gainesville: University of Florida, Florida Cooperative Extension Service, 1992. 9 p.

THOMPSON, J.F. Hydrocooling fresh market commodities. **Perishables Handling Newsletter**, Davis, n. 84, p. 2-10, 1995.

THOMPSON, J.F.; CHEN, Y.L.; RUMSEY, T.R. **Energy use in vacuum coolers for fresh market vegetables**. St. Joseph: ASAE, 1986. p. 196-199. (ASAE Paper, 86-6010).

THOMPSON, J.F.; RUMSEY, T.R.; MITCHELL, F.G. Forced-air cooling. In: UNIVERSITY OF CALIFORNIA. Division of Agriculture and Natural Science. **Commercial cooling of fruits, vegetables, and flowers**. Davis, 1998. p.1-8. (Publication, 21567).

VIGNEAULT, C.; GOYETTE, B.; RAGHAVAN, G.S.V. Continuous flow liquid-ice system teste don broccoli. **Canadian Agricultural Engineering**, Ottawa, v. 37, n. 3, p. 225-230, 1995.

WANG, L.; SUN, D.W. Rapid cooling of porous and moisture foods by using vacuum cooling technology. **Trends in Food Science &Technology**, Cambridge, v. 12, p. 74-184, 2001.

Divisão de Biblioteca e Documentação

A Divisão de Biblioteca e Documentação está vinculada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ) do Campus da USP em Piracicaba. Reúne um acervo dos mais importantes do país na área de Ciências Agrárias, distribuído nas quatro bibliotecas do Campus: Biblioteca Central, Biblioteca Setorial do Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição, Biblioteca Setorial do Departamento de Genética, e Biblioteca Setorial do Departamento de Economia, Administração e Sociologia. Funcionam de forma sistêmica tendo como principais objetivos: coordenar as atividades de informação documentária no Campus; atender ao corpo docente, discente, administrativo, institutos e centros complementares, podendo ainda ser utilizada pela comunidade geral, observada as exigências do regulamento interno da Divisão; servir de apoio ao ensino, pesquisa e extensão, fornecendo informações aos usuários através da coleta, armazenamento, recuperação e disseminação dos documentos na área de agricultura e ciências afins.

Conheça também nossos outros títulos

Série Produtor Rural *

- SP/01 – Cultivo hidropônico de plantas
- SP/03 – Cultura do quiabeiro: técnicas simples para hortaliça resistente ao calor
- SP/04 – Rabanete: cultura rápida para temperaturas amenas e solos areno-argilosos
- SP/07 – Da piscicultura à comercialização: técnica de beneficiamento do pescado de água doce
- SP/08 – A cultura da rúcula
- SP/10 – A cultura do maracujá azedo (*Passiflora edulis*) na região de Vera Cruz, SP
- SP/11 – Adobe: como produzir o tijolo sem queima reforçado com fibra de bananeira

- SP/12 – Carambola: fruto com formato e sabor único
- SP/13 – Turismo rural
- SP/14 – Fundamentos da criação de peixes em tanques-rede
- SP/15 – Como preparar a silagem de pescado
- SP/16 – Cultivo de camu-camu (*Myrciaria dubia*)
- SP/17 – Cultivo ecológico da ameixeira (*Prunus salicina* Lind)
- SP/18 – Cultura da batata
- SP/19 – Maxixe: uma hortaliça de tripla forma de consumo
- SP/20 – O cultivo da acerola
- SP/21 – A cultura do pessegueiro: recomendações para o cultivo em regiões subtropicais
- SP/22 – Mel
- SP/23 – A cultura do caqui
- SP/24 – Estabelecimento de pastagens
- SP/25 – Manejo da fertirrigação utilizando extratores de solução do solo
- SP/26 – A cultura da lichia
- SP/27 – Kiwi: cultura alternativa para pequenas propriedades rurais
- SP/28 – Produção de *Gypsophila*
- SP/29 – A cultura do marmeleiro
- SP/30 – Adubação verde: do conceito à prática
- SP/31 – Mirtáceas com frutos comestíveis do Estado de São Paulo: conhecendo algumas plantas
- SP/32 – Agroquímicos de controle hormonal na agricultura tropical
- SP/33 – Manual de desidratação solar de frutas, ervas e hortaliças
- SP/34 – A cultura do pimentão
- SP/35 – Colheita e climatização da banana
- SP/36 – A Cultura do Manjeriço
- SP/37 – Geléia Real: composição e produção
- SP/38 – Utilização de fosfitos e potencial de aplicação dos aminoácidos na agricultura tropical
- SP/39 – Aspectos técnicos do cultivo de nêspersas

* R\$ 5,00

** R\$ 10,00

Série Produtor Rural - Especial **

- Cultivo do cogumelo shiitake (*Lentinula edodes*) em toras de eucalipto: teoria e prática
- Cultivo hidropônico do meloeiro
- Enxames: coleta, transferência e desenvolvimento
- Plantas visitadas por abelhas e polinização
- Suplementação de bovinos de corte em pastejo: aspectos práticos
- Soja: Colheita e perdas
- Aplicação de fertilizantes via pivô central: um exemplo direcionado à produção de pastagens

Para adquirir as publicações, depositar no Banco do Brasil, Agência 0056-6, C/C 306.344-5 o valor referente ao(s) exemplare(s), acrescido de R\$ 7,50 para o envio, posteriormente enviar via fax (19) 3429-4371 o comprovante de depósito, o(s) título(s) da(s) publicação(ões), nome e endereço completo para fazermos o envio, ou através de cheque nominal à Divisão de Biblioteca e Documentação.

Acesse nosso site: <http://dibd.esalq.usp.br> e consulte o “Catálogo de Publicações” com informações atualizadas das publicações disponíveis para a venda no link “Publicações para venda”.

