

Logística de armazenamento de frutos e hortaliças em supermercado

Daniela de Freitas Borghi Carla de Cássia Rodrigues Katiuchia Pereira Takeuchi Lúcio Cardozo Filho Marina Caldeira Reginaldo Guirardello

Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

RESUMO

Este estudo tem como principal objetivo minimizar as grandes perdas de frutos e hortaliças que ocorrem durante seu armazenamento em supermercados, utilizando modelos matemáticos para otimizar a distribuição dos produtos em depósito e minimizar a soma dos custos referentes ao armazenamento destes produtos. Para tanto, foram utilizados dados da literatura do tempo de vida de alguns frutos e hortaliças. O modelo matemático desenvolvido foi implementado no software GAMS®, simulando diversos casos de estudo de armazenamento dos produtos, visando minimizar os custos totais de armazenamento. A partir de valores de $KQ_{ij(ideal)}$ e de $KQ_{ij(real)}$ foi possível proceder uma análise em relação ao tempo de vida de cada produto em função da temperatura. Os resultados mostraram que quanto mais distante a temperatura real de armazenamento de determinado produto estiver da temperatura ideal, maiores serão os custos com a perda de qualidade deste produto. Verificou-se que o custo referente à perda de qualidade dos produtos tem grande influência no custo total de armazenamento.

Palavras-Chave: Frutos e Hortaliças. Tempo de Vida. Custo de Armazenamento. Otimização.

1. INTRODUÇÃO

O armazenamento de produtos perecíveis, de acordo com Sakamoto (2005), tem por objetivo minimizar a intensidade de seu processo vital, evitando, por exemplo, o ataque de patógenos, injúrias fisiológicas e a desidratação. O armazenamento de frutos e hortaliças é de grande importância aos estabelecimentos que comercializam esses produtos, já que estes são muito perecíveis e muitas vezes acabam tornando-se um prejuízo ao estabelecimento, devido à grande quantidade de produto descartado por falta de qualidade, chegando a aproximadamente 15% do total comercializado.

Por esta razão, o gerenciamento de um depósito de frutos e hortaliças é mais complexo do que o de um depósito de produtos processados. Estes produtos necessitam de uma rápida comercialização e de condições especiais de armazenamento para diminuir a perda de qualidade, pois esta reflete em diminuição do valor comercial.

Os frutos e hortaliças são produtos que são susceptíveis a diminuição do tempo de vida devido a injúrias ou perda de umidade. O tempo de vida de um produto é o tempo até que este se torne inaceitável para o consumo, do ponto de vista sensorial, nutricional ou de segurança (FU e LABUZA, 1993).

Alguns fatores, como tempo de estocagem, temperatura de armazenamento, odores, presença de etileno e tratamentos pós-colheita influenciam nessa perda do tempo de vida. Um curto período de estocagem e uma rápida comercialização reduzem a perda de qualidade dos

produtos. A temperatura ideal de armazenamento dos produtos é diferente para cada um deles, além disso, muitos frutos e hortaliças são susceptíveis a injúrias pelo frio. Produtos como alho e cebola produzem odores que são adsorvidos por frutas como melões e maçãs e uma separação espacial entre eles ou a embalagem dos mesmos pode prevenir a perda de qualidade por odores. O gás etileno, conhecido como gás do amadurecimento, é um agente de interação entre os produtos e até mesmo os que produzem etileno estão sujeitos ao seu efeito (BROEKMEULEN, 1998). E, por último, os tratamentos pós-colheita, como aplicação de ceras superficiais, são utilizados para melhorar sua aparência e qualidade, bem como prolongar o seu tempo de vida.

Além disso, o depósito de um supermercado possui restrições quanto ao seu espaço físico, sendo impossível e inviável criar um ambiente com condições específicas para armazenar cada variedade de produto.

O objetivo deste trabalho é, portanto, conhecidas todas as informações necessárias, otimizar a distribuição dos produtos no depósito de supermercados de tal forma que a soma dos custos envolvidos seja mínima, sendo respeitadas as restrições de estocagem.

2. DESCRIÇÃO MATEMÁTICA DO MODELO

Para a resolução deste problema são necessários alguns dados que descrevem o espaço físico disponível, o volume de produto a ser estocado, as condições sob as quais os produtos devem ser mantidos e a localização destes dentro do depósito.

Conhecendo-se esse conjunto de informações, é possível determinar qual é a área nas acomodações do depósito, com específicas condições de armazenagem, que determinado produto deve ocupar. Esta área específica é chamada de zona (BROEKMEULEN, 1998). Em um depósito de supermercado, existem basicamente duas zonas, o depósito externo, que fica à temperatura ambiente, e a câmara de refrigeração, que fica a uma temperatura pré-estabelecida.

As seguintes hipóteses devem ser consideradas:

1. O tempo de estocagem e a temperatura são as únicas condições de estocagem que influenciam na diminuição do tempo de vida dos produtos.
2. A temperatura de estocagem depende da zona.
3. Os níveis de estoque e os modelos de mudança do tempo de vida são conhecidos para todos os produtos.

Define-se a variável de decisão x_{ij} para todo $i \in P$ e $j \in Z$:

$$\begin{cases} x_{ij} = 1 \text{ se o produto } i \text{ está designado para a zona } j \\ x_{ij} = 0 \text{ em qualquer outro caso} \end{cases}$$

Assim, o problema pode ser colocado na forma de uma programação mista inteira linear (mixed integer linear programming - MILP). O problema então consiste em encontrar um plano de distribuição dos frutos e hortaliças que minimize a função custo (C) dada por:

$$C = \sum_{i \in P} \sum_{j \in Z} \frac{c_i \cdot s_i}{d_{ij}} x_{ij} + \sum_{i \in P} \sum_{j \in Z} \frac{b_{ij} \cdot c_i \cdot s_i}{d_{ij}} x_{ij} + \sum_{i \in P} \sum_{j \in Z} \frac{q_{ij} \cdot c_i \cdot s_i}{d_{ij}} x_{ij} + \sum_{j \in Z} a_j \cdot S_j \quad (1)$$

e que satisfaça as seguintes restrições:

1. Cada produto pode ser designado a apenas uma zona específica, para todo $i \in P$

$$\sum_{j \in Z} x_{ij} = 1 \quad (2)$$

2. A capacidade de estocagem da zona não pode ser excedida, para todo $j \in Z$.

$$\sum_{i \in P} s_i \cdot v_i \cdot x_{ij} \leq S_j \quad (3)$$

3. O tempo de permanência do produto i na zona j não pode exceder o tempo de vida deste produto, para todo $i \in P$ e $j \in Z$

$$d_{ij} \cdot x_{ij} \leq KQ_{ij(\text{real})} \quad (4)$$

onde a variável do modelo é x_{ij} (variável binária) e todos os demais símbolos apresentados são parâmetros do modelo.

3. DISCUSSÃO DOS PARÂMETROS ENVOLVIDOS NO PROBLEMA

A função custo (C) depende de alguns fatores, os quais estão inseridos em seus termos. A seguir serão discutidos esses fatores, os parâmetros do modelo.

3.1. CONJUNTO DE PRODUTOS (P)

Este conjunto engloba todos os frutos e hortaliças armazenados em determinado depósito. Cada produto recebe um índice i .

3.2. CONJUNTO DE ZONAS (Z)

Cada zona j possui condições específicas e uma capacidade física de armazenamento (S_j).

3.3. CUSTO DE ARMAZENAGEM (a_j)

Todo produto a ser armazenado implica em gastos com energia, funcionários, limpeza, etc. Manter uma câmara de refrigeração em funcionamento constante requer um gasto extra de energia, o que torna os custos de manutenção da câmara maiores que do depósito. Estes custos somados representam o custo de armazenamento.

3.4. PORCENTAGEM DE PERDAS (b_{ij})

Existem muitos fatores que, somados, levam às perdas de mercadoria. Entre estes fatores estão: transporte, manipulação dos produtos e armazenamento inadequado. Os valores das perdas no Brasil são bastante elevados. Para se ter uma idéia, o mais importante mercado atacadista de hortifrutícolas na América Latina (Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo – CEAGESP), registra diariamente grandes perdas de produtos, chegando em até 15% do total comercializado (FERREIRA NETO et al., 2006). Os frutos e hortaliças são descartados quando a sua qualidade ultrapassou o limite de aceitação pelo consumidor.

3.5. CUSTO DE COMPRA (c_i)

O custo de compra é o preço pago por determinado produto, incluindo os gastos com transporte. Este preço varia de produto para produto e também varia de acordo com a sazonalidade, oferta e demanda do mercado, assim como pela escassez provocada por alterações climáticas, as quais são imprevisíveis.

3.6. TEMPO QUE O PRODUTO PERMANECE ESTOCADO (d_{ij})

Cada produto permanece estocado por diferentes períodos de tempo. Esta variação se dá porque alguns frutos e hortaliças possuem menor tempo de vida, sendo logo descartados se não forem comercializados, enquanto outros têm uma pequena procura, o que aumenta o seu tempo de armazenagem. Visto que o custo de manutenção é calculado por dia, quanto maior o tempo de permanência dos produtos em estoque, maior será o gasto com armazenagem.

3.7. DIMINUIÇÃO DO TEMPO DE VIDA (q_{ij})

O que determina se um produto é aceitável para o consumo é sua qualidade e o nível de aceitação do consumidor. Este último depende de fatores sócio-econômicos e culturais e a qualidade é definida pelas propriedades intrínsecas do produto. O tempo de vida de um fruto vai depender destes dois aspectos (TIJSKENS e POLDERDIJK, 1996).

3.7.1 CÁLCULO DO TEMPO DE VIDA DE ALIMENTOS

Tijskens e Polderdijk (1996) desenvolveram uma formulação útil para o cálculo do tempo de vida de frutos e hortaliças. Eles mostraram que o tempo de vida é proporcional ao inverso da taxa de reação k independente do mecanismo cinético da perda de qualidade do produto. Assim, torna-se possível descrever o comportamento do tempo de vida como função da temperatura. De acordo com Labuza (1984), as reações de perda de qualidade de alimentos podem ser descritas segundo a lei de Arrhenius, onde taxas específicas de reações dependem da temperatura. A taxa de reação k pode ser aproximada por esta lei:

$$k = k_{ref} e^{\frac{E_A}{R} \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_{real}} \right)} \quad (5)$$

Em muitos frutos e hortaliças, o atributo de qualidade que limita a aceitação do consumidor muda de um atributo em certa temperatura para outro atributo em outra temperatura. Isto pode ser observado, por exemplo, em produtos sensíveis ao frio. Em tomates, por exemplo, mantidos a temperaturas constantes abaixo da temperatura ideal de armazenamento, o fator limitante geralmente é a cor, já quando a temperatura está acima da ideal, o fator limitante é a firmeza. (TIJSKENS e POLDERDIJK, 1996).

O tempo de vida sob condições constantes, proposto por Tijskens e Polderdijk (1996), pode ser representado por:

$$KQ = \frac{KQ_{ref}}{\sum_{n=1}^N k_{ref(n)} e^{\frac{E_{A(n)}}{R} \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_{real}} \right)}} \quad (6)$$

em que N é o número de processos que contribuem para o tempo de vida, que normalmente não é maior que dois. O valor de $k_{ref(1)}$ (taxa de reação do primeiro componente na temperatura de referência) é igual a um. Nos sistemas de processo único, em que N é igual a 1, KQ_{ref} representa o tempo de vida na temperatura de referência (T_{ref}). Para uma mesma T_{ref} , KQ_{ref} pode ser usado diretamente para comparar o tempo de vida de vários produtos. Já em sistemas de processos múltiplos, em que N é maior que um, KQ_{ref} representa o tempo de vida na temperatura de referência somente para o primeiro processo (TIJSKENS e POLDERDIJK, 1996).

Através da equação (6) é possível obter outros dois parâmetros do modelo, o $KQ_{ij(real)}$ (tempo de vida do produto i na zona j) e o $KQ_{i(ideal)}$ (tempo de vida do produto i na sua

temperatura ideal de armazenamento) e com estes calcula-se o parâmetro q_{ij} (fração da qualidade inicial que é perdida se comparada com a estocagem em condições ideais para determinado produto), através da seguinte relação:

$$q_{ij} = 1 - \frac{KQ_{ij(ideal)}}{KQ_{i(ideal)}} \quad (7)$$

4. RESULTADOS

Foram realizadas simulações no software GAMS® utilizando a Equação (1) juntamente com as restrições representadas pelas Eqs (2-4) que levaram em consideração diferentes temperaturas para as zonas e diferentes quantidades dos produtos adquiridos pelo supermercado. Inicialmente, os valores de $KQ_{ij(ideal)}$ e $KQ_{i(ideal)}$ foram obtidos pela Equação (6) e com os dados estimados por Tijskens e Polderdijk (1996). Os resultados obtidos são apresentados nas Figuras 1 a 4.

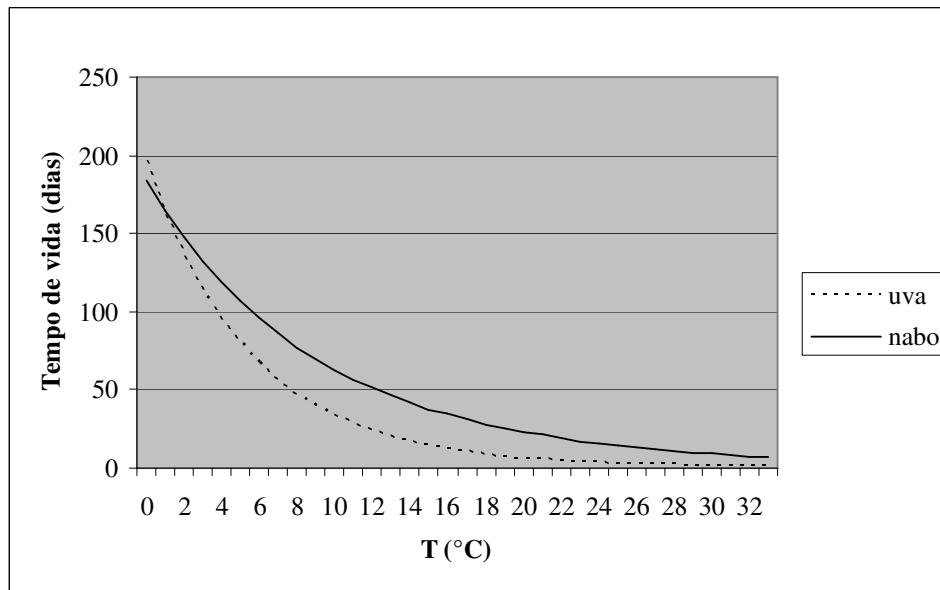


Figura 1. Variação do tempo de vida da uva e do nabo com a temperatura.

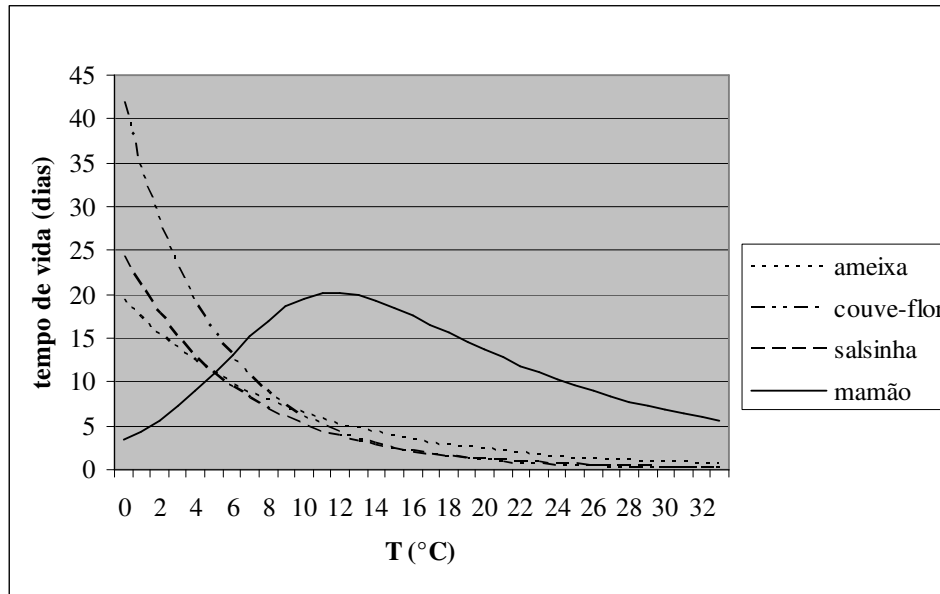


Figura 2. Variação do tempo de vida da ameixa, couve-flor, salsa e mamão com a temperatura.

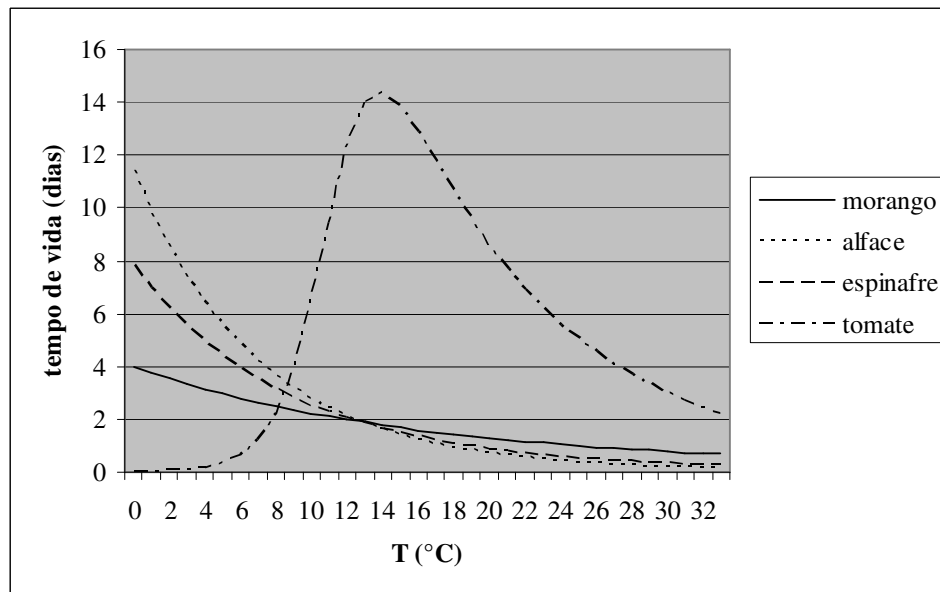


Figura 3. Variação do tempo de vida do morango, alface, espinafre e tomate com a temperatura.

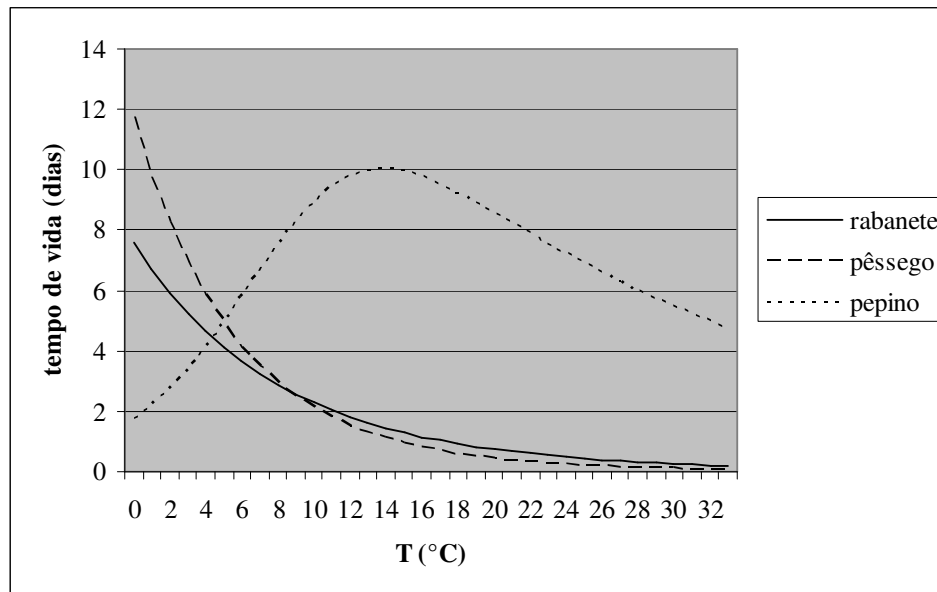


Figura 4. Variação do tempo de vida do rabanete, pêssego e pepino com a temperatura.

Observa-se, pelas Figuras 1-4, que para frutos com número de processos igual a 1 ($N = 1$) o tempo de vida aumenta conforme a temperatura diminui. No entanto, para frutos com número de processos igual a 2 ($N = 2$) tanto em baixas quanto em altas temperaturas, o tempo de vida é pequeno e aumenta conforme aproxima-se da temperatura ideal de armazenamento.

A partir dos valores de $KQ_{ij(ideal)}$ e $KQ_{ij(real)}$ obtém-se a variação do fator de qualidade, q_{ij} com a temperatura através da Equação (7). Os resultados calculados estão representados pelas Fig.(5) a Fig (8).

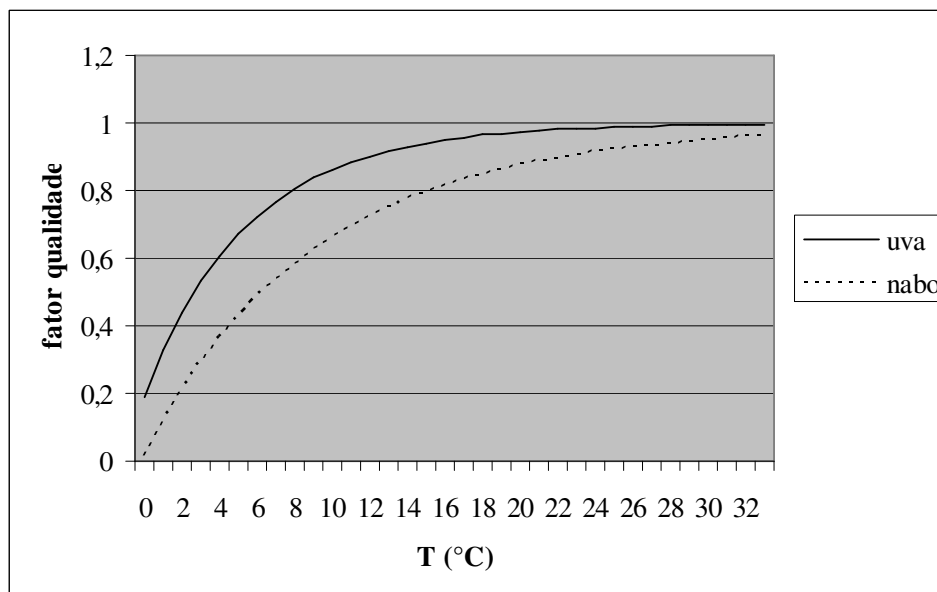


Figura 5. Variação do fator qualidade da uva e nabo com a temperatura.

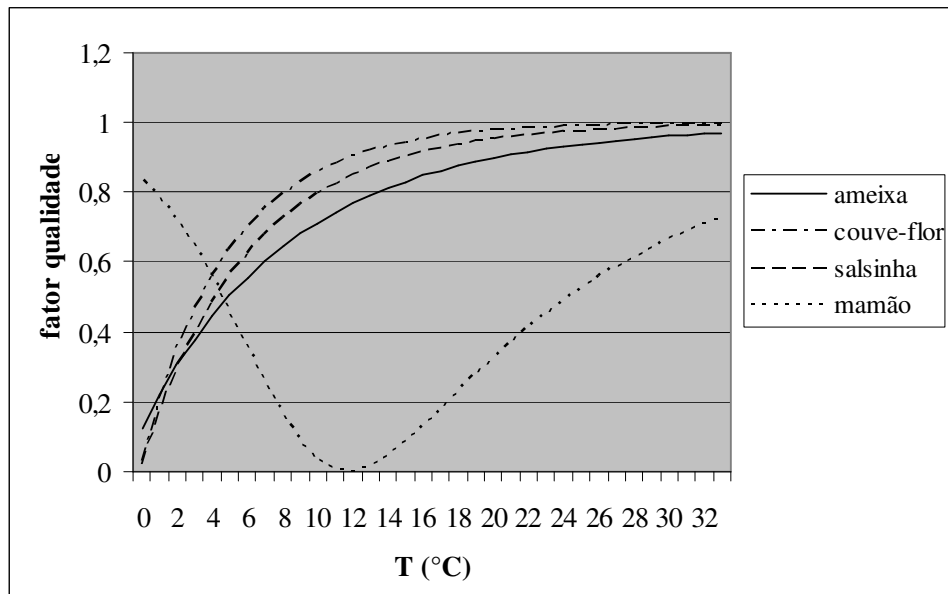


Figura 6. Variação do fator qualidade da ameixa, couve-flor, salsa e mamão com a temperatura.

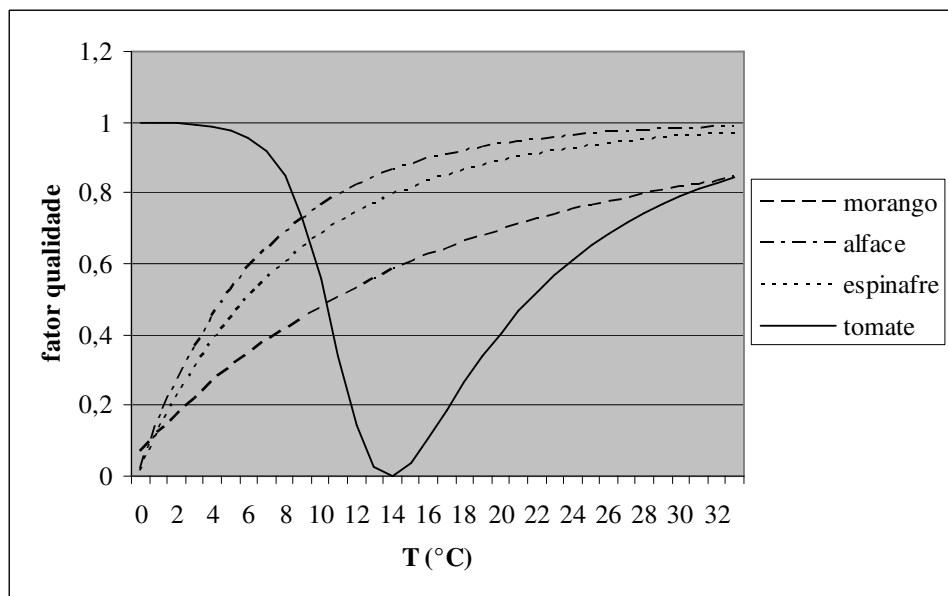


Figura 7. Variação do fator qualidade do morango, alface, espinafre e tomate com a temperatura.

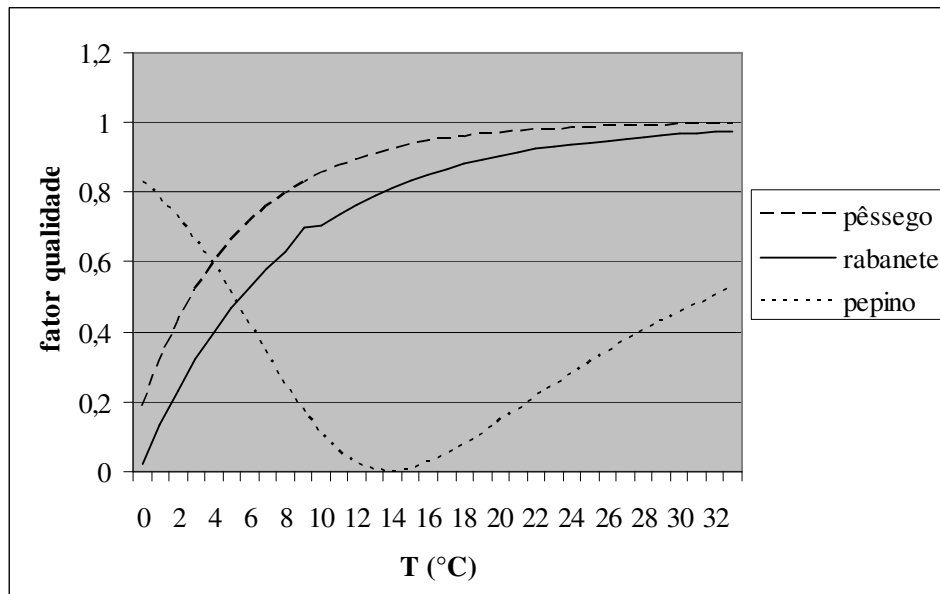


Figura 8. Variação do fator qualidade do pêssego, rabanete e pepino com a temperatura.

A análise dos resultados demonstra que quando a temperatura real de armazenamento de cada fruto é igual à sua temperatura ideal, $q_{ij} = 0$, maiores serão os custos com a perda de qualidade deste produto.

O valor máximo que q_{ij} pode assumir é 1, e quanto maior esse valor, mais distante da idealidade o produto está sendo armazenado.

Também foi avaliada a ordem de prioridade dos produtos estudados para estarem na câmara fria. Para tanto, considerou-se que a quantidade de cada fruto era de dez caixas e aumentou-se a capacidade da câmara de dez em dez caixas para observar qual produto entraria primeiro na câmara. Como há uma restrição em que o tempo de vida do produto i na zona j deve ser maior que um tempo mínimo de permanência deste produto nesta zona, a capacidade mínima da câmara deveria ser de 60 caixas. Devido à essa restrição, 6 produtos não podem ser armazenados no depósito. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Ordem de entrada dos frutos na câmara devido à restrição 3.

S_j (caixas)	Frutos
60	pêssego, rabanete, couve-flor, espinafre, salsinha, alface
70	Ameixa
80	Uva
90	Mamão
100	Morango
110	Nabo
120	Pepino

Verificou-se também o que ocorre quando essa restrição é ignorada. Os resultados estão na Tabela 2.

Tabela 2. Ordem de entrada dos frutos na câmara desconsiderando a terceira restrição.

S_j (caixas)	Frutos
0	-
1	ameixa

2	Uva
3	Pêssego
4	Mamão
5	Morango
6	Rabanete
7	Nabo
8	couve-flor
9	espinafre
10	Salsinha
11	Alface
12	Pepino

Analisando as Tabelas 1 e 2 observa-se que a ordem de entrada dos produtos na câmara é afetada significativamente pela restrição 3. Caso a restrição 3 fosse ignorada muitos produtos permaneceriam no estoque, mesmo tendo seu tempo de vida nessa zona ($KQ_{ij(real)}$) menor que o tempo mínimo de vida necessário à este produto (d_{ij}). Neste caso de estudo, o parâmetro d_{ij} foi considerado igual a um para todos os produtos. Observa-se que, por exemplo, a alface que tem o tempo de vida menor que um dia no estoque. Caso essa restrição fosse ignorada, seria o penúltimo, em ordem de prioridade, para ser armazenado na câmara. No entanto, a alface deveria ser um dos primeiros produtos a armazenado neste período.

Sendo, na função custo (C), o primeiro termo $\left(\sum_{i \in P} \sum_{j \in Z} \frac{c_i \cdot s_i}{d_{ij}} x_{ij} \right)$, chamado de $z1$, referente ao custo de aquisição dos produtos, o segundo termo $\left(\sum_{i \in P} \sum_{j \in Z} \frac{b_{ij} \cdot c_i \cdot s_i}{d_{ij}} x_{ij} \right)$, chamado de $z2$, referente ao custo com perdas (produtos descartados), o terceiro termo $\left(\sum_{i \in P} \sum_{j \in Z} \frac{q_{ij} \cdot c_i \cdot s_i}{d_{ij}} x_{ij} \right)$, chamado de $z3$, referente a custos com a perda de qualidade dos produtos e o último termo $\left(\sum_{j \in Z} a_j \cdot S_j \right)$, chamado de $z4$, referente a custos com a manutenção das zonas (energia elétrica, funcionários, água, etc.), avaliou-se o peso que cada termo tem no custo total, considerando que todos os produtos estavam em quantidades iguais (em caixas). Os resultados obtidos estão mostrados na Figura 9:

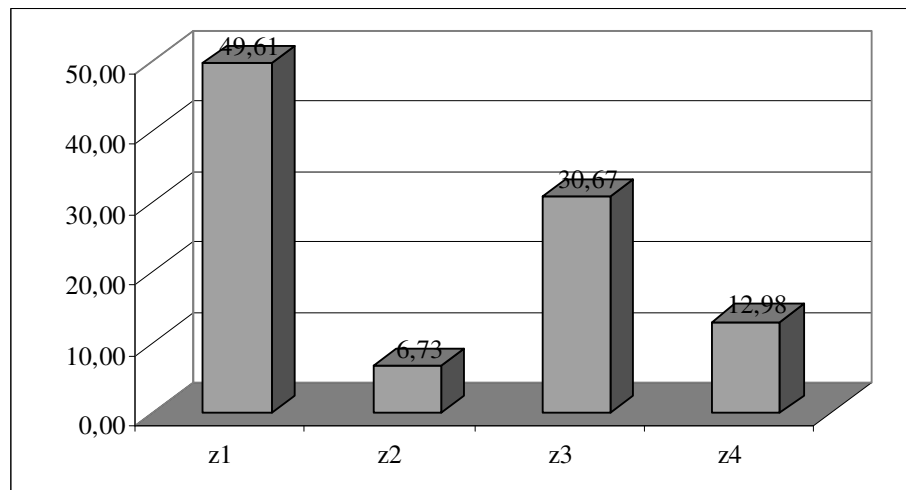


Figura 9. Porcentagem de cada termo da função custo sobre o custo total de armazenamento.

Observa-se pela a análise dos resultados da Figura 9 que o termo de maior impacto sobre o custo total de armazenamento é referente ao custo de aquisição dos produtos ($z1$). Seguido pelo o custo com a perda de qualidade ($z3$) que representa cerca de 30% do custo total.

5. CONCLUSÕES

O modelo proposto apresenta-se, claramente, como um instrumento que auxilia na redução dos custos totais do estabelecimento com armazenagem de frutos e hortaliças.

A equação proposta por Tijksens e Polderdijk (1996) para prever o tempo de vida dos produtos em diferentes temperaturas de armazenamento utilizada no modelo proposto apresentou resultados satisfatórios.

O método desenvolvido é genérico e pode ser utilizado, portanto, como uma ferramenta para auxiliar nas tomadas de decisões relacionadas à logística de armazenamento dos frutos e hortaliças nos depósitos de supermercados.

Estudos futuros podem ser realizados com outros frutos e hortaliças de interesse aos supermercados, para que este modelo se torne uma ferramenta que auxilie a diminuir as grandes perdas deste segmento no Brasil.

6. NOMENCLATURA

A seguinte nomenclatura foi utilizada:

P → conjunto de produtos

Z → conjunto de zonas

T → conjunto de tratamentos

a_j → custo de armazenagem na zona j (R\$/dia)

b_{ij} → porcentagem de perdas do produto i na zona j

c_i → custo de compra do produto i (R\$/kg)

d_{ij} → tempo que o produto i permanece estocado na zona j (dias)

q_{ij} → diminuição esperada do tempo de vida do produto i na zona j

s_i → nível de estoque do produto i

v_i → volume ocupado pelo produto i (m^3/kg)

S_j → capacidade de estocagem da zona j

T_{ref} → temperatura de referência

T_{real} → temperatura real de armazenamento

T_{ideal} → temperatura ideal de armazenamento do produto i

$KQ_{ij(real)}$ → tempo de vida do produto i na zona j na T_{real} (dias)

$KQ_{i(ideal)}$ → tempo de vida do produto i na T_{ideal} (dias)

KQ_{ref} → tempo de vida do produto i na T_{ref} (dias)

E_A → energia de ativação

R → constante universal dos gases

k_{ref} → taxa de reação na temperatura de referência

7. REFERÊNCIAS

BROEKMEULEN, R. A. C. M., Operations Management of Distribution Centers for Vegetables and Fruits, *International Transactions in Operational Research*. v. 5, n. 6, 1998, p. 501-508.

FERREIRA NETO, Josué et al . Avaliação das câmaras frias usadas para o armazenamento de frutas e hortaliças no entreposto terminal de São Paulo (CEAGESP). *Eng. Agríc. , Jaboticabal*, v. 26, n. 3, 2006, p. 832-839.

FU, B., LABUZA, T. P. Shelf-life Prediction: Theory and Application. *Food Control*, Butterworth-Heinemann Ltd, v. 4, n. 3, 1993, p. 125-133.

LABUZA, T. P. Application of Chemical Kinetics to Deterioration of Foods. *Journal of Chemical Education*, v. 61, nº 4, 1984.

SAKAMOTO, N. M. Sazonalidade, refrigeração e diferentes tipos de recobrimento na conservação pós-colheita de estacas de cordilina (*Cordyline rubra* Hügel). 2005. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo.

TIJSKENS, L. M. M., POLDERDIJK, J. J. A Generic Model for Keeping Quality of Vegetable Produce During Storage and Distribution. *Agricultural Systems*, v. 51, n. 4, 1996, p. 431-452.