BRUNO ROGORA KAWANO

Proposta de estratégia de controle de temperatura baseada em pré-resfriamento de produtos agrícolas perecíveis no transporte refrigerado rodoviário

São Paulo
2019

BRUNO ROGORA KAWANO

Proposta de estratégia de controle de temperatura baseada em pré-resfriamento de produtos agrícolas perecíveis no transporte refrigerado rodoviário

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Doutor em Ciências

São Paulo
2019

BRUNO ROGORA KAWANO

Proposta de estratégia de controle de temperatura baseada em pré-resfriamento de produtos agrícolas perecíveis no transporte refrigerado rodoviário

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Doutor em Ciências

Área de Concentração:
Engenharia de Computação

Orientador:
Prof. Dr. Livre Docente
Carlos Eduardo Cugnasca

São Paulo
2019

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Kawano, Bruno

Proposta de estratégia de controle de temperatura baseada em pré resfriamento de produtos agrícolas perecíveis no transporte refrigerado rodoviário / B. Kawano -- versão corr. -- São Paulo, 2019.

160 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais.

1.Controle 2.Rastreabilidade 3.Alimentos 4.Arquitetura 5.Agricultura
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais II.t.

A minha família, namorada, amigos,
colegas, professores e orientador que me
deram todo o apoio desde sempre.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não poderia ser terminado sem a ajuda de diversas pessoas às quais presto minha homenagem:

Aos meus pais Juçara e Hiroma e irmãos Rafael e Diogo e toda minha família e amigos pelo primordial incentivo em todos os momentos da minha vida. À Juliany que esteve comigo neste final de doutorado e que me apoiou em cada momento.

Ao meu orientador Prof. Carlos Cugnasca, não somente pela excelente orientação, mas também pela amizade que se iniciou e pelo aprendizado fora do contexto acadêmico. Agradeço a ela também pela paciência e compreensão em cada etapa de minha jornada na pesquisa de doutorado.

Aos colegas sempre que conheci no LAA como o Leonardo, ao Roberto que foi meu colega desde a Esalq. Agradecimento especial à Renata e Osvaldo que se tornaram verdadeiros pais para mim durante todo este tempo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro da bolsa de pesquisa.

A todos os professores e colegas e funcionários do departamento, que ajudaram de forma direta e indireta na conclusão deste trabalho.

*A curiosidade é a melhor matéria-prima do
conhecimento*

RESUMO

O desperdício de alimentos desde sua produção até o consumo, encontra-se, atualmente, no patamar de um terço de tudo o que é produzido no mundo. Durante a etapa de transporte, principalmente de alimentos com alta perecibilidade, tais como frutas e hortaliças, ocorrem perdas consideráveis devido à não utilização de tecnologia adequada de conservação e sua utilização é restrita devido ao seu alto custo. Durante o transporte refrigerado rodoviário de produtos agrícolas perecíveis, a carga transportada é suscetível à diversas aberturas de porta do caminhão refrigerado para a realização das entregas ao longo do percurso. Quando isso ocorre uma carga térmica de massa de ar entra no ambiente refrigerado elevando a temperatura neste momento, causando prejuízos em relação à qualidade do alimento transportado. Desta forma, é proposto neste trabalho uma etapa de pré-resfriamento em momento anterior à abertura das portas do caminhão refrigerado, a fim de se manter a temperatura dentro da faixa ideal de conservação. Para isso utilizou-se a estratégia do Controle PID na redução da temperatura antes da abertura de portas e após estas serem fechadas. Foi obtido um modelo em que foram simuladas aberturas de portas de um caminhão refrigerado utilizando técnicas de controle com o objetivo de manter a temperatura do ar do ambiente refrigerado dentro da faixa ideal. Os resultados obtidos indicam o potencial da utilização do controle de sistemas aliado à estratégia do pré-resfriamento na manutenção da temperatura auxiliando na preservação dos atributos de qualidade de alimentos transportados. Além disso, avalia-se que este modelo possa ser aplicado ao transporte refrigerado de outros alimentos.

Palavras-chave - Conservação de alimentos. Transporte refrigerado. Pré-resfriamento. Perdas agrícolas. Controle PID.

ABSTRACT

Food waste, from its production up to its consumption, currently accounts for one-third of all the food produced in the world. During the transport stage, especially of highly perishable foods, such as fruit and vegetables, considerable losses occur due to not using adequate preservation technology; its use is limited owing to its high cost. Over the refrigerated road transport of perishable agricultural products, the load transported is susceptible to different door openings of the refrigerated truck for the deliveries along the route. When this occurs, an air mass thermal load enters the refrigerated environment elevating the temperature, causing damages to the quality of the food transported. Hence, this work proposes a pre-cooling stage at the moment prior to opening the doors of the refrigerated truck, so as to keep the temperature within the ideal preservation range. For this, PID Controller was employed for reducing the temperature before doors are opened and after they are closed. A model was obtained, whereby the door openings of a refrigerated truck were simulated using control techniques aiming to maintain the temperature of the refrigerated environment air within the ideal range. The results indicate the potential of using the system control combined with the pre-cooling strategy for keeping the temperature, aiding to preserve the quality attributes of the food transported. Besides, this model is believed to be able to be applied to the refrigerated transport of other foods.

Keywords – Food preservation. Refrigerated transport. Pre-cooling. Agricultural losses. PID Controller.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Concepção de um modelo	27
Figura 2 - Diagrama da metodologia seguida na pesquisa	28
Figura 3 - Mapa do software VOSViewer sobre o termo “internet of things”	32
Figura 4 - Número de itens publicados relacionado ao termo “internet of things” no período de 2012 a janeiro de 2016.....	33
Figura 5 - Número de itens publicados relacionado ao termo “internet of things” no período de 2012 a julho de 2018.....	33
Figura 6 - Número de itens publicados relacionado ao termo “smart agriculture” no período de 1997 a janeiro de 2016.....	34
Figura 7 – Classificação da produção bibliográfica dos 10 países, a exceção do Brasil que possui a 20ª posição, que mais publicaram artigos e patentes contendo o termo “internet of things”	35
Figura 8 - Classificação da produção bibliográfica dos 10 países da América Latina que mais publicaram artigos e patentes contendo o termo “internet of things”	36
Figura 9 - Curva de Gartner de tecnologias emergentes no ano de 2015.....	37
Figura 10 - Curva de Gartner de tecnologias emergentes em julho de 2017	38
Figura 11 - Número de documentos publicados entre 2008 a 2018.....	39
Figura 12 - Relatório de citações a partir dos termos pesquisados.....	40
Figura 13 - Número de citações por ano	40
Figura 14 - Gráfico de árvore das categorias do Web of Science sobre assuntos relacionados aos termos “computers” e “agriculture”	41
Figura 15 - Número de itens publicados por tipo de documento	42
Figura 16 - Periódicos e número de publicações sobre assuntos relacionados aos termos “computers” e “agriculture”	45
Figura 17 - Número de publicações por país sobre assuntos relacionados aos termos “computers” e “agriculture”	45
Figura 18 - Áreas de pesquisa e respectivos números de publicações sobre assuntos relacionados aos termos “computers” e “agriculture”	47
Figura 19 - Fontes de perdas pós-colheita nas cadeias de frutas e hortaliças.....	51
Figura 20 - Transposição de carga de um caminhão maior para outro de menor capacidade	54

Figura 21 - Descarga de bananas em posto de distribuição	54
Figura 22 - Descarga de bananas em posto de distribuição	54
Figura 23 - Câmara de refrigeração de caminhão.....	55
Figura 24 - Caminhão com carroceria refrigerada.....	55
Figura 25 - Detalhe da porta lateral de caminhão com carroceria refrigerada.....	56
Figura 26 - Câmara refrigerada de caminhão no transporte	56
Figura 27 - Descarregamento de carga de frutas.....	57
Figura 28 - Momento em que caminhão refrigerado se encontra com a porta aberta e fica suscetível à entrada de calor na câmara.	57
Figura 29 - Descarregamento de carga refrigerada	58
Figura 30 - Norma da ABNT que dispõe sobre recomendações a serem seguidas no transporte de produtos alimentícios refrigerados	60
Figura 31 - Arquitetura do sistema representação da Cadeia do Frio	68
Figura 32 - Diagrama de blocos de um sistema de controle automático industrial....	73
Figura 33 - Modelo de controle com incremento do K_p	76
Figura 34 - Modelo de controle com incremento do K_d	76
Figura 35 - Incremento do K_i (valor máximo de desempenho na simulação).....	77
Figura 36 - Modelo de um diagrama de bloco do sistema de controle adaptativo.....	78
Figura 37 - Representação da faixa de temperatura e perturbação com a abertura de porta	80
Figura 38 - Representação do pré-resfriamento do sistema de refrigeração e perturbação com a abertura de porta	81
Figura 39 - Comparação das estratégias de conservação do sistema de resfriamento com as curvas com e sem pré-resfriamento e abertura de porta	82
Figura 40 - Modelo simplificado das estratégias de atuação do sistema de controle	83
Figura 41 - Diagrama do processo do modelo de pré-resfriamento e controle do sistema.....	85
Figura 42 - Exemplo de faixa ideal de temperatura para transporte refrigerado	87
Figura 43 - Exemplo de faixa ideal de temperatura para o caso do abacate e exemplos de variações de temperatura no transporte refrigerado	87
Figura 44 - Variação da temperatura no interior de um caminhão refrigerado e consequências devido a abertura de portas.....	88
Figura 45 - Exemplo de comportamento de controle da temperatura aplicado à abertura de porta de caminhão refrigerado, no caso do abacate	89

Figura 46 - Benefícios advindos do pré-resfriamento da carga transportada.....	90
Figura 47 - Modelo de Pré-resfriamento proposto e controle de temperatura antes e após o fechamento da porta.....	90
Figura 48 - Curva de oscilação de temperatura do trabalho obtido por Pereira (2008)	91
Figura 49 - Identificação da função de transferência da curva de subida (durante a abertura da porta) da planta do sistema com base nos dados inseridos no software MATLAB.....	92
Figura 50 - Identificação curva de descida (durante o fechamento da porta) da planta do sistema com base em dados inseridos no software MATLAB, com $K=-0,215$ e $T_1=4778$	92
Figura 51 - Esquema da planta em diagrama em blocos no MATLAB desenvolvido no Simulink.....	93
Figura 52 - Resultado obtido da simulação em MATLAB/Simulink do pré-resfriamento aplicado ao sistema refrigerado com abertura de porta	94
Figura 53 - Cenários e ações possíveis ao longo do transporte.....	95
Figura 54 - Correlação do tempo de antecipação de abertura de porta com o tempo máximo que ela poderá ficar aberta	95
Figura 55 - Simulação de antecipação de abertura de porta e comportamento de resfriamento da câmara	96
Figura 56 - Fluxo de carga e informações ao longo da cadeia do frio para produtos perecíveis.	102
Figura 57 - Arquitetura proposta para o modelo apresentado	104
Figura 58 - Modelo de um diagrama de bloco do sistema de controle adaptativo...	131

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Perda de alimentos em cada etapa da cadeia produtiva na América Latina	18
Quadro 2 - Lista de instituições que mais publicam sobre assuntos relacionados aos termos “computers” e “agriculture”	43
Quadro 3 - Lista dos autores com maior número de publicações sobre assuntos relacionados aos termos “computers” e “agriculture”	44
Quadro 4 - Idiomas das publicações sobre assuntos relacionados aos termos “computers” e “agriculture”	46
Quadro 5 - Instituições brasileiras que publicaram itens sobre assuntos relacionados aos termos “computers” e “agriculture”	47
Quadro 6 - Lista do número de publicações por instituição de pesquisa no mundo sobre assuntos relacionados aos termos “computers” e “agriculture”	48
Quadro 7 - Descrição de características sobre transporte refrigerado de frutas e hortaliças	53
Quadro 8 - Sintomas dos danos causados pelo frio com valores da temperatura abaixo da mínima recomenda.....	58
Quadro 9 - Tabela de compatibilidade de produtos para armazenagem.....	59
Quadro 10 - Vantagens e desvantagens dos métodos de tratamento pós-colheita de frutas e hortaliças	65
Quadro 11 - Faixas ideais de temperatura de umidade de frutas e verduras e período de vida útil	86
Quadro 12 - Recomendações de tempo máximo de abertura de porta para o descarregamento de carga de acordo com o tempo de antecipação de uma entrega	98
Quadro 13 - Padrão de arquitetura em camadas	103
Quadro 14 - Tabela de Frutas de Clima Temperado.....	137
Quadro 15 - Tabela de Frutas Cítricas.....	138
Quadro 16 - Tabela de Frutas Tropicais.....	138
Quadro 17 - Tabela de Vegetais.....	139
Quadro 18 - Tabela para Carnes e Ovos.....	142
Quadro 19 - Tabela de dados de conservação para peixes.....	144

Quadro 20 - Tabela de dados de conservação para peixes e outros frutos do mar.	145
Quadro 21 - Tabela de dados de conservação para laticínios.	146
Quadro 22 - Tabela de dados de conservação para produtos diversos.	146
Quadro 23 - Vida prática de estocagem em meses (3 temperaturas).	155
Quadro 24 - Tabela contendo informações de temperatura de conservação dos produtos.	158

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIAF	Associação Brasileira da Indústria de Armazenagem Frigorificada
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
FGV	Fundação Getúlio Vargas
HACCP	Hazard Analysis and Critical Control Points
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IOT	Internet of Things
LAA	Laboratório de Automação Agrícola
M2M	Machine-to-Machine
PID	Proporcional, Integral e Derivativo
PTC	Engenharia de Telecomunicações e Controle
RFID	Radio-Frequency IDentification
RSSF	Rede de Sensores Sem Fio
UFV	Universidade Federal de Viçosa
USDA	United States Department of Agriculture
USP	Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.1 Conceitos Introdutórios e Problematização	18
1.2 Objetivos e Escopo de Pesquisa	23
1.2.1 Objetivos de Pesquisa	23
1.3 Escopo da Pesquisa	24
1.4 Justificativas	24
1.5 Organização do Trabalho	24
2. METODOLOGIA	26
3. REVISÃO BIBLIOMÉTRICA SOBRE INTERNET DAS COISAS E AGRICULTURA INTELIGENTE	29
3.1 Pesquisa Bibliométrica na Base de Dados <i>Web of Science</i>	31
3.2 Pesquisa Bibliométrica na Base de Dados <i>Scopus</i>	34
3.3 Pesquisa Bibliométrica sobre Controle de Sistemas e Agricultura	38
3.4 Conclusões sobre a Revisão Bibliométrica realizada	49
4. CADEIA DO FRIO E CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS	50
4.1 Cadeia do Frio no transporte de alimentos	50
4.2 Normas e Recomendações vigentes acerca do transporte de alimentos refrigerados	59
4.3 Tecnologias para conservação de alimentos	63
4.4 Eficiência energética de sistemas comerciais	66
4.5 Rastreabilidade de alimentos na cadeia produtiva	66
4.6 Considerações finais sobre a Cadeia do Frio e conservação de alimentos	68
5. SISTEMAS DE CONTROLE	70
5.1 Aplicações de Controle	70
5.2 Métodos de Controle	72
5.3 Algoritmo para Controle PID	73
5.4 Modelagem e simulação Controle PID	75
5.5 Outros modelos de Sistemas de controle: o controle adaptativo	77

6. SIMULAÇÃO DE UM MODELO DE CONTROLE PROPOSTO PARA A CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS	79
6.1 Desenvolvimento do modelo.....	79
6.2 Resultados obtidos pelas Simulação e Discussões	91
6.3 Cenários de antecipação de abertura de portas com a estratégia de pré-resfriamento: simulações	95
6.4 Considerações finais sobre as simulações do modelo de controle e requisitos da arquitetura proposta.....	99
7. PROPOSTA DE ARQUITETURA E RASTREABILIDADE DO SISTEMA.....	100
7.1 Definição do Domínio.....	100
7.1.1 Escopo e Definição do Domínio	100
7.2 Arquitetura proposta	102
7.3 Considerações finais do capítulo	109
8. CONCLUSÕES	110
8.1 Avaliação dos resultados	110
8.2 Potenciais de aplicação	112
8.3 Pesquisas futuras	113
8.5 Depósito de Patente	115
9. PUBLICAÇÕES E SUBMISSÕES NO PERÍODO DA PESQUISA.....	116
REFERÊNCIAS.....	120
APÊNDICE A	131
APÊNDICE B	132
APÊNDICE C	135
ANEXO A	137
ANEXO B	148
ANEXO C	149
ANEXO D	150
ANEXO E	158
ANEXO F	160

1. INTRODUÇÃO

1.1 Conceitos Introdutórios e Problematização

Um terço dos alimentos produzidos no mundo é perdido nas diversas etapas das cadeias de suprimentos. Assim, o desenvolvimento e a aplicação de tecnologias na etapa de pós-colheita são fundamentais para que este cenário seja mitigado (SILVÉRIO; OLTRAMARI, 2014). Por exemplo, fatores que influenciam fortemente nestas perdas são a carência de investimentos em infraestrutura e o uso de tecnologias e processos de pós-colheita inadequados.

Este valor, em termos de volume, representa cerca de 1,3 bilhão de toneladas de alimentos que são desperdiçados anualmente no mundo (FAO, 2013). O que, a princípio, pode representar somente uma perda de alimento, resulta em prejuízos em relação aos recursos naturais necessários para este montante ser produzido, bem como seus efeitos indiretos como emissão de gases causadores de efeito estufa. Ainda segundo este estudo da FAO (2013), este volume representa em valor US\$ 750 milhões, sendo que atualmente no mundo, cerca de 850 milhões de pessoas ainda passam fome.

Em um levantamento realizado por Gustavsson et al. (2011), para a realidade da América Latina, as perdas de alimentos durante a cadeia produtiva podem ser representadas no Quadro 1. No caso deste projeto, as etapas de pós-colheita e estocagem e também a de distribuição, deverão merecer atenção especial, conforme será explicado mais adiante.

Quadro 1 - Perda de alimentos em cada etapa da cadeia produtiva na América Latina

Porcentagem de perdas de alimentos em cada etapa da cadeia de suprimentos de alimentos	Valor
Produção Agrícola	6%
Pós-Colheita e Estocagem	3%
Processamento e Embalamento	8%
Distribuição	2%
Consumo	2%

Fonte: Gustavsson et al. (2011)

As tecnologias atuais mais usuais existentes para conservação em frutas são sistemas de câmaras frias, que não possuem, em sua maioria, a capacidade de controle dinâmico otimizado do ambiente, levando em consideração a interação entre as variáveis como temperatura, umidade, concentração de gases O₂, CO₂ e etileno (SAQUET, 2017).

Os sistemas atuais em geral levam em consideração somente as variáveis individualizadas e seus efeitos nos atributos de qualidade, por exemplo, perda de massa de frutas durante o armazenamento refrigerado (CORTELINO, 2017). No ANEXO B, encontra-se a representação de um sistema de refrigeração de forma detalha. Dessa forma, além de comprometer a qualidade das frutas, há um gasto energético com a refrigeração dessas câmaras acima do ideal.

O transporte é uma das etapas mais sensíveis da cadeia do frio, ou seja, a soma de todas as fases pelas quais um produto refrigerado perpassa desde o momento em que é fabricado, ou colocado em ambiente refrigerado, até chegar ao consumidor final. E é nesta etapa em que ocorrem grandes perdas e deterioração de alimentos, principalmente alimentos perecíveis, tais como algumas frutas e hortaliças (DI-PALMA, 2010; HAIDER, REHMAN e DURRANI, 2013).

Sabe-se que durante a etapa de transporte, a temperatura no interior de caminhões refrigerados que transportam frutas e hortaliças, por exemplo, tende a ficar suscetível a variações devido à abertura e fechamento das portas. A abertura de portas ocorre quando em um determinado trajeto, o caminhão deve realizar mais de uma entrega sendo, portanto, obrigado a abrir a porta do caminhão por diversas vezes.

Neste sentido, as variações de temperatura dentro do ambiente refrigerado podem ocasionar diversos prejuízos ao agente responsável pela carga transportada. Estes podem ir desde o consumo elevado de combustível, necessário para a tentativa de manutenção da temperatura, até a deterioração do produto perecível o que compromete a qualidade do alimento, causando prejuízos elevados ou até mesmo inviabilizando o transporte de certos produtos do local onde é produzido até outras regiões mais distantes do país.

O tema deste trabalho está envolvido no contexto da rastreabilidade e segurança alimentar.

Um controle efetivo das condições de transporte de alimentos perecíveis é preponderante, também, no sentido de se garantir a segurança alimentar do produto a ser consumido. Doenças de plantas que atacam os alimentos, como as de origem fúngica e bacteriana, podem muitas vezes causar infecções e contaminações nos seres humanos, quando estes consomem alimentos contaminados devido a um transporte e armazenamento não adequados.

Segundo a FAO (2014), o conceito de Segurança Alimentar e Nutricional é o seguinte:

“A Segurança Alimentar e Nutricional é a realização do direito de todos ao acesso regular e permanente a alimentos de qualidade, em quantidade suficiente, sem comprometer o acesso a outras necessidades essenciais tendo como base práticas alimentares promotoras da saúde, que respeitam a diversidade cultural e que sejam social, econômica e ambientalmente sustentáveis.”

A expressão “alimentos de qualidade” citada no conceito apresentado como um “direito a todos” é essencial e motivadora para o desenvolvimento de pesquisas na área.

No que se refere à rastreabilidade de alimentos, esta pode ser definida como o acompanhamento e monitoramento do produto ao longo de todos os elos da cadeia, permitindo a identificação de pontos críticos de controle de qualidade (OLSEN, BORIT, 2018). A definição de rastreabilidade é a habilidade de rastrear o histórico, o processamento e os locais por onde um produto passou por meio de identificações gravadas em um sistema (MCCARTHY et al., 2018).

A aplicação do conceito de rastreabilidade possibilita um controle de todas as etapas de uma cadeia de suprimentos, fornecendo insumos para uma melhor análise e gestão de riscos da cadeia como um todo. A tecnologia de informação é essencial para que os objetivos da rastreabilidade sejam devidamente cumpridos,

permitindo uma simplificação na operacionalização das etapas de coleta, transmissão, armazenamento e acesso às informações relacionadas aos produtos e processos.

Dessa forma, surgem novos conceitos e denominações nesse sentido como a chamada Agricultura Inteligente ou o termo em inglês *Smart Agriculture*, que considera a utilização de tecnologias e sistemas de comunicação voltadas para o monitoramento, como Rede de Sensores sem Fio e tecnologia de Radiofrequência (AGUILAR, 2008; BADIA-MELIS, 2014; TIM-GIREL et al., 2006).

Este acompanhamento vai desde a produção agrícola, passando também pelo seu transporte, armazenamento, processamento e comercialização, ou seja, durante toda sua cadeia de suprimentos (*supply chain*) (KALOXYLOS et al., 2012; HAIDER et al., 2013; WEN-ZHAN et al., 2016).

Em se tratando da cadeia produtiva de alimentos, no caso do Brasil, há desafios logísticos, cujos problemas persistem há muito tempo, resultando em ineficiências em todas as etapas produtivas e de processamento.

Assim, o transporte de alimentos perecíveis tem sido um grande entrave para que, por exemplo, alimentos que são produzidos somente em algumas regiões do país considerando o caso do Brasil, cheguem com uma oferta a ponto de possuírem preços acessíveis a todas as camadas socioeconômicas. Por exemplo, o figo é produzido majoritariamente, em duas regiões brasileiras, sendo uma na região dos municípios de Valinhos e Vinhedo no estado de São Paulo e a outra na Serra Gaúcha no estado do Rio Grande do Sul (IBGE, 2018).

Dessa forma, a oferta desta fruta, em sua forma *in natura*, fica restrita somente às regiões próximas do local de produção, sendo que “os figos completamente maduros, principalmente quando amadurecem em períodos chuvosos ou úmidos, são facilmente deterioráveis. Assim sendo, devem ser colhidos tão logo atinjam o ponto de maturação comercial” (EMBRAPA, 2002).

O que se observa, é que quando um determinado produto perecível é transportado em um caminhão refrigerado, o sistema de refrigeração é configurado a fim de se manter a temperatura em um nível constante. Todavia, na prática, isto não ocorre quando é necessário realizar mais de uma entrega e devido ao fato de que a

abertura das portas acarreta a transferência de calor da parte externa para o interior do ambiente refrigerado.

Neste contexto, buscou-se neste trabalho, novas formas de controle do ambiente utilizado no transporte de alimentos perecíveis, a fim de se obter um modelo que otimize o processo de refrigeração durante o transporte, e que este sistema possa ser aplicável a diversos produtos transportados. Considerando a etapa de transporte, que é o foco deste projeto de pesquisa, ela lida com alimentos perecíveis, como frutas e hortaliças, e a cadeia do frio é preponderante no sentido de necessitar possuir elevados índices de eficiência.

Segundo Luyben (1998), há diversos tipos de controladores, como o Proporcional-Integral-Derivativo (PID) e suas variações, os controladores que utilizam a teoria de lógica *fuzzy*, além de outros controladores mais limitados como o do tipo liga-desliga (*on-off*) também denominado termostático.

Utilizando-se técnicas de controle como as citadas, os sistemas controlados passam a ter a capacidade de reagir às mudanças do ambiente, segundo variáveis de interesse, como a temperatura, uma das mais importantes na área de conservação de alimentos.

Desta forma, pretendeu-se estudar uma estratégia de pré-resfriamento como forma de atenuar o efeito da carga térmica que entra no compartimento refrigerado durante a aberturas das portas dos veículos de transporte. Também pretendeu-se simular o controle desta temperatura por meio do controlador PID aliado à estratégia de pré-resfriamento, visando a economia de energia e a eficiência energética do sistema.

Ademais, utilizou-se a teoria de controle e suas aplicações na área da agricultura e cadeia do frio durante a etapa de transporte de alimentos perecíveis. Esta integração de áreas foi auxiliada por meio das experiências desenvolvidas no Laboratório de Automação Agrícola (LAA) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, que possui um viés de interdisciplinaridade entre técnicas da área de automação e computação aliada às demandas para atender soluções de problemas de pesquisa agrícola. Pode-se destacar um dos primeiros trabalhos realizados que

possui esta característica interdisciplinar a pesquisa de mestrado do Prof. Dr. André Riyuti Hirakawa com a apresentação da dissertação intitulada "Sistema de Gerenciamento de Temperatura e Umidade para Ambientes Embarcados: Aplicação ao Transporte de Frutas" (HIRAKAWA, 1992).

1.2 Objetivos e Escopo de Pesquisa

1.2.1 Objetivos de Pesquisa

Indo ao encontro da interação da variável de temperatura com os processos de abertura e fechamento de portas, apresenta-se neste trabalho a proposta de um modelo de um sistema de conservação de alimentos baseado em Controle de Sistemas. Dessa forma, é possível obter a rastreabilidade desse processo, permitindo definir estratégias de operação dos sistemas de refrigeração adaptáveis ao contexto, isto é, a cada tipo de produto e condições ambientais (internas e externas) (LUYBEN, 1998).

O objetivo primário desta pesquisa visa propor um modelo de um sistema de controle das condições de conservação de alimentos perecíveis durante o transporte, a fim de se obter uma menor perda nos atributos de qualidade pós-colheita desses produtos.

Os objetivos secundários a serem alcançados são:

- Criação de um modelo que possibilite o sistema utilizar estes dados para atuar automaticamente segundo as condições do ambiente e de cada tipo produto;
- Criação de um modelo de simulação que possibilite que informações de diversos produtos agrícolas perecíveis sejam utilizadas a fim de se gerar recomendações sobre os tempos de abertura de porta, respeitando as particularidades de cada produto.

Buscou-se testar, neste trabalho, a seguinte hipótese:

- É possível a execução da estratégia de pré-resfriamento da temperatura em câmaras refrigeradas no transporte de produtos agrícolas perecíveis a fim de se prever tempos máximos de descarga destes produtos, ou seja, tempos máximos de abertura de porta?

1.3 Escopo da Pesquisa

O escopo desta pesquisa abrange a concepção de um modelo de um sistema de controle baseado na teoria de controle e utilizando controladores PID e simulações no software MATLAB.

Neste trabalho não foi considerada a variável de umidade e também a interação da temperatura interna da câmara de acordo com a variação de diversas temperaturas do ar externo da câmara quando as portas são abertas para descarregamento da carga. Isso ocorreu, conforme já descrito na metodologia principalmente devido ao fato de que no controle PID adotado para controlar a temperatura, incorre-se a necessidade de se controlar somente uma variável, sendo que o controle de mais de uma variável o comportamento do sistema começa a se tornar mais complexo. Assim, em um primeiro momento considerou-se apenas à variável temperatura, que apresenta maior influência na conservação dos produtos considerados.

1.4 Justificativas

O Brasil, carece de aplicação de tecnologias na área de agricultura e principalmente quando há a necessidade de conciliar técnicas da computação com problemas de pesquisa agrícola. Já em países desenvolvidos como os Estados Unidos, esta integração de áreas é mais frequente. Destaca-se que a contribuição para a engenharia de computação, por meio desta pesquisa, será a obtenção e de um modelo para conservação de alimentos perecíveis, sendo que este modelo descrito neste documento incorpora elementos em que poucos trabalhos associam, como a influência de variáveis do âmbito agrícola podem contribuir para a construção de um modelo amplo, que pode ser utilizado e aplicado para diversos produtos agrícolas, bastando analisar-se especificamente os dados de cada produto.

1.5 Organização do Trabalho

Este trabalho obedeceu à seguinte organização das seções:

Capítulo 1: Foi apresentada a Introdução da pesquisa, contendo dados e justificativas baseadas na literatura. Contém também os objetivos do trabalho, além do escopo e justificativas para a pesquisa.

Capítulo 2: Apresentada os aspectos da metodologia adotada e os requisitos necessários para a concepção do modelo. Detalhes sobre cada processo desenvolvido no trabalho estão contidos no interior das seções específicas.

Capítulo 3: Este capítulo apresenta uma revisão bibliométrica acerca dos temas dos cenários do escopo deste trabalho, como a Agricultura Inteligente, Internet das Coisas e a relação entre computação e agricultura.

Capítulo 4: Esta seção apresenta aspectos da cadeia do frio e suas limitações para o transporte de alimentos refrigerados por transporte rodoviário. Também foram descritas as normas vigentes no que concerne o transporte de produtos refrigerados no Brasil e no Estado de São Paulo. Tecnologias emergentes adotadas pela indústria atualmente na conservação de alimentos foram apresentadas bem como tópicos sobre eficiência energética e rastreabilidade de alimentos.

Capítulo 5: Neste capítulo procurou-se descrever e apresentar os conceitos da teoria de Controle de Sistemas relacionadas com as soluções propostas, especialmente o algoritmo PID adotado no controle da temperatura do modelo concebido.

Capítulo 6: Esta seção apresentou os resultados obtidos nesta pesquisa, desde a concepção do modelo e seus requisitos, passando pela apresentação dos resultados da simulação. Os cenários de abertura de porta e tempos adequados foram simulados, elaborando-se uma tabela com recomendações práticas a serem utilizadas por operadores do sistema de refrigeração do caminhão.

Capítulo 7: Este capítulo apresenta as Conclusões da pesquisa, avaliando os resultados e contribuições, bem como propostos trabalhos futuros a serem desenvolvidos como continuação das pesquisas deste trabalho.

2. METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia da pesquisa empregada, bem como o cronograma de atividades.

O trabalho visa propor uma de estratégia de controle de temperatura alternativa às empregadas comumente em produtos agrícolas perecíveis transportados por caminhões. Para tanto, pretendeu-se propor um modelo de conservação de alimentos baseado no pré-resfriamento dos produtos, e assim, foram levantados os elementos necessários e fundamentais para que o modelo pudesse ser estruturado e simulado.

Bazzo (2014) propôs um modelo que se inicia com a identificação do problema, e passa pelo levantamento das informações necessárias que servem de base para o seu desenho (Figura 1). Esse modelo foi adotado nesse trabalho devido às similaridades encontradas.

A simulação computacional também foi empregada por viabilizar a avaliação das soluções propostas de forma ágil e aderente à realidade associada. O software de simulação empregado foi o MATLAB, não apenas pelo seu fornecimento pela instituição, mas sobretudo pelas suas características técnicas e potencial de simulação fornecido. Este software já possui dentro dos pacotes disponíveis, a possibilidade de simulação de controle de temperatura por meio do algoritmo PID e também oferece o pacote Simulink que auxilia no desenho experimental da simulação.

Por fim, chega-se à etapa de obtenção dos resultados da simulação e avaliação se estes necessitam ser tratados para serem avaliados. Assim, a etapa de análise de cenários é preponderante a fim de se avaliar como a mudança de uma determinada variável interfere nos resultados. A Figura 1, apresenta, de forma resumida a proposta de Bazzo (2004) para a sequência a ser seguida na obtenção de resultados de pesquisa.

Figura 1 - Concepção de um modelo

Fonte: Bazzo (2014)

Adotando-se como base os elementos envolvidos na conservação de alimentos em uma câmara fria, pode-se conceber a proposta de tomada de decisão para mudanças de condições ambientais da câmara baseada em estratégias de controle, como o controlador PID.

Dentro do pacote computacional MATLAB® foi utilizado o Simulink, que possibilitou inserir dados específicos associados ao problema em questão, como faixas de temperatura, a fim de se construir um modelo de comportamento das variáveis inseridas. Os resultados foram comparados com dados de literatura, conforme citado ao longo desta tese.

No MATLAB® foram inseridas as regras das funções, tais como as que definem limites superiores e inferiores para as variáveis e as equações para definir o controle do sistema. De forma resumida, apresenta-se na Figura 2 o diagrama da metodologia adotada neste trabalho.

Figura 2 - Diagrama da metodologia seguida na pesquisa

Fonte: Elaborado pelo Autor

Os resultados foram avaliados de acordo com os dados obtidos pela simulação no MATLAB, que foram principalmente os tempos em que a porta deve permanecer aberta minimamente a fim de que a temperatura não se eleve acima do limite superior da temperatura de conservação. Além disso, o outro resultado relevante obtido também através da simulação executada no MATLAB foi a tabela prática em que é possível que o operador confira rapidamente o tempo em que a porta deverá permanecer aberta, ou seja, o tempo máximo em que os operadores da carga deverão realizar a operação de descarga, em meio a um entrega parcial da carga total.

Estes dados foram plotados em gráficos e tabelas a fim de se obter uma melhor visualização das informações obtidas das simulações.

3. REVISÃO BIBLIOMÉTRICA SOBRE INTERNET DAS COISAS E AGRICULTURA INTELIGENTE

Com o objetivo de se levantar informações referentes à produção acadêmica mundial, que inclui artigos em congressos, em periódicos, patentes e outros materiais, sobre o tema Internet das Coisas, Agricultura Inteligente (*Smart Agriculture*) bem como Computação relacionada à Agricultura, foi realizada uma pesquisa bibliográfica no decorrer das Disciplinas PCS 5712: Computação Pervasiva e PTC 5751: Internet das Coisas: Arquitetura, tecnologias habilitadoras e aplicações, que resultou na Revisão Bibliométrica sobre estes temas. Pretende-se divulgar e discutir os resultados desse levantamento por meio de um artigo a ser submetido ao periódico *Scientometrics*¹ (Qualis B1 da Capes, JCR = 2,173).

O número de usuários da Internet vem crescendo exponencialmente, devido ao surgimento de novas aplicações envolvendo smartphones e outros dispositivos móveis. Desde o início do século XXI, vive-se a chamada Terceira Era da Computação, ou o Terceiro Paradigma da Computação, no qual uma pessoa pode possuir muitos computadores (WEISER, 1991). Segundo a Computação Ubíqua, conceito criado pelo pesquisador americano Mark Weiser em 1991, o mundo iria vivenciar uma realidade de bilhões de dispositivos computacionais e uma das principais preocupações, seria a segurança e a privacidade dos dados (WEISER, 1993).

Nesse sentido, a Internet das Coisas amplia os horizontes da Computação Ubíqua, ou seja, considerando-se a conectividade de qualquer “coisa” em qualquer momento e em qualquer lugar (ITU REPORT, 2005; BOTTA et al., 2016; FUBING et al., 2012; GIUSTO, 2010). O termo de Internet das Coisas (do inglês Internet of Things - IoT) foi usado inicialmente por Kevin Ashton em uma apresentação feita em 1999 à Procter & Gamble, ligando a tecnologia de Identificação por Radiofrequência (*Radio-Frequency Identification* - RFID) usada na gestão de cadeias de suprimentos, à Internet (ASHTON, 2009; JAEHAK et al., 2016; JOACHIN e WALEWSKI, 2012).

¹ O link para o site do periódico **Scientometrics** está disponível em: < <https://link.springer.com/journal/11192>>.

A ideia básica da IoT é a presença generalizada de objetos (chamados de coisas), em torno das pessoas que, por meio de um esquema único de endereçamento, são capazes de interagir uns com os outros e cooperar com seus vizinhos, para alcançar objetivos comuns (GIUSTO et al., 2010). Segundo Soundmaeker (2010), a IoT abrangerá de 50 a 100 bilhões de dispositivos até 2020. Este cenário considera não apenas as comunicações máquina-à-máquina (*Machine-to-Machine* – M2M), mas também o número potencial de objetos interconectados que crescerá para 100 trilhões, neste mesmo período (STAFF, 2013).

O paradigma da IoT é caracterizado, em uma de suas formas, pela nomeação de todos os objetos que a ela se encontram ligados. Segundo Elkhodr (2013), essa nomeação de vários objetos levará à necessidade de intenso tráfego e transmissão de dados, sendo estas questões, atualmente, objetos de estudo, inclusive com aplicações na área da agricultura entre outras áreas correlatas (WAGNER, RAMIREZ e ZUCCHI, 2015; WEN-ZHAN et al., 2016).

Uma das linhas para a qual pesquisadores têm direcionado esforços é a aplicação de conceitos de IoT na área agrícola, no sentido de utilizar tecnologias como Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) e de RFID (ZHAO et al, 2011; SASIKUMAR, VIGNESH e NATHEEM, 2014). Esse cenário tem norteado os estudos, a uma conjuntura aplicada principalmente à rastreabilidade de alimentos considerando-se a temática de Segurança Alimentar (HIRAI, 2014).

Dessa forma, surgem as chamadas *Smart Farms*, também chamadas de fazendas inteligentes, nas quais o agricultor utiliza tecnologias como as citadas aliadas a outras, como a localização móvel e o acompanhamento e monitoramento de objetos em tempo real (KALOXYLOS et al., 2012; XINQING, 2015).

Análise bibliométrica é uma abordagem utilizada por muitos pesquisadores, como Hassan, Haddawy e Zhu (2014) e Dragos (2014), que se baseia na coleta e análise de dados de bases de pesquisa que agregam produção bibliográfica (HASSAN; HADDAWY; ZHU, 2014). O resultado destas informações permite ao pesquisador, muitas vezes, visualizar como um assunto de seu interesse se comporta em relação a outros, e quais países e pesquisadores estão produzindo conhecimento sobre o tema ao longo de uma determinada janela temporal.

Para a realização desta pesquisa, recorreu-se a softwares com algoritmos que, ao se importar metadados como título, palavra-chave e o conteúdo do resumo, agregam estas informações e as organizam em mapas, contendo *clusters* das informações coletadas.

Neste levantamento, utilizou-se como fonte de informação as bases de dados *Web of Science* e *Scopus*. O software *VOSViewer* foi utilizado para análise dos metadados de termos do título, palavras-chave e as palavras dos resumos dos duzentos artigos mais citados da base de dados *Web of Science*.

Esta pesquisa teve como objetivo inicial realizar um levantamento de informações, que por meio da revisão bibliométrica, tornaram mais claras as linhas de pesquisa que esta tese poderia seguir. Além disso, por meio desta metodologia, fica facilitada ao pesquisador a visualização de dados e também para qual sentido uma determinada linha de pesquisa está caminhando ao longo do tempo.

Além disso, as tecnologias consideradas habilitadoras da Internet das Coisas, como RFID e RSSF, poderão ser incorporadas nos desdobramentos deste trabalho por meio da execução de experimentos, a fim de se incrementar o modelo simulado e tornar o sistema mais robusto. No contexto da abordagem da agricultura inteligente e a utilização de tecnologias ao longo das cadeias de suprimentos agrícolas, tem-se um ponto de congruência entre este trabalho e a Internet das Coisas no que tange a possibilidade dos dados de monitoramento (temperatura) serem relacionados a uma plataforma ligada à internet, por exemplo

3.1 Pesquisa Bibliométrica na Base de Dados *Web of Science*

Seguindo o cenário e plano de fundo temático desta tese, seguiu-se uma estratégia de busca bibliométrica na qual foi introduzido na base de dados *Web of Science*, o termo *internet of things* e coletaram-se os metadados deste conjunto de artigos. Estes, por sua vez, foram importados para o software *VOSViewer*, do qual foi possível obter, segundo sua metodologia de análise e clusterização dos dados, o mapa apresentado na Figura 3, que representa uma espécie de “mapa de calor”, no qual fica clara a presença de um *cluster* contendo os termos “arquitetura” e “iot” (*Internet of Things*) em seu centro.

Figura 3 - Mapa do software VOSViewer sobre o termo “internet of things”

Fonte: Autor com base no Software VOSViewer

Ao seu redor, pode-se observar os termos correlacionados “*ubiquitous computing*”, “*real world*”, “*computing*”, “*sensor*”, “*object*” e “*requirement*”. Dessa forma, pode-se concluir que o principal *cluster* formado neste mapa relaciona o termo “*internet of things*” com outros que se relacionam à computação e, principalmente, no que se refere à arquitetura dos sistemas (UDDENFELDT, 2008).

A proximidade entre termos indica maior ou menor correlação, e as cores indicam maior ou menor número de citações destes termos coletados da amostra dos metadados. A cor vermelha indica um maior número de citações e a cor verde um menor número. Já a cor amarela indica um número intermediário de citações destes termos nos artigos coletados. Em relação aos outros termos distribuídos, como obtiveram cores mais relacionadas ao amarelo e verde indicam um maior distanciamento semântico em relação ao termo “*internet of things*”, sendo o *cluster* analisado o de maior relevância.

Seguindo a pesquisa bibliométrica, ainda na base *Web of Science*, realizou-se um relatório de citações sobre o termo “*internet of things*”. Foram gerados 9.929 resultados entre artigos e patentes entre os anos de 2012 até janeiro de 2016. Não possível realizar a seleção de anos anteriores a 2012 devido ao fato de que o número de item publicados excederia 10.000, valor acima do qual não fica disponibilizado o relatório de citações desta base de dados.

Nota-se, na Figura 4, principalmente, desde 2012, que o número de artigos publicados por ano tem crescido a elevadas taxas anuais, chegando em 2015 com mais de 3.000 artigos e patentes publicadas contendo este termo entre as palavras do título, palavras-chave e resumo.

Figura 4 - Número de itens publicados relacionado ao termo “internet of things” no período de 2012 a janeiro de 2016

Fonte: Autor com base em *Web of Science* (2016)

Atualizando estes dados para o que se publicou até 2018, totalizando 22.015 itens entre 2012 a 2018, em uma nova interface, o *Web of Science* apresentou os seguintes resultados, representados na Figura 5. Os dados atualizados de itens publicados demonstram que a tendência de crescimento em pesquisa relacionadas à Internet das Coisas.

Figura 5 - Número de itens publicados relacionado ao termo “internet of things” no período de 2012 a julho de 2018

Fonte: Autor com base em *Web of Science* (2018)

No mesmo sentido, foi realizada a mesma busca, Figura 6, com o termo *smart agriculture*"; todavia pode ser selecionado o período desde o ano de 1997, devido ao fato de que o número total de artigos e patentes publicados neste período não excedeu o valor de 10.000 itens. Seguindo a mesma tendência da análise anterior, este termo tem estado cada vez mais presente nos artigos publicados e, da mesma forma, citados em outras pesquisas. Assim, pode-se concluir que há uma tendência de crescimento da importância desta temática nos próximos anos, caso este cenário se mantenha.

Figura 6 - Número de itens publicados relacionado ao termo “smart agriculture” no período de 1997 a janeiro de 2016

Fonte: Autor com base em *Web of Science* (2016)

3.2 Pesquisa Bibliométrica na Base de Dados *Scopus*

A Figura 7 contém dados coletados da base *Scopus*. Novamente o termo “*internet of things*” foi inserido no campo de busca desta base e foram obtidos 11.071 resultados envolvendo artigos e patentes entre os anos de 2007 e 2015. O resultado gerado foi a quantificação da produção bibliográfica dos 10 países que mais publicaram artigos e patentes contendo o termo “*internet of things*” nos campos de título, palavras-chave e resumo.

Figura 7 – Classificação da produção bibliográfica dos 10 países, a exceção do Brasil que possui a 20ª posição, que mais publicaram artigos e patentes contendo o termo “internet of things”

Fonte: Autor com base em Scopus (2016)

Nota-se que a China segue líder isolada em publicações referentes a este tema com cerca de 3.758 publicações considerando esta janela de tempo. Em segundo lugar, os Estados Unidos vêm com uma contribuição de um pouco mais de 1.240 artigos, ou seja, 33% da produção da China. Muito embora, a qualidade dos artigos publicados pelos países listados possa ser um fator importante, há uma clara constatação da importância que a China e Estados Unidos possuem no que refere à Internet das Coisas.

Do terceiro ao sétimo lugar, aparecem, na sequência, Alemanha, Reino Unido, Itália, Espanha e Coreia do Sul. Ao final seguem Índia, França e Taiwan. Uma constatação verificada neste levantamento foi que se forem somados todos os valores dos seis primeiros colocados, exceto a China, essa totalização fica abaixo do total obtido pela China. O Brasil, no entanto, aparece na vigésima posição com cerca de 123 itens publicados no período considerado. E mesmo ocupando uma posição que não é de destaque, ele se mantém à frente dos países na América Latina, seguidos por México, Colômbia, Argentina, Chile Uruguai, Equador, Jamaica, Costa Rica e Peru, conforme pode ser observado na Figura 8.

Figura 8 - Classificação da produção bibliográfica dos 10 países da América Latina que mais publicaram artigos e patentes contendo o termo “internet of things”

Fonte: Autor com base em Scopus (2016)

Além disso, verificou-se que do total de artigos considerados neste levantamento, 60,6% foram publicados na modalidade de conferência, seguido de artigos publicados em periódicos com 29,2%. O restante das modalidades abrange revisões em conferência, revisões e capítulos de livros. Com relação à área dos itens publicados, notou-se que a maior parte se refere à Ciência da Computação com 64,7% do total de itens, seguido da área de Engenharia com 40,9%, Matemática, 9,9%, Ciências Sociais com 7,0%, Administração e Negócios com 4,2%, sendo que o restante obteve valores menores do que 4,0%.

Dessa forma, observa-se uma concentração de itens publicados nesta base relacionando o termo de “Internet das Coisas” principalmente com Ciências da Computação e Engenharia, o que naturalmente é esperado, dada sua base de conhecimento e principais aplicações.

Por último, apresenta-se uma comparação de dois cenários de anos não muito distantes entre si (2015 e 2017) em relação à temática de Internet das Coisas. Considerando esta análise bibliométrica sobre Internet das Coisas, apresenta-se um gráfico na Figura 9, que trata da Curva de Gartner (2015) sobre o ciclo das tecnologias

emergentes. Este estudo relaciona a Internet das Coisas com perspectivas positivas da Comunicação *Machine-to-Machine* (M2M) e as Redes de Sensores Sem Fio, de forma que facilitem e apoiem a relação entre homem e máquina.

Figura 9 - Curva de Gartner de tecnologias emergentes no ano de 2015

Fonte: Adaptado de Gartner (2015)

Em 2015, a Internet das Coisas encontrava-se em uma esfera na qual concentrava tecnologias habilitadoras como *deep learning*, *cognitive computing* e *blockchain*, estes termos já presentes na Figura 10, na qual o cenário já é o período de julho de 2017. Cabe destacar que em 2015, na curva da Figura 9, verifica-se que a Internet das Coisas (apontada pela flecha vermelha) encontra-se na fase do pico de expectativa do setor de tecnologia para desenvolvimento. No entanto, é classificada como sendo que vai obter sua plenitude de consolidação para daqui a mais de 10 anos, a partir de 2015.

Já em 2017, o termo “internet of things” não se encontra mais na lista de tecnologias emergentes, sendo que parte deste fato é devido ao que muitos pesquisadores da área já consideravam que a internet das coisas não é propriamente uma tecnologia, mas sim um conceito que agrega um conjunto de tecnologias

habilitadoras que se destacam nas flechas indicadas na Figura 10 após o pico da curva.

Figura 10 - Curva de Gartner de tecnologias emergentes em julho de 2017

Fonte: Adaptado de Gartner (2018)

Nesta curva, as etapas pelas quais as tecnologias irão passar até chegar a sua consolidação são “vale da desilusão”, no qual tecnologias que não são sólidas tendem a desaparecer. Seguindo, há a etapa de “ascensão”, caso tenha sobrevivido à etapa anterior, até chegar a “platô de produtividade”, que é a etapa na qual as tecnologias obtêm maturidade e consolidação, chegando efetivamente ao mercado consumidor de forma ampla.

3.3 Pesquisa Bibliométrica sobre Controle de Sistemas e Agricultura

Tornando este estudo bibliométrico mais específico para o tema central desta tese, realizou-se o levantamento dos termos (“*computers*” e “*agriculture*”) em inglês, desta vez unicamente da base de dados *Web of Science*. A busca selecionou o período de 2008 a 2018 sendo encontrados 956 documentos, entre eles, artigos em periódicos, artigos em conferências, livros, patentes, entre outros materiais acadêmicos.

No período pesquisado, notou-se uma clara evolução das pesquisas publicadas nas áreas consideradas, com uma oscilação negativa nos anos de 2014 e 2016 que, entretanto, não se manteve nos anos seguintes, seguindo uma tendência de crescimento (Figura 11). Com destaque, no ano de 2017 relacionaram-se 128 publicações, sendo este ano o que possuiu o maior número de itens publicados de todo o período.

Figura 11 - Número de documentos publicados entre 2008 a 2018

Fonte: Autor com base em *Web of Science* (2018)

A Figura 12 apresenta os desempenhos dos artigos relacionados às citações, considerando o “h-index”. O valor obtido foi de 37, sendo a média de citações por item igual 5,81, o que demonstra que, em geral, estes artigos possuem relevância na esfera acadêmica internacional na área. Houve também 5.555 citações destes documentos, sendo 5.399 sem autocitações.

Uma observação sobre esses índices e valores são explicados a seguir, segundo o *Web of Science* (2018).

- **h-index:** é baseado em uma lista de publicações classificadas em ordem decrescente pela contagem do número de citações. O índice "h" significa que existem "h" artigos em que cada um foi citado pelo menos "h" vezes. O h-index é baseado na abrangência dos anos da pesquisa selecionada. Os itens fonte que não fazem parte do período pesquisado não são fatorados no cálculo.

- **Média de citações**: é o número médio de artigos que fizeram a citação para todos os itens no conjunto de resultados. Essa é a soma da contagem do número de citações dividida pelo número de resultados no conjunto.

Figura 12 - Relatório de citações a partir dos termos pesquisados

Fonte: Autor com base em *Web of Science* (2018)

Seguindo a mesma tendência de oscilação positiva, o número de citações por ano referente a esta pesquisa seguiu em crescimento desde o início do período pesquisado 2008 (Figura 13). Até julho de 2018 o desempenho foi semelhante ao total do valor de 2016, sendo que em 2017, atingiu-se o maior valor do período, com 1.327 citações.

Figura 13 - Número de citações por ano

Fonte: Autor com base em *Web of Science* (2018)

Esta pesquisa bibliométrica também contemplou a apresentação das categorias dos temas relacionados aos itens publicados, segundo os termos pesquisados. O resultado está presente na Figura 14, na qual estes dados estão representados em um gráfico de árvore que possui o número de itens publicados, e abaixo deste número, a categoria correspondente. Analisando-se as categorias, as com maiores índices são “Computer Science Interdisciplinary Applications”, seguido de “Agriculture Multidisciplinary” e “Engineering Electrical Electronic”, este atingindo valor aproximado de quase 47% do total de itens publicados.

Nota-se que destas três grandes categorias há uma presença considerável de assuntos multi e interdisciplinares, o que reforça o que já foi discutido no item “Introdução” desta pesquisa. Há estreita relação entre ciência da computação e aplicações na área agrícola quando se trata de problemas de pesquisa como o abordado nesta tese. Além disso, destaca-se que estas áreas integradas contribuem para o desenvolvimento e solução de problemas de pesquisa específicos.

Figura 14 - Gráfico de árvore das categorias do Web of Science sobre assuntos relacionados aos termos “computers” e “agriculture”

Fonte: Autor com base em *Web of Science* (2018)

Em relação ao tipo de documento publicado (Figura 15), nota-se uma predominância de artigos publicados em periódicos indexados a esta base de dados, bem como artigos publicados em conferências e congressos internacionais. Neste caso, o item de artigos apresentou-se com o maior número de itens publicados: 476.

Este cenário, entretanto, é considerado incomum em relação a outras áreas, nas quais o maior número de itens publicados é relacionado à conferências e congressos internacionais.

Figura 15 - Número de itens publicados por tipo de documento

Fonte: Autor com base em *Web of Science* (2018)

As organizações que publicaram itens relacionados aos temas selecionados nesta pesquisa estão listadas no Quadro 2. Observa-se que nas primeiras colocações há a presença preponderante de instituições dos Estados Unidos, como o *United States Department of Agriculture* (USDA), *State University System of Florida* e *University of Florida*. Em segundo lugar destaca-se a presença da instituição chinesa *China Agriculture University*, que é considerada uma das maiores e melhores universidades em ciências agrárias do mundo.

Quadro 2 - Lista de instituições que mais publicam sobre assuntos relacionados aos termos “computers” e “agriculture

Campo: Organizações - Aprimorada	Contagem do registro	% de 956
UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE USDA	37	3.870 %
CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY	20	2.092 %
STATE UNIVERSITY SYSTEM OF FLORIDA	20	2.092 %
UNIVERSITY OF FLORIDA	19	1.987 %
LATVIA UNIVERSITY OF LIFE SCIENCES TECHNOLOGIES	16	1.674 %
UNIVERSITY OF CALIFORNIA SYSTEM	16	1.674 %
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS CSIC	14	1.464 %
INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY SYSTEM IIT SYSTEM	13	1.360 %
INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE INRA	12	1.255 %
COMPLUTENSE UNIVERSITY OF MADRID	11	1.151 %
INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY IIT KHARAGPUR	11	1.151 %
JIANGSU UNIVERSITY	11	1.151 %
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CARTAGENA	10	1.046 %
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES	9	0.941 %
WAGENINGEN UNIVERSITY RESEARCH	9	0.941 %

Fonte: Autor com base em *Web of Science* (2018)

Ademais, este estudo realizou um levantamento dos autores que mais publicaram no período, com itens relacionados aos assuntos pesquisados, listados no Quadro 3. Os dois primeiros autores que são listados, que juntos somam 19 artigos publicados, são da Espanha, sendo que Pajares, G. é afiliado à Universidade Complutense de Madrid, e Ribeiro, A. é filiada à Universidade Politécnica de Madrid. Já o terceiro autor listado, Cao, ZG. é afiliado à instituição chinesa Huazhong University Science & Technology.

Quadro 3 - Lista dos autores com maior número de publicações sobre assuntos relacionados aos termos “computers” e “agriculture”

Campo: Autores	Contagem do registro	% de 956
PAJARES G	10	1.046 %
RIBEIRO A	9	0.941 %
CAO ZG	8	0.837 %
MOLINA HP	8	0.837 %
OSORIO CR	8	0.837 %
SANCHEZ RA	8	0.837 %
BURGOS-ARTIZZU XP	7	0.732 %
MOLINA-MARTINEZ JM	7	0.732 %
SINGH A	7	0.732 %
XIAO Y	7	0.732 %

Fonte: Autor com base em *Web of Science* (2018)

Somado a estas informações anteriores, este estudo contemplou também o levantamento das fontes que publicaram os itens pesquisados nesta busca. Na Figura 16 encontra-se o gráfico de árvore no qual é possível observar que o periódico **Computers and Electronics in Agriculture** (0168-1699) concentra grande parte os itens publicados, quase 5% do total, liderando a lista. Em seguida tem-se a **SPIE (International Society for Optics and Photonics)**, que é uma sociedade internacional com escritórios nos Estados Unidos e Europa. Empatado na segunda colocação com 17 itens publicados, encontra-se o periódico **Sensors** (1424-8220), que costumeiramente publica artigos contemplando a integração de áreas da computação com aplicações na área agrícola.

Figura 16 - Periódicos e número de publicações sobre assuntos relacionados aos termos “computers” e “agriculture”

Fonte: Autor com base em *Web of Science* (2018)

Em seguida pode-se observar em uma mesma análise, apresentada na Figura 17 e no Quadro 4, o número de publicações por país e o idioma no qual os itens foram publicados. Os Estados Unidos lideram a lista com 185 itens publicados, seguido de perto pela China com 171 itens. O destaque destas figuras é que o Brasil é listado em sexto lugar entre os países que mais publicam itens com a temática relacionada a este estudo bibliométrico.

Figura 17 - Número de publicações por país sobre assuntos relacionados aos termos “computers” e “agriculture”

Fonte: Autor com base em *Web of Science* (2018)

Já os idiomas das publicações seguem a ordem do inglês em predominância, seguida do espanhol e em terceiro o português. A princípio este é um dado positivo para o Brasil; entretanto, pode-se realizar uma análise crítica de que neste país ainda se publicam muitos artigos em português.

Quadro 4 - Idiomas das publicações sobre assuntos relacionados aos termos “computers” e “agriculture”

Campo: Idiomas	Contagem do registro	% de 956
ENGLISH	918	96.025 %
SPANISH	13	1.360 %
PORTUGUESE	12	1.255 %
CHINESE	3	0.314 %
TURKISH	3	0.314 %
CZECH	1	0.105 %
HUNGARIAN	1	0.105 %
ITALIAN	1	0.105 %
KOREAN	1	0.105 %
LATVIAN	1	0.105 %

Fonte: Autor com base em *Web of Science* (2018)

Dentre as instituições brasileiras contidas dentro do universo de 31 itens publicados, realizou-se uma pesquisa mais aprofundada, a fim de se analisar quais são as instituições brasileiras que publicam itens relacionados à computação e agricultura. O resultado desta busca foi possível a partir de uma análise na própria base de dados da *Web of Science* em julho de 2018 e que se encontra apresentada no Quadro 5. Empatados nas primeiras duas colocações, estão as Universidade Federal de Viçosa (UFV) e a Universidade de São Paulo (USP) cada uma com 16% dos itens publicados no período considerado.

Quadro 5 - Instituições brasileiras que publicaram itens sobre assuntos relacionados aos termos “computers” e “agriculture”

Campo: Organizações	% de 31
UNIV FED VICOSA	16.129 %
UNIV SAO PAULO	16.129 %
EMBRAPA MILHO SORGO	6.452 %
FED AGCY NAT CONSERVAT	6.452 %
UFRPE	6.452 %
UNIV FED UBERLANDIA	6.452 %
UNIV TECNOL FED PARANA	6.452 %

Fonte: Autor com base em *Web of Science* (2018)

Considerando a base de dados do *Web of Science*, foi realizada uma pesquisa sobre quais são as grandes áreas em que os itens foram publicados (Figura 18). A grande área que aparece na primeira colocação de itens publicados no período é a **Ciência da Computação**, com 299 itens, seguido da **Agricultura**, com 286 itens, e em terceiro a **Engenharia**, com 215 itens. Exemplos de trabalhos que correlacionam estas áreas são as pesquisas de Ilie-Zudor (2011), Crosse (2013) e Santos et al. (2014).

Figura 18 - Áreas de pesquisa e respectivos números de publicações sobre assuntos relacionados aos termos “computers” e “agriculture”

Fonte: Autor com base em *Web of Science* (2018)

Por fim, da mesma forma que foram levantadas as instituições brasileiras que publicaram os itens, realizou-se o levantamento das instituições de ensino e pesquisa que mais publicaram itens no mundo no período considerado (Quadro 6). Em primeiro lugar encontra-se a instituição chinesa China Agricultural University, seguida da University of Florida dos Estados Unidos.

Quadro 6 - Lista do número de publicações por instituição de pesquisa no mundo sobre assuntos relacionados aos termos “computers” e “agriculture”

Organizações	Contagem do registro	% de 956
CHINA AGR UNIV	20	2,092%
UNIV FLORIDA	19	1,987%
LATVIA UNIV AGR	15	1,569%
INDIAN INST TECHNOL	12	1,255%
USDA ARS	12	1,255%
ARS	11	1,151%
JIANGSU UNIV	11	1,151%
CHINESE ACAD SCI	9	0,941 %
HUAZHONG UNIV SCI TECHNOL	8	0,837 %
INRA	7	0,732 %
MICHIGAN STATE UNIV	7	0,732 %
TEXAS A M UNIV	7	0,732 %
UNIV CALIF DAVIS	7	0,732 %
AARHUS UNIV	6	0,628 %
CSIC	6	0,628 %
ISLAMIC AZAD UNIV	6	0,628 %
QUEENSLAND UNIV TECHNOL	6	0,628 %
UNIV HOHENHEIM	6	0,628 %
UNIV MINNESOTA	6	0,628 %
UNIV MISSOURI	6	0,628 %
UNIV MURCIA	6	0,628 %
UNIV TENNESSEE	6	0,628 %
USDA	6	0,628 %
ZHEJIANG UNIV	6	0,628 %
CZECH UNIV LIFE SCI PRAGUE	5	0,523 %

Fonte: Autor com base em *Web of Science* (2018)

3.4 Conclusões sobre a Revisão Bibliométrica realizada

Pode-se verificar, neste capítulo, que o levantamento e pesquisa bibliométrica é uma ferramenta que pode ser mais explorada pelos pesquisadores, a fim de se verificar tendências de pesquisa para um determinado objeto de estudo, bem como quais são os principais atores em se tratando de itens publicados, considerando os países que mais realizam pesquisa sobre um determinado tema.

Ademais, o levantamento bibliométrico permite ao pesquisador visualizar de forma ampla e selecionada, os itens publicados em suas linhas de pesquisa, e de que forma estas áreas se comportam ao longo do tempo.

4. CADEIA DO FRIO E CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS

Esta seção se baseou em artigos publicados pelo autor no periódico *Agroanalysis* conforme os trabalhos:

KAWANO, B. R.; SILVA, R. F.; MORES, G. V.; CUGNASCA, C. E. Tecnologias para a conservação pós-colheita. **Agroanalysis (FGV)**, v. 1, p. 29, 2016.

KAWANO, B. R.; MORES, G. V.; SILVA, R. F.; CUGNASCA, C. E. Indústria de laticínios - eficiência energética é a chave da competitividade. **Agroanalysis (FGV)**, v. 33, p. 20, 2013.

4.1 Cadeia do Frio no transporte de alimentos

A Cadeia do Frio é preponderante na manutenção da qualidade dos alimentos, principalmente os alimentos considerados de alta perecibilidade. Segundo Coelho (2012) há a divisão dos alimentos em (i) não perecíveis ou estáveis, (ii) pouco perecíveis, e (iii) perecíveis.

Os alimentos não perecíveis não se degradam por um período longo se forem armazenados de forma ideal, por exemplo, feijão, arroz e farinha. Alimentos pouco perecíveis são aqueles que se mantêm em boas condições caso sejam conservados e manuseados de forma correta, como batata e cebola. Já alimentos perecíveis são os que se degradam rapidamente caso não sejam submetidos a algum método de conservação, como carnes, a maior parte de frutas, algumas hortaliças e ovos.

Neste sentido, a variável temperatura é importante na conservação de alimentos. A temperatura de alimentos resfriados ou congelados é controlada ao longo da maioria das cadeias de suprimento, por meio dos sistemas de refrigeração. Para evitar o crescimento de patógenos veiculados por alimentos, a maioria das frutas, verduras, frutos do mar, carnes e produtos lácteos precisam ser refrigerados ou congelados em todas as etapas da cadeia, da produção ao consumo (MERCIER et al. 2017).

Alguns autores descrevem a Cadeia do Frio:

- Badia-Melis et al. (2018): trata-se de uma série de processos e procedimentos interdependentes, empregados para garantir a preservação da temperatura de perecíveis e outros produtos similares de maneira segura, saudável e segura, desde a produção até o consumo.
- Hsiao e Huang (2016): trata-se da cadeia alimentar que exige rastreabilidade logística e também rastreabilidade qualitativa, pois os alimentos são perecíveis e muito sensíveis às condições ambientais, como temperatura, umidade e luz.
- Mercier et al. (2018): trata-se de uma série de operações de refrigeração usadas para manter os alimentos na temperatura exigida, sendo a temperatura o principal fator que afeta a segurança e a qualidade.

A Figura 19 apresenta dados das fontes de perdas pós-colheita, ou seja, as perdas de alimentos, frutas e hortaliças que são perdidas e desperdiçadas em cada etapa. A etapa de manuseio e transporte foi a que apresentou maior perda (50%), seguida da comercialização (30%), e com 10% as perdas ocorridas no campo e varejo/consumidor final. Dessa forma, ressalta-se que a etapa de transporte necessita de maior atenção em relação a estratégias e tecnologias que nela poderiam ser empregadas, a fim de que esse valor se reduza.

Figura 19 - Fontes de perdas pós-colheita nas cadeias de frutas e hortaliças

Fonte: Adaptado de SOARES (2009)

Considerando a etapa de transporte e sua relevância no quesito de perdas pós-colheita, lista-se no Quadro 7 informações acerca da necessidade de refrigeração e suas características para o destino final nos diferentes mercados, interno e externo. Destaca-se que, para curtas distâncias, a refrigeração não é utilizada de forma ampla no Brasil, sendo ela mais utilizada quando o produto é destinado ao mercado externo e no transporte a longa distâncias. Quando estes produtos são destinados à exportação, geralmente necessitam possuir alguma certificação e ser submetido a um processo de rastreabilidade, a fim de se manter um controle de qualidade ao longo de toda a cadeia.

Neste sentido, no contexto do transporte de produtos agrícolas perecíveis por meio do modal rodoviário, apresentam-se a seguir algumas ilustrações que auxiliam a justificar o modelo proposto por este trabalho. Nas Figura 20, 21 e 22 verifica-se o transporte de produtos agrícolas perecíveis em caminhão com carroceria aberta e sem refrigeração, processo comumente praticado no Brasil.

Pode-se visualizar, especificamente na Figura 20 um processo comum em transporte de cargas, que é o transbordo de carga de um caminhão de maior para um de menor porte, geralmente a fim de se evitar custos de armazenamento, sendo que o produto é transferido de uma composição para outra em carroceria aberta e sem refrigeração, de modo que a carga fica comprometida nos quesitos de qualidade.

O meio de transporte ideal para cargas agrícolas perecíveis são caminhões ou baús refrigerados que auxiliam na manutenção da temperatura e condições ideais de conservação reduzindo as perdas ao longo da cadeia de suprimentos. As Figura 23, 24 e 25 apresentam modelos de caminhão com câmara de refrigeração para o transporte de produtos que necessitam de controle de temperatura e também umidade (ABAKAROV e NUÑEZ, 2013; CRUZ et al., 2014; HAFLIOASON, 2012).

Alguns caminhões possuem uma porta lateral para que haja o descarregamento mais ágil de cargas pequenas em entregas durante o percurso total, o que auxilia na manutenção das condições de conservação.

Quadro 7 - Descrição de características sobre transporte refrigerado de frutas e hortaliças

Fruta/Hortaliça	TIPOS DE ACONDICIONAMENTO NA DISTRIBUIÇÃO	
	MERCADO DOMÉSTICO TRANSPORTE: CAMINHÃO	MERCADO EXTERNO TRANSPORTE: NAVIO E/OU AVIÃO
Banana	Dentro do Brasil, a banana é transportada em caminhões de carga seca (não refrigerada) ou baú térmico sem refrigeração.	Para exportação na América Latina, a fruta é enviada em contêineres com umidade relativa de 95-100%, a 14-15°C. Para a Europa, a temperatura é de 13°C por conta da maior distância até o destino final.
Batata	Raramente é usado transporte refrigerado para a batata dentro do País. No entanto, há relatos da utilização de caminhões refrigerados no envio para longas distâncias e para locais com temperatura elevada, como Mato Grosso e até Manaus (AM), por exemplo, onde a vida útil da batata seria reduzida pelo calor.	Houve raros relatos de importação ou exportação refrigerada para o Uruguai e Argentina.
Cebola	No mercado interno, a cebola é transportada quase que integralmente em carga seca.	As importações argentinas de cebola são quase 100% em carga seca. O único caso de refrigeração, apesar de pouco volume, é para as importações de cebolas holandesas e espanholas.
Cenoura	O uso do transporte refrigerado para a cenoura mercado doméstico é raro. Geralmente, produtores que armazenam a hortaliça em câmaras, transportam em lona térmica até o comprador.	Observa-se transporte refrigerado somente para as minis cenouras embaladas importadas dos Estados Unidos – pequeno volume. Elas chegam refrigeradas ao Brasil e são mantidas no frio nos pontos de venda.
Manga	O uso de refrigeração no comércio brasileiro de manga é mais comum para as longas distâncias.	O transporte marítimo é feito em contêineres refrigerados, visto que a fruta não suportaria o longo tempo de viagem em carga seca.
Melão	Dentro do País é utilizada a cadeia do frio no setor de melão para grandes distâncias, como do Nordeste para Sul/Sudeste, por exemplo.	O transporte marítimo é feito em contêineres refrigerados.
Tomate	Raramente é usado o transporte refrigerado para o tomate. No entanto, quando produtores de Caçador (SC) veem oportunidade de enviar o tomate para o Nordeste (longa distância), a carga deve ser feita sob refrigeração para que a qualidade não seja comprometida.	A exportação do tomate é raríssima. Houve casos em meados de 2010, quando lavouras na Argentina apresentaram quebra de safra por conta das geadas. Os tomates foram, então, enviados em caminhões refrigerados.
Limão	Apesar do uso das câmaras para armazenamento, o transporte mais comum de lima ácida tahiti é o seco (não frigorificado).	Via navio, o transporte é feito em contêiner refrigerado para longas distâncias (15 dias). Já em transporte aéreo é em carga seca por ser viagem curta (de 1 a 2 dias) e por utilizar cera na fruta.
Mamão	As médias e grandes empresas do setor e, especialmente a longas distâncias, utilizam caminhões refrigerados para o transporte de mamão.	Quase 100% do transporte é via aérea em contêiner refrigerado.
Uva	Os caminhões refrigerados são mais comuns para as uvas produzidas no Vale São Francisco, cujos destinos são as regiões Sul e Sudeste.	O transporte marítimo é realizado em contêineres refrigerados.

Fonte: Adaptado de Mello, Julião e Tapetti, (2011)

Figura 20 - Transposição de carga de um caminhão maior para outro de menor capacidade

Fonte: Thecityfixbrasil (2017)

Figura 21 - Descarga de bananas em posto de distribuição

Fonte: FixBrasil (2017)

Figura 22 - Descarga de bananas em posto de distribuição

Fonte: NDC (2017)

Figura 23 - Câmara de refrigeração de caminhão

Fonte: Zanotti (2017)

Figura 24 - Caminhão com carroceria refrigerada

Fonte: Tarefrigeração (2018)

Figura 25 - Detalhe da porta lateral de caminhão com carroceria refrigerada

Fonte: Tarefrigeração (2018)

Alguns caminhões possuem dentro de uma mesma unidade de câmara, dois compartimentos sendo um para se manter alimentos congelados e outro para os alimentos serem mantidos apenas refrigerados. Um exemplo deste modelo é representado na Figura 26.

Figura 26 - Câmara refrigerada de caminhão no transporte

Fonte: Adaptado de ANEILA (2015)

Quando há a carga e a descarga de produtos em um caminhão refrigerado, nota-se que estas etapas são pontos críticos para a manutenção da

temperatura do sistema refrigerado bem como para a sua qualidade (JURAN; GODOFREY, 1999; LIN; NEGENBORN; LODEWIJKS, 2015; MORETTI, 2003).

No cenário em que um caminhão necessita realizar várias entregas ao longo de um percurso, o que é comumente encontrado no Brasil, as aberturas de porta são frequentes, o que acarreta em uma maior deterioração dos produtos ficando estes submetidos à proliferação de microrganismos, sendo alguns deles causadores de infecções e intoxicações em seres humanos. Nas Figuras 27, 28 e 29, estas etapas são ilustradas.

Figura 27 - Descarregamento de carga de frutas

Fonte: ISTOCK (2018)

Figura 28 - Momento em que caminhão refrigerado se encontra com a porta aberta e fica suscetível à entrada de calor na câmara.

Fonte: Adaptado de BWS (2017)

Figura 29 - Descarregamento de carga refrigerada

Fonte: Autor

Quando as temperaturas ficam abaixo da mínima desejada na conservação de alimentos, também há prejuízos ao alimento e alguns deles são descritos no Quadro 8 (PÉREZ-COELLO, 2003; PRENTICE; MCLACHLIN, 2008; PRESA-OWENS; NOBLE, 1997). Este problema também foi abordado na simulação presente no Capítulo 7, em que se modelou o sistema para a simulação para que a temperatura não se reduza a um valor abaixo da mínima prevista recomendada.

Quadro 8 - Sintomas dos danos causados pelo frio com valores da temperatura abaixo da mínima recomenda

Produto	Temperatura mínima sujeito a danos	Sintoma
Abacate	7,0	Polpa de cor marrom-acinzentada
Banana	13,0	Casca sem brilho, amadurecimento deficiente
Laranja	3,0	Pequenas depressões na casca, manchas escuras
Limão	13,0	Pequenas depressões na casca
Maçã	3,0	Escurecimento interno, secagem, amolecimento da parte externa
Mamão	7,0	Pequenas depressões na casca e deficiência no amadurecimento
Manga	12,0	Descoloração da casca e amadurecimento

Fonte: Adaptado de USDA

Um detalhe sobre o armazenamento refrigerado de frutas e hortaliças é que devido às particularidades fisiológicas de cada produto, estes, para serem armazenados por semanas em câmaras de armazenamento devem respeitar alguns critérios (SIMANOVA; GEJDOS, 2015; SIMS e MORRIS, 1984; WALTER, 2010).

Estes critérios se baseiam nas taxas de respiração, liberação e gás etileno de cada alimento e, principalmente, as faixas ideais de temperatura de conservação de cada produto (WAKELAND; CHOLETTE; VENKAT, 2012; ZHOU, 2015; ZOU, 2013). Dessa forma, concebeu-se uma tabela de compatibilidade de produtos para serem armazenados, Quadro 9. Este quadro pode ser utilizado também para o transporte refrigerado destes produtos.

Quadro 9 - Tabela de compatibilidade de produtos para armazenagem

	Maçã	Abacate	Banana	Uva	Uva	Kiwi	Limão	Melão	Laranja	Pêssego	Pera	Batata	Abacaxi	Ameixa	Tomate Verde	Vegetais
Maçã	-	😊	😞	😊	😊	😞	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Abacate	😊	-	😊	😊	😊	😞	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Banana	😞	😊	-	😊	😊	😞	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😞	😊
Uva	😊	😊	😊	-	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Uva	😊	😊	😊	😊	-	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Kiwi	😞	😞	😞	😊	😊	-	😊	😞	😞	😞	😞	😊	😊	😞	😊	😊
Limão	😊	😊	😊	😊	😊	😊	-	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Melão	😊	😊	😊	😊	😊	😞	😊	-	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Laranja	😊	😊	😊	😊	😊	😞	😊	😊	-	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Pêssego	😊	😊	😊	😊	😊	😞	😊	😊	😊	-	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Pera	😊	😊	😞	😊	😊	😞	😊	😊	😊	😊	-	😊	😊	😊	😊	😊
Batata	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	-	😊	😊	😊	😊
Abacaxi	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	-	😊	😊	😊
Ameixa	😊	😊	😊	😊	😊	😞	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	-	😊	😊
Tomate Verde	😊	😊	😞	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	-	😊
Vegetais	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	-

Legenda:

😊 = Compatível (Pode ser armazenado junto)

😊 = Risco Leve (Pode ser armazenado, pequeno risco)

😞 = Incompatível

Fonte: ABIAP (2018)

4.2 Normas e Recomendações vigentes acerca do transporte de alimentos refrigerados

Atualmente há no Brasil algumas recomendações que devem ser seguidas em relação ao transporte de alimentos refrigerados. Uma delas é a NBR

14701, publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), ABNT NBR 14701, 2001, intitulada “Transporte de produtos alimentícios refrigerados - Procedimentos e critérios de temperatura” publicada em 2001 (Figura 30).

Alguns pontos foram destacados, analisados e comparados com o que se desenvolveu nesta pesquisa. Algumas recomendações da NBR14701 de maior relevância para este trabalho são apresentadas a seguir.

A norma em questão estabelece os seguintes objetivos:

1.1 Esta Norma estabelece os procedimentos e critérios de temperatura para o transporte de produtos alimentícios refrigerados (resfriados ou congelados) no tocante a estocagem, carga, deslocamentos e descarga, de forma a garantir sua integridade e preservar sua qualidade inicial até a recepção pelo destinatário/recebedor. 1.2 Esta Norma se aplica ao produto com temperatura especificada, apresentada pelo embarcador/expedidor e seguida pelo transportador, devendo ser transportado até o ponto final de destino em condições estáveis.

Figura 30 - Norma da ABNT que dispõe sobre recomendações a serem seguidas no transporte de produtos alimentícios refrigerados

Fonte: ABNT NBR 14701 (2001)

Conforme foi citado nos itens Introdução, Objetivos e também e Metodologia deste trabalho, é proposto um modelo com uma etapa de pré-resfriamento da câmara, utilizando o controle PID para o controle desta temperatura. Esta norma chega a citar, como requisito, que a câmara deve ser resfriada 15 minutos antes do carregamento com carga a ser transportada. No entanto, esta recomendação não trata do pré-resfriamento durante o transporte e antes da parada para o descarregamento, mas sim, somente do resfriamento com a temperatura da câmara antes da colocação do produto nela.

Continuando a análise desta norma, ela cita no item de requisitos, que “As operações de carga e descarga, para/ou da câmara frigorífica, devem ser o mais rápido possível, de forma a evitar o aumento da temperatura do produto alimentício” e que “A parada da unidade de refrigeração é obrigatória, por ocasião das operações de carga e descarga”.

No primeiro requisito listado é afirmado que a operação de carga e descarga deve ser feita “o mais rápido possível” sem que seja recomendado algum tempo para que isto seja realizado. Neste trabalho, no Capítulo 6, serão apresentadas simulações de abertura de porta e também das etapas de pré-resfriamento, o que possibilitou a proposição de uma tabela de recomendação de tempos máximos nos quais a porta deve permanecer aberta durante a descarga, tendo em vista não se atingir o limite superior da temperatura de conservação.

Já o segundo requisito recomenda- que o sistema de refrigeração deva ser desligado durante as operações de carga e descarga, o que contribui ainda para a elevação da temperatura e os efeitos negativos que isso acarreta à carga transportada nestas etapas.

Nos itens 3.6.1, 3.6.2 e 3.6.3 da norma, que trata das exigências no local de carregamento e descarregamento, afirma-se que:

3.6.1 A câmara frigorífica deve proporcionar acesso adequado ao equipamento de transporte refrigerado, de forma que a carga seja submetida a um **mínimo de variação de temperatura**.

3.6.2 Embarcador/expedidor, transportador, destinatário/recebedor e serviços de inspeção devem contribuir para acelerar o carregamento e o descarregamento, bem como para **evitar demoras desnecessárias**.

3.6.3 A(s) porta(s) de acesso aos ambientes refrigerados deve(m) sempre ser fechada(s) quando o carregamento ou o descarregamento for interrompido por qualquer razão.

Nos itens 3.6.1 e 3.6.2, nota-se que é recomendado que a carga seja submetida a um “mínimo de variação de temperatura” e que nas etapas de carregamento e descarregamento devem-se “evitar demoras desnecessárias”. Foi citado que esta variação de temperatura seja a mínima possível, todavia não é abordado quais seriam estas temperaturas e por quanto tempo elas devem ser mantidas de acordo com as características de cada alimento.

Neste trabalho será proposta uma temperatura mínima que o sistema de pré-resfriamento deverá obedecer a fim de que quando a porta for aberta para o descarregamento, a temperatura não exceda o limite superior recomendado. A Portaria da Vigilância Sanitária do Estado de São Paulo estabeleceu a **Portaria CVS-15, de 7.11.91**, relacionada com o transporte de alimentos. Desta portaria, destacam-se os itens 1, 6, 8 e 13 do Art. 1º, conforme que são apresentados a seguir:

Art. 1º - Normatizar e padronizar o transporte de alimentos para consumo humano, na seguinte conformidade:

- 1 - Os meios de transporte de alimentos destinados ao consumo humano, refrigerados ou não, devem garantir a integridade e a qualidade a fim de impedir a contaminação e deterioração do produto.
- 6 - No transporte de alimentos, deve constar nos lados direito e esquerdo, de forma visível, dentro de um retângulo de 30 cm de altura por 60 cm de comprimento, os dizeres: Transporte de Alimentos, nome, endereço e telefone da empresa, Produto Perecível (quando for o caso).

- 8 - O Certificado de Vistoria é concedido após inspeção da autoridade sanitária competente, obedecidas as especificações desta portaria.
- 13 - Os alimentos perecíveis devem ser transportados em veículo fechado, dependendo da natureza sob:
 - a) resfriamento: ao redor de 6°C não ultrapassando 10° ou conforme especificação do fabricante expressa na rotulagem;
 - b) aquecimento: acima de 65°C;
 - c) congelamento: ao redor de (-18°) e nunca superior a (-15°C).
- 15 - Os veículos de transporte de produtos sob controle de temperatura devem ser providos permanentemente de termômetros adequados e de fácil leitura.

4.3 Tecnologias para conservação de alimentos

Há diversas tecnologias disponíveis para a conservação de produtos agrícolas pós-colheita, como os métodos físicos: (i) tratamento térmico (aquecimento), (ii) modificação de atmosfera, e (iii) refrigeração. Por outro lado, tem sido cada vez mais estudada e ampliada a aplicação de métodos considerados emergentes na conservação pós-colheita de frutas e hortaliças: radiação gama, ozônio (O₃) em sua fase gasosa ou diluído em meio aquoso, e radiação ultravioleta-C (JAEHAK, 2016; BADIA-MELIS, 2014).

O tratamento térmico é comumente utilizado em frutas, como o mamão e a manga, para se evitarem podridões (HAFLIOASON, 2012; ISO, 1994; LADO; YOUSEF, 2002). Este método consiste em mergulhar as frutas em água a temperaturas elevadas (45°C por 15 minutos no caso da pera), o que acaba estimulando a fruta a produzir compostos de defesa, que são eficientes no controle de certos microrganismos que diminuem a sua vida útil (XINQING et al., 2015).

A modificação da atmosfera do ambiente onde o alimento se encontra pode ser feita por dois métodos (XINQING et al., 2016; BERNARD, 2002; BOGATAJ, et al., 2005). O primeiro, denominado atmosfera controlada, consiste no controle dos gases no ambiente onde o fruto está, por exemplo: níveis de gás carbônico (CO₂) e

de oxigênio (O_2), a fim de se reduzir o metabolismo dos microrganismos. Este método é utilizado no caso da maçã (ZHOU, 2015). O segundo método é denominado atmosfera modificada, por meio do qual é possível alterar-se a atmosfera dentro da embalagem onde o alimento se encontra. Um exemplo é o uso de embalagens que permitem que o gás O_2 saia, mas que o CO_2 fique retido, aumentando a vida útil do produto. Isso é comum no caso de algumas frutas, como melão e abacaxi, além de alface e mandioquinha minimamente processada (ABAKAROV, 2013; SILVA, 2011).

A radiação gama contempla um método em que se irradia o alimento com um elemento radioativo, sendo o cobalto ($Co-60$) o mais utilizado. É um tratamento seguro para a saúde humana, pois o que penetra de forma uniforme na fruta é somente a radiação gama, que não é prejudicial, sendo que a sua ação visa à redução de podridões em frutas e hortaliças (BOGATAJ, 2005). No Brasil, a sua aplicação é baixa e concentra-se em níveis experimentais, especialmente em frutas, como morango, figo, pera, e em hortaliças folhosas, como alface. A sua ação não deixa resíduos nos alimentos e é segura à saúde humana.

A aplicação do ozônio na indústria vem ganhando espaço, conforme mais pesquisas são realizadas sobre o uso desta tecnologia (AUNG, 2014). Nos Estados Unidos, por exemplo, na década de 1990, a partir da aprovação pelo FDA (Food and Drug Administration) do ozônio como uma substância segura para aplicação direta em alimentos, sua aplicação no setor alimentício vem crescendo. No Brasil, no entanto, não há legislação específica sobre a sua utilização no setor alimentício, ficando restrito ainda a pesquisas e experimentos científicos (SILVA et al. 2011).

O ozônio pode afetar componentes dos microrganismos, como glicoproteínas, glicolipídios, enzimas, dentre outros efeitos benéficos para o aumento da vida útil dos produtos (HSIAO, 2016).

Um entrave para a utilização do ozônio é que ele é um gás tóxico, que necessita de controle pelos órgãos responsáveis. Entretanto, quando aplicado no alimento, degrada-se rapidamente em gás oxigênio, não sendo um contaminante. A agroindústria de tomates, por exemplo, tem utilizado o ozônio na forma aquosa para

tratar seus produtos e evitar a proliferação de microrganismos patogênicos desde os anos 2000 (HSIAO, 2016).

É importante notar-se que, um método de tratamento não é necessariamente melhor que outros, pois cada um possui vantagens e desvantagens. O Quadro 10 apresenta um resumo destas características, sendo que, muitas vezes, a combinação de métodos de tratamentos pode ser a melhor opção. Atualmente, esta é uma área de grande interesse para pesquisadores da área de conservação pós-colheita de produtos das cadeias agroindustriais (LIN et al., 2016).

Quadro 10 - Vantagens e desvantagens dos métodos de tratamento pós-colheita de frutas e hortaliças

Método	Vantagens e exemplos	Desvantagens
Térmico (aquecimento)	Controle consolidado e efetivo no combate a podridões em manga e mamão.	Pode ocasionar alterações químicas, nutricionais, sensoriais e de textura do alimento. Exige alto consumo energético.
Refrigeração	Amplamente utilizado, efetivo no controle de podridões. Aumenta a vida de prateleira.	Alto consumo energético. Pode causar injúrias pelo frio na superfície do alimento.
Radiação Gama	Penetração uniforme no alimento. Não causa contaminação pós tratamento.	Alto custo de manutenção e custos com segurança no manuseio do material fonte da radiação.
Modificação de atmosfera	Sua utilização é eficiente no armazenamento de frutas de alto valor agregado, principalmente voltados para exportação.	Exige investimentos alto na estrutura da câmara de armazenamento, caso da atmosfera controlada e tecnologia específica no caso da modificação da atmosfera.
UV-C	Grande disponibilidade de lâmpadas de UV-C comerciais. Relativo baixo custo de manutenção. Não contamina no alimento.	Pode ocasionar alterações nos alimentos como descoloração, escurecimento em morangos e mamão.
Ozônio	Não contamina o alimento. Efetivo em hortaliças. Pode ser aplicado diluído em água. Elimina alguns defensivos agrícolas residuais nos alimentos.	Exige atenção no controle e segurança do ozônio armazenado.

Fonte: KAWANO et al. 2016

4.4 Eficiência energética de sistemas comerciais

No Brasil, as entidades e programas que estão ligadas ao Ministério de Minas e Energia (MME) e que são responsáveis pela difusão e fomento da eficiência energética, dentre outras atribuições, são: o Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial (INMETRO); a Empresa de Pesquisa Energética (EPE); o Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados do Petróleo e Gás Natural (CONPET); o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL); o Centro de Pesquisas em Energia Elétrica (CEPEL); o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE); a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), e a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Segundo Nogueira (2007), os principais desafios e obstáculos a serem transpostos para a implementação de projetos de eficiência energética no Brasil são os:

- Tecnologia: mesmo sendo conhecidas várias tecnologias que tornam processos mais eficientes, diversas delas ainda não estão disponíveis no mercado nacional.
- Custo inicial: a sociedade é muito sensível aos custos iniciais de equipamentos, mesmo os mais eficientes.
- Cultura: ainda falta uma maior consciência de que se investir em eficiência energética é vantajoso, principalmente em pequenas e médias empresas.
- Financiamento: há dificuldades no acesso de condições de financiamento favoráveis às empresas.

4.5 Rastreabilidade de alimentos na cadeia produtiva

Neste contexto do transporte refrigerado e cadeia do frio, a rastreabilidade de alimentos torna-se relevante principalmente quando se trata de produtos agrícolas destinados à exportação, inclusive utilizando tecnologias de comunicação para tal (MANZARI, 2012; OJHA, 2015; SHRIKRISHAN et al., 2012).

A rastreabilidade pode ser definida como o acompanhamento e monitoramento do produto ao longo de todos os elos da cadeia, permitindo a identificação de pontos críticos de controle de qualidade. A Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (HACCP - Hazard Analysis and Critical Control Points na sigla em inglês) é então utilizada para se definir quais ações devem ser tomadas para evitar futuros problemas de qualidade. Caso estes ocorram, é possível chegar à fonte do problema e tratá-lo para evitar que eles ocorram novamente. Juran (1999) definiu rastreabilidade como a habilidade de rastrear o histórico, o processamento e os locais por onde um produto passou por meio de identificações gravadas em um sistema.

Segundo Machado e Nantes (2004), a aplicação do conceito de rastreabilidade possibilita um controle de todas as etapas de uma cadeia de suprimentos, fornecendo insumos para uma melhor análise e gestão de riscos da cadeia como um todo (DIAS, 2012; HIRAI, 2014; LI; KEHOE; DRAKE, 2006). Os autores Machado também citam que a tecnologia de informação é essencial para que os objetivos da rastreabilidade sejam devidamente cumpridos, permitindo uma simplificação na operacionalização das etapas de coleta, transmissão, armazenamento e acesso às informações relacionadas aos produtos e processos.

O estudo feito em Juran (1999) indica que as grandes vantagens de um sistema eficiente de rastreabilidade são: assegurar a segurança alimentar e a qualidade tanto dos insumos quanto dos produtos finais; evitar mistura de produtos; aumentar a facilidade no caso de recall de produtos e tornar menos custosa a localização de falhas e sua correção (COMMISSION, 2002)

No trabalho de Aung (2014), é apresentada uma arquitetura de um sistema de monitoramento de variáveis na Cadeia do Frio ao longo da cadeia de suprimentos. O modelo aborda o acompanhamento desde a etapa de manufatura de um produto ou colheita, caso este seja um produto agrícola, passando pelo transporte refrigerado, centros de distribuição e beneficiamento até chegar nos supermercados para o consumidor final.

Na pesquisa de Aung (2014), ele propõe que todas as informações coletadas ao longo da cadeia do frio, tais como dados de temperatura, umidade da carga transportada, localização geográfica e rastreamento da carga, sejam

armazenadas em sistemas central de dados, bem como que estes dados fiquem disponíveis a todos os agentes da cadeia. Este sistema é apresentado na Figura 31.

Figura 31 - Arquitetura do sistema representação da Cadeia do Frio

Fonte: Aung (2014)

Trabalhos semelhantes foram conduzidos por Chen (2015), Cheung et al. (2007) em que desenvolveram um sistema baseado em RFID e RSSF que utiliza um modem no caminhão para transmitir as informações coletadas para uma plataforma web, na qual estas podem ser acessadas (BASHIR et al., 2011; RACHURI, 2012; CAPELLA et al. 2014; CARTASEGNA et al., 2009).

Li (2006) apresentou um modelo matemático que utiliza as informações captadas por um sistema composto por RFID e RSSF para estabelecer a qualidade e o preço final dos produtos (PRENTICE, 2008; CAPELLA et al. 2014; SAMADI, 2015; TARJAN et al. 2014).

4.6 Considerações finais sobre a Cadeia do Frio e conservação de alimentos

Esta seção abordou a Cadeia do Frio, os aspectos de transporte, restrições para conservação de produtos agrícolas perecíveis, bem como tecnologias emergentes utilizadas atualmente para a manutenção da qualidade destes produtos.

Além disso, apresentou informações acerca da rastreabilidade de informações e produtos da cadeia do frio e sua ligação com sistemas computacionais que auxiliam no acompanhamento e monitoramento de informações relevantes para os agentes da cadeia de suprimentos. Na seção seguinte serão apresentados aspectos de controle e o algoritmo PID para introduzir informações necessárias para o entendimento do Capítulo 6 que apresenta dos resultados obtidos das simulações.

5. SISTEMAS DE CONTROLE

Durante a década de 1940, métodos de resposta em frequência (especialmente os métodos com base nos diagramas de Bode) tornaram possível projetos de sistemas de controle linear de malha fechada que satisfizessem o desempenho requerido. Muitos sistemas de controle industriais das décadas de 1940 e 1950 usavam controladores Proporcional-Integral-Derivativo (PID) no controle da pressão, temperatura, etc. No início da década de 1940, Ziegler e Nichols criaram regras para o ajuste de controladores PID: o chamado método de Ziegler-Nichols (OGATA, 2011).

À medida que os sistemas modernos com múltiplas entradas e múltiplas saídas se tornam mais complexos, a descrição de um sistema de controle moderno requer um grande número de equações. Atualmente, considera-se o controle moderno baseado na análise do domínio do tempo em sistemas de equações diferenciais OGATA (2011).

5.1 Aplicações de Controle

Pode-se tomar como exemplo de aplicações de controle, segundo Ogata (2011) e Nise (2016):

- a) Sistema de controle de velocidade: para se regular a quantidade de combustível fornecida pelo motor e seu ajuste, o controle é realizado de acordo com a diferença entre a velocidade esperada e a velocidade efetiva do motor.
- b) Sistema de controle de temperatura: um exemplo seria o controle da temperatura de um forno elétrico, quando esta é medida por um termômetro que é um dispositivo analógico. O sinal analógico de temperatura é convertido em um sinal digital por um conversor A/D (analógico-digital). O Sinal obtido é fornecido ao controlador por meio de uma interface. Então, este sinal é comparado com a temperatura programada de referência e, se houver alguma divergência (erro), o controlador envia um sinal ao aquecedor, por meio de uma

interface, um amplificador e um relé, fazendo que a temperatura do forno atinja o valor desejado (MAYNE, 2016).

- c) Sistemas empresariais: exemplo de sistemas empresariais são os que utilizam métodos com realimentação de informações das realizações de cada grupo e que estes devam ser estabelecidos, de modo que esse sistema tenha um desempenho apropriado. Para um gerenciamento apropriado, é fundamental o estabelecimento de um sistema de previsão com base em dados estatísticos. Sabe-se que um sistema pode ser otimizado pela utilização do tempo de espera ou da antecipação.
- d) Sistema de controle robusto: qualquer modelo de uma planta que se deseja controlar, irá incluir um erro no processo de modelagem. Ou seja, a planta real será diferente do modelo a ser usado no projeto do sistema de controle. Como exemplo, pode ser considerada uma planta a ser controlada $G(s)$ e o modelo matemático da planta real seria $G(s)$, sendo:

$G(s)$ = modelo da planta real

$G(s)'$ = modelo nominal da planta a ser usado para projetar o sistema de controle

$G(s)$ e $G(s)'$ podem estar relacionados por um fator multiplicador como:

$$G(s) = G(s)'[1 + \Delta(s)]$$

Ou por um fator somatório:

$$G(s) = G(s)' + \Delta(s)$$

Como a descrição exata da incerteza ou erro $\Delta(s)$ é desconhecida, recorre-se a uma estimativa de $\Delta(s)$ e usa-se a estimativa $W(s)$ no projeto do controlador. $W(s)$ é uma função de transferência escalar, tal que:

$$|\Delta(s)|_{\infty} < |W(s)|_{\infty} \max |W(j\omega)|$$

5.2 Métodos de Controle

Nas últimas décadas, muitas pesquisas científicas denominadas de *plantwide control* têm buscado padronizar o desenvolvimento de sistemas de controle, nos quais segundo Luyben (1998) há 5 principais estratégias de um projeto de controle:

- a) Caracterização do Problema de controle;
- b) A modelagem matemática do processo;
- c) A análise das respostas dinâmicas do sistema através do modelo matemático;
- d) Projeto da estrutura de controle;
- e) Sintonia do controlador.

Sistemas de controle automáticos têm potencial de serem aplicados à conservação de alimentos em câmaras frias MAYNE (2016), a fim de solucionar problemas complexos que dizem respeito à interação entre as variáveis de controle da atmosfera controlada e seus efeitos fisiológicos nos frutos armazenados (ERDOGDU, 2017).

Na Figura 32, há um esquema genérico de um sistema de controle automático industrial e seus componentes.

Figura 32 - Diagrama de blocos de um sistema de controle automático industrial

Fonte: Adaptado de Ogata (2011)

5.3 Algoritmo para Controle PID

A utilidade dos controladores PID está na sua aplicabilidade geral à maioria dos sistemas de controle. Quando o modelo matemático da planta não é conhecido e, portanto, métodos de projeto analítico não podem ser utilizados, controles PID se mostram os mais úteis (OGATA, 2016). Na área dos sistemas de controle de processos, sabe-se que os esquemas básicos de controle PID e dos controles PID modificados mostram-se satisfatórios, embora em muitas situações eles possam não proporcionar um controle ótimo.

Em muitos processos, do uso doméstico ao industrial, há necessidade de se manter um ou mais parâmetros estáveis ou, pelo menos, dentro de certa faixa de variação. Pode ser a pressão de um líquido ou de um gás, a rotação de um motor, a temperatura de algum meio, etc. Para esta última, é muito comum o controle tipo liga-desliga (termostato), presente, por exemplo, em geladeiras e ferros de passar doméstico e também em muitos equipamentos industriais e comerciais (FORBES et al. 2015).

Entretanto, este tipo de controle tem limitações. Quando as exigências de precisão, estabilidade e outras são maiores, eles não são adequados. Um bom exemplo onde este tipo de controle não é aplicado é em chocadeiras, em que a temperatura deve ficar bastante estável, independente de fatores externos.

A combinação das ações de controle proporcional, integral e derivativa dá origem ao que chamamos de controlador proporcional-integral-derivativo ou simplesmente PID. O objetivo é aproveitar as características particulares de cada uma destas ações a fim de se obter uma melhora significativa do comportamento transitório e em regime permanente do sistema controlado. O sinal de controle gerado pelo controlador PID é assim genericamente dado como: (ASTROM, 2001)

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d(\tau) + K_d \frac{de(t)}{d(t)} \quad (1)$$

Onde:

K_p = Ganho proporcional

K_i = Ganho integral

K_d = Ganho derivativo

e = erro

t = tempo

τ = Tempo de integração

Aplicando a transformada de Laplace:

$$L(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (2)$$

Onde:

s = Frequência complexa

De forma geral, a aplicação das técnicas de controle sobre um processo, visa à normalização de uma variável ou conjunto de variáveis em menor tempo, ou com menor custo. Para isso, podem ser configurados os valores de K_p , K_i e K_d a fim de se criar cenários com as saídas desejadas. Neste trabalho, são apresentados somente os resultados do controle da variável temperatura, devido ao fato de que a adição de outras variáveis para este modelo, tornaria o sistema de simulação muito complexo e demandaria outras análises que não estão no objetivo deste trabalho.

Da equação 1, obtém-se o sinal de controle discreto, m_k , a partir de:

$$m_k = k_p e_k + k_i S_k + k_d (e_k - e_{k-1}) \quad (3)$$

Onde,

$$S_k = S_{k-1} + e_k \quad (4)$$

Estes parâmetros estão relacionados com os seguintes:

$$k_p = k_c$$

$$k_i = k_c \frac{\Delta T}{T_i}$$

$$k_d = k_c \frac{T_d}{\Delta T}$$

Dessa forma, pode-se apresentar como exemplo, uma implementação do algoritmo PID no software MATLAB:

```
function [sys, x0, str, ts] = pid_pos (t, x, u, flag, ts, kc, Ti, Td)
persistent s ek_1
if flag == 0 %inicialização
sys = [0 0 1 1 0 1 1];
x0 = [ ];
str = [ ];
ts = [-2 0]; %tempo de amostragem variável
s=0;
elseif flag == 4 %Calcula próximo instante de amostragem
ns = t / ts; %ns n° de amostras
sys = (1 + floor(ns + 1e-13*(1+ns)))*ts; %momento próxima amostra
elseif flag == 3
if t==0 ek_1=u(1); end;
kp=kc; ki=kc*ts/Ti; kd=kc*Td/ts; %Converte parâmetros
ek=u(1);
s = s + ek;
m=kp*ek+ki*s+kd*(ek-ek_1);
ek_1=u(1);
sys = m;
else %por defeito não retorna
sys = [ ];
end
```

5.4 Modelagem e simulação Controle PID

Na Figura 33, tem-se o incremento do valor de K_p , no sentido de iniciar a melhoria da resposta de controle da temperatura. Conforme o processo de controle

vai se efetivando, o controle da temperatura vai se aproximando do valor ótimo referenciado e normalizado, neste caso do modelo é o valor = 1,00. O valor real de ideal de armazenamento de maçãs, é de 5 graus Celsius.

Figura 33 - Modelo de controle com incremento do K_p

Fonte: Autor

Em seguida, sobre o mesmo resultado ótimo obtido na simulação anterior, obtém-se, por meio do incremento do K_d , que tende a se estabilizar (Figura 34).

Figura 34 - Modelo de controle com incremento do K_d

Fonte: Autor

Após o incremento do K_d , realizou-se o incremento do valor K_i , que na simulação anterior obteve score de 0,96, na última simulação para os valores de K_i , obteve-se o score de $K_i = 0,97$. Em relação ao score de 0,5 da *Base line*, atingiu-se então o valor otimizado para o controle da temperatura, obtendo-se a saída da Figura 35.

Figura 35 - Incremento do K_i (valor máximo de desempenho na simulação)

Fonte: Autor

De acordo com as referências levantadas, observou-se que há potencial de aplicação do controle de sistemas no modelo concebido. Entretanto, notou-se que poucos trabalhos na literatura abordam a aplicação desta técnica na área agrícola e de conservação de alimentos, demonstrando que há um potencial de desenvolvimento de estudos nessa linha de pesquisa. Alguns destes trabalhos são os desenvolvidos por Revathi, Radharishnan e Sivakumaran (2017), a pesquisa de Shamily, Praveena e Bhuvabeswari (2015) e também o trabalho de Han et al. (2011).

Além disso, o sistema poderia ser configurado para controlar os limites mínimos de temperatura dos intervalos apresentados a partir dos quais um alerta poderia ser acionado permitindo ao sistema reconhecer automaticamente a necessidade de manutenção da temperatura dentro dos níveis ideais.

5.5 Outros modelos de Sistemas de controle: o controle adaptativo

Segundo DiStefano (2014), em alguns sistemas de controle, certos parâmetros não são constantes ou variam de uma maneira não conhecida. Se as variações dos parâmetros são grandes ou muito rápidas, pode ser desejável projetar

com uma capacidade de medi-los constantemente e variando a compensação, de modo que os critérios de desempenho sejam sempre satisfeitos. Este modo de projetar sistemas é o que pode ser classificado como um sistema de controle adaptativo.

Na Figura 36, encontra-se um diagrama em bloco doo sistema de controle adaptativo. Os parâmetros A e B de instalação são conhecidos como variantes no tempo. O bloco denominado “Identificação e ajuste de parâmetro. Mede continuamente a entrada $u(t)$ e a saída $c(t)$ da planta, para identificar (quantificar) os parâmetros A e B. Dessa maneira, a e b do compensador em avanço podem ser modificados pela saída deste elemento para satisfazer as especificações do sistema. O projeto do bloco de Identificação e ajuste de parâmetro é o problema maior do controle adaptativo.

Figura 36 - Modelo de um diagrama de bloco do sistema de controle adaptativo

Fonte: Adaptado de Ogata (2011)

6. SIMULAÇÃO DE UM MODELO DE CONTROLE PROPOSTO PARA A CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos da simulação do modelo de controle proposto para a conservação de alimentos, apresentado no Capítulo 5, bem como a sua avaliação.

O modelo proposto foi implementado para viabilizar o teste e a avaliação da estratégia proposta, associada ao pré-resfriamento do ambiente e produtos antes da abertura de porta do veículo de transporte, a fim de se obter menor latência no retorno da temperatura à faixa de normalidade de conservação. Dessa forma, adotou-se como estratégia nos testes realizados, a redução da temperatura (pré-resfriamento) por um tempo pré-determinado, com o objetivo de que a temperatura de conservação do sistema retornasse o mais breve possível à faixa ideal, ou ainda não ultrapassasse os limites de temperatura da faixa estabelecida para a conservação adequada dos alimentos perecíveis. A modelagem do sistema foi realizada simulando-se a ação de controle do tipo liga-desliga (*on-off* ou termostático), e também com a ação de controle Proporcional-Integral-Derivativo (PID), conforme apresentado nas seções seguintes.

6.1 Desenvolvimento do modelo

As simulações foram realizadas em duas etapas: uma envolvendo uma ação de controle clássica, liga-desliga (*on-off*), de maior simplicidade e utilização, e a outra envolvendo a ação de controle Proporcional-Integral-Derivativo (PID), mais complexa com maior potencial para um controle mais eficaz. Para a simulação, utilizou-se o software MATLAB®, conforme descrito no Capítulo 2.

Na primeira etapa, simulou-se um termostato no MATLAB®, no qual foi modelado um sistema de refrigeração com controle de temperatura, mantendo-se uma faixa ideal de conservação para o abacate, que é entre 4°C e 13°C (PUTNIK et al., 2017 e SILVERIO, 2014). Lembrando que os dados do abacate foram utilizados, neste caso a fins de exemplificação, sendo que na simulação com o PID, foram utilizados dados para laranja.

Dessa forma, foi considerada uma faixa média de temperatura de conservação entre 8°C e 11,5°C conforme demonstra a Figura 37, na qual podem ser observadas as variações do funcionamento do compressor.

Por motivos técnicos, o compressor não pode realizar acionamento e desligamento em tempos curtos e assim, foi estabelecido neste teste, que cada ciclo, ou seja, o tempo entre o compressor estar ligado e desligado, foi de 10 minutos, sendo que este permaneceu em funcionamento por 2 minutos e a temperatura reduziu de 11,5°C para 8°C.

Este ciclo permanece constante até a abertura da porta, cuja ação foi simulada e obteve-se um aumento de temperatura de 8,5°C, ou seja, a temperatura elevou-se de 8°C para 16,5°C, sendo que o tempo estabelecido para que a porta permanecesse aberta foi de 8 minutos. Nesta simulação, a temperatura voltou a 8°C somente após 20 minutos retornando, assim, à faixa de normalidade de conservação.

Figura 37 - Representação da faixa de temperatura e perturbação com a abertura de porta

Fonte: Autor

Em seguida realizou-se uma simulação com a estratégia na modelagem de pré-resfriamento, representada na Figura 38. O pré-resfriamento foi testado antes da abertura da porta, pelo tempo de 4 ciclos, ou seja, de 48 minutos. Neste pré-resfriamento, a faixa de operação variava entre 8°C e 11,5°C para uma faixa de 4°C a

7,5°C. Ressalta-se que esta faixa permanece dentro da faixa ideal de conservação do abacate (4°C a 13°C como apresentado anteriormente).

Pela simulação no software MATLAB®, mantendo-se as mesmas condições do teste anterior, com a abertura de porta com tempo de 8 minutos até que esta fosse fechada, o tempo para que a temperatura interna da câmara voltasse aos 8°C foi de apenas 3,13 minutos. No teste anterior este tempo foi de 20 minutos.

A vantagem da estratégia de pré-resfriamento não é somente o menor tempo de latência, ou seja, o menor tempo para que a temperatura volte à faixa ideal de conservação, mas também a economia de energia gerada por somente necessitar o pré-resfriamento por 48 minutos antes da abertura da porta. Ademais, em se tratando de propriedades de qualidade do produto, ocorrem menos danos ao produto, quando este fica submetido a uma temperatura o mais distante dos limites máximos e mínimos da faixa média ideal.

Figura 38 - Representação do pré-resfriamento do sistema de refrigeração e perturbação com a abertura de porta

Fonte: Autor

A Figura 39 apresenta uma sobreposição das curvas obtidas, facilitando, dessa forma, a visualização e comparação das simulações. Pode-se notar, portanto, que há vantagens em se adotar a estratégia de pré-resfriamento para obter menor consumo de energia e menor degradação do produto a ser transportado.

O *script* desenvolvido no MATLAB para a simulação do controle termostático neste cenário encontra-se no APÊNDICE B deste documento.

Figura 39 - Comparação das estratégias de conservação do sistema de resfriamento com as curvas com e sem pré-resfriamento e abertura de porta

Fonte: Autor

Continuando o processo de modelagem do sistema a que se deseja obter, a Figura 40 apresenta um diagrama que faz parte representativa do modelo, em que se destaca a adoção das estratégias de pré-resfriamento. Inicialmente, deve ser prevista a abertura de porta, ou seja, a entrega de determinada carga em determinada localidade, considerando um tempo estimado do trajeto a ser realizado pelo caminhão.

Em seguida, o conjunto de ações calcula a informação de pré-resfriamento, ou seja, por quanto tempo esta etapa deverá funcionar minimamente a fim de que a carga atinja uma temperatura que não exceda o limite superior de conservação quando a porta for aberta. Além disso, a temperatura do pré-resfriamento não deve ser inferior ao limite mínimo recomendado para a conservação.

Uma observação acerca da etapa de pré-resfriamento, é que foi encontrada uma patente intitulada “Refrigerated transport temperature regulation” cujo código é US 2070082335A1 que trata de se implementar a etapa de pré-resfriamento em caminhão durante o transporte. No entanto, no trabalho desenvolvido na patente, não há o controle PID do sistema para realizar a etapa de pré-resfriamento e também não é detalhada de forma mais clara o aspecto computacional.

A concepção do modelo contida nas Figuras 40 e 41 foram baseadas na patente (US 2070082335A1) como referência à lógica de funcionamento do sistema.

O “pacote de ações” a que se refere a Figura 40, diz respeito à emissão de sinais ao sistema de refrigeração para que realize o pré-resfriamento por um certo período de tempo.

Figura 40 - Modelo simplificado das estratégias de atuação do sistema de controle

Fonte: Autor baseado em US 2070082335A1.

Detalhando o modelo (Figura 41), inicialmente a temperatura é configurada para a ideal de conservação para um determinado produto. Considerando que cada produto possui uma faixa de temperatura dentro da qual ela pode variar sem maiores prejuízos para o produto, configura-se o sistema de refrigeração para que ele opere dentro de uma faixa de tolerância (Quadro 11).

Quando o sistema indicar que a próxima entrega se encontra próxima (por exemplo, por meio de um aplicativo baseado no GPS), sendo que este processo de localização não foi implementado, é calculado o tempo mínimo de resfriamento para que a porta, após aberta, não ocasione a elevação de temperatura mais do que o valor máximo que ela pode atingir. Assim, após a identificação do tempo mínimo de pré-resfriamento, este é iniciado e nele é aplicado o controle PID para que haja menor variação da temperatura, potencial de menor gasto com energia e menor desgaste do sistema, comparando-se com sistemas de controle de temperatura atuais.

Caso o sistema identifique que haja, por exemplo, um atraso na entrega, então o início do pré-resfriamento pode ser adiado, mantendo-se a temperatura mais próxima da ideal de conservação. Quando chega o momento no qual o sistema executou o pré-resfriamento, este reduzirá a temperatura até que ela chegue à mínima dentro da faixa de tolerância. Em seguida há a abertura de porta, sendo que neste momento há a entrada de uma massa de ar com uma temperatura maior que a mantida internamente. Este tempo de abertura da porta também foi modelado e simulado e será apresentado mais adiante nesta seção.

De acordo com a Norma NBR 14701 (2001) que trata do “Transporte de produtos alimentícios refrigerados: procedimentos e critérios de temperatura” o motor do caminhão refrigerado deve ser desligado enquanto a porta do compartimento refrigerado fique aberta para carregamento e descarregamento de carga. Este fato, aumenta ainda mais a oscilação positiva da temperatura interna, o que torna a etapa de descarregamento um ponto crítico da cadeia do frio, no sentido da manutenção da temperatura ao longo de toda a cadeia produtiva.

Quando o primeiro descarregamento foi concluído, ocorre então a etapa do fechamento da porta e, portanto, seguindo a norma, somente neste momento pode ser iniciado o processo de refrigeração novamente. A partir deste ponto, a temperatura começa a diminuir sendo aplicado também nesta redução, o controle PID. Até a próxima entrega o caminhão e o sistema deverão atingir a temperatura ideal de conservação para o alimento transportado.

Figura 41 - Diagrama do processo do modelo de pré-resfriamento e controle do sistema

Fonte: Autor baseado em US 2070082335A1.

No Quadro 11, conforme citado, encontram-se as faixas de conservação para as variáveis de temperatura, umidade relativa e tempo de vida útil do produto, caso estas condições sejam mantidas (ABIAF, 2010; EMBRAPA, 2014). Nota-se que cada produto possui sua faixa ideal de condição de conservação, sendo que o produto selecionado para a realização das simulações foi a laranja, possuindo faixa de temperatura ideal entre 3 e 8 °C.

Considerando um determinado produto para o qual a faixa ideal de armazenamento é entre 6 a 8 °C, nota-se no cenário representado pela Figura 42, que o sistema mantém a faixa ideal na maior parte do tempo, exceto em dois períodos dentro dos quais a temperatura excedeu os limites, chegando a superar o limite superior, e em outro momento, ela ficou abaixo da temperatura ideal.

Nestes dois momentos dentro dos quais as temperaturas ficaram fora da faixa ideal, há condições para que o produto apresente danos por temperaturas altas e baixas. Além disso, há o comprometimento da qualidade em relação aos seus atributos.

Quadro 11 - Faixas ideais de temperatura de umidade de frutas e verduras e período de vida útil

Produto	Temperatura ideal (+/- 2,5 °C)	Umidade ideal	Vida Útil
Frutas			
Ameixa	1	85 - 90	3 a 5 semanas
Caqui	-1	85 - 90	8 a 12 semanas
Figo	-0,5	85	3 a 4 semanas
Kiwi	-0,5	90 -95	8 a 14 semanas
Morango	1	85 - 90	2 a 10 dias
Pêra	-0,5	95	3 a 8 meses
Uva	-0,5	90 -95	3 a 6 meses
Laranja*	3-8	85 - 90	2 a 17 semanas
Abacate	8,5	85 - 90	1,5 a 6 semanas
Banana	14	85 - 90	10 a 28 dias
Verduras			
Alface	0,5	> 95	2 a 3 semanas
Berinjela	9,5	90 -95	1 a 2 semanas
Brócolis	0	90 -95	1 a 2 semanas
Cenoura	0	95	10 a 14 dias
Pepino	10	95	1 a 2 semanas

Fonte: Adaptado de ABIAF (2008)

*Fonte: Embrapa Clima Temperado (2014)

Figura 42 - Exemplo de faixa ideal de temperatura para transporte refrigerado

Fonte: Autor

Por outro lado, mesmo dentro da faixa ideal de refrigeração, geralmente, quanto mais baixa é a temperatura de refrigeração, melhores serão os atributos de qualidades resultantes. Além disso, ainda dentro da faixa ideal, quanto menor a variação de temperatura (*swing* de temperatura), também serão melhores os atributos de qualidade, conforme se verifica na Figura 43.

Figura 43 - Exemplo de faixa ideal de temperatura para o caso do abacate e exemplos de variações de temperatura no transporte refrigerado

Fonte: Autor

No trabalho de Pereira (2008), conforme observa-se na Figura 44, em um trajeto do caminhão refrigerado para sucessivas entregas de mercadoria refrigerada (em rosa) e congelada (em azul), há a abertura das portas em diversos momentos, representados nesta figura pelas siglas Ent1, Ent2, Ent3 e Ent4. As siglas DG1 até DG4 representam os momentos nos quais o sistema de refrigeração realiza o degelo. No ANEXO C, encontra-se a figura que apresenta a localização dos sensores do trabalho de Pereira (2008)

Nos momentos de abertura de portas, há abruptas elevações das temperaturas do ar interno e uma lenta recuperação da refrigeração após o fechamento das portas.

Figura 44 - Variação da temperatura no interior de um caminhão refrigerado e consequências devido a abertura de portas

Fonte: Pereira (2008)

Ainda sobre o referido trabalho de Pereira (2008), os dados obtidos por ele foram utilizados como fonte de dados primários para obtenção do comportamento das curvas quando da abertura e do fechamento das portas, segundo as condições estabelecidas em sua pesquisa.

Desta forma, em um caso geral, quando a temperatura ambiente for alta e o tempo de abertura de porta for grande, a abertura das portas de uma câmara

refrigerada acarreta na elevação da temperatura acima do limite máximo recomendado. A Figura 45 apresenta um esquema deste comportamento.

Figura 45 - Exemplo de comportamento de controle da temperatura aplicado à abertura de porta de caminhão refrigerado, no caso do abacate

Fonte: Autor

Ademais, o resfriamento da carga de alimento para dentro da faixa recomendada é proporcionalmente mais lenta do que a elevação, o que implica em uma condição de temperatura da carga inadequada, mesmo após o fechamento das portas. A seguir, apresenta-se um esquema (Figura 46) que demonstra os benefícios do que se espera no controle da temperatura por meio do pré-resfriamento, auxiliando na compreensão do ambiente de simulação a ser aplicado.

Figura 46 - Benefícios advindos do pré-resfriamento da carga transportada.

Fonte: Autor

Assim, concebeu-se neste trabalho um modelo no qual se buscou minimizar o efeito negativo da abertura de portas para a qualidade de produtos perecíveis refrigerados durante a etapa de transporte, incorporando uma etapa de pré-resfriamento antes de uma abertura de porta prevista Figura 47.

Figura 47 - Modelo de Pré-resfriamento proposto e controle de temperatura antes e após o fechamento da porta

Fonte: Autor

Na simulação com o controle PID realizada no próximo tópico, os dados de temperaturas limites superior e inferior foram de 3º a 8º C respectivamente, e foram utilizados para o caso da fruta laranja, conforme informação contida no Quadro 11. A seguir são apresentados os resultados das simulações e discussões

6.2 Resultados obtidos pelas Simulação e Discussões

Neste modelo de simulação, foram utilizados os dados obtidos de temperatura durante o processo de abertura e fechamento de porta (Figura 48), do trabalho de Pereira (2008), no qual foram realizadas medidas de temperatura dentro do caminhão refrigerado com diversos sensores distribuídos na câmara frigorífica. Estes dados foram utilizados para se modelar a redução de temperatura utilizando o controle PID, ou seja, o pré-resfriamento com o controle.

Figura 48 - Curva de oscilação de temperatura do trabalho obtido por Pereira (2008)

Fonte: Adaptado de Pereira (2008)

As Figuras 49 e 50, são resultados da obtenção das curvas de aumento e redução de temperatura, cujos dados de medição foram obtidos no trabalho de Pereira (2008). Os dados foram inseridos no MATLAB e foi identificada a função de

transferência (G) destas curvas através do módulo de identificação de sistemas/sintonia do seu controlador PID, para que estas sejam utilizadas no modelo final contínuo do comportamento do sistema simulado.

Figura 49 - Identificação da função de transferência da curva de subida (durante a abertura da porta) da planta do sistema com base nos dados inseridos no software MATLAB

Fonte: Autor

Figura 50 - Identificação curva de descida (durante o fechamento da porta) da planta do sistema com base em dados inseridos no software MATLAB, com $K=-0,215$ e $T_1=4778$

Fonte: Autor

Dessa forma, obteve-se o comportamento das funções quando a porta é aberta e quando a porta é fechada e inicia-se novamente o resfriamento da câmara refrigerada.

Após esta etapa, através do módulo *PID TUNNER* do MATLAB, foram obtidos os valores de $K_p=-25,02$, $K_i=-0,005236$ e conforme esperado, por se tratar de uma modelagem de um sistema de primeira ordem $K_d=0$, como também é apresentado no trabalho de Franklin (2006). Uma observação sobre o fato de que o valor de K_p ter sido nulo é de que o sistema do compressor se encontra em pleno funcionamento com a potência máxima.

Em seguida, o sistema final foi modelado no Simulink do MATLAB, cuja planta está representada na Figura 51, já contendo a função de transferência do sistema de controle.

Figura 51 - Esquema da planta em diagrama em blocos no MATLAB desenvolvido no Simulink.

Fonte: Autor

Uma vez identificada a função de transferência da curva de subida de temperatura devido à abertura das portas e a função de transferência da curva de resfriamento, pôde-se compor o sistema com o controlador sintonizado e realizar a simulação do modelo proposto no ambiente MATLAB/Simulink (Figura 52).

Figura 52 - Resultado obtido da simulação em MATLAB/Simulink do pré-resfriamento aplicado ao sistema refrigerado com abertura de porta

Fonte: Autor

Nota-se que com a aplicação do modelo proposto que inclui o pré-resfriamento antes de uma abertura de porta previamente programada, para o caso de uma carga de laranja, cujos limites mínimo e máximo de temperatura são 3°C e 8°C (linhas horizontais em vermelho), mesmo com a abertura de portas, tais limites são respeitados, evitando-se a perda de qualidade que ocorreria para esta mesma carga na condição sem pré-resfriamento apresentada por Pereira (2008). O script desenvolvido no MATLAB para a simulação do controle PID neste cenário encontra-se no APÊNDICE C deste documento.

Ainda sobre a Figura 52, cabe ressaltar que o tempo de pré-resfriamento foi interrompido, na simulação, quando a temperatura atingiu uma estabilidade na temperatura mínimo, que é de 3°C. Dessa forma, a partir deste ponto, iniciou-se a simulação com a etapa de abertura de porta.

A Figura 53 apresenta um resumo de possíveis cenários que podem ocorrer ao longo do transporte refrigerado de carga agrícola perecível, ilustrando de forma gráfica as possíveis situações na aplicação do controle PID.

Figura 53 - Cenários e ações possíveis ao longo do transporte

Fonte: Autor

6.3 Cenários de antecipação de abertura de portas com a estratégia de pré-resfriamento: simulações

As Figuras 54 e 55, apresentam o comportamento da correlação entre o tempo de antecipação da abertura da porta, com o tempo máximo de abertura da porta, ambos em minutos. Conclui-se que quando se necessita realizar o pré-resfriamento, se caso uma antecipação da abertura de porta necessite ser realizada, ou seja, para o caso da antecipação de uma entrega, quanto tempo máximo que a porta poderá permanecer aberta sem que o limite superior seja extrapolado.

Figura 54 - Correlação do tempo de antecipação de abertura de porta com o tempo máximo que ela poderá ficar aberta

Fonte: Autor

Por exemplo, conforme a Figura 54, para um tempo de antecipação da abertura de porta de 80 minutos, o tempo de descarregamento, ou seja, o tempo máximo no qual a porta poderá permanecer aberta, será de 14 minutos. Por outro lado, para um tempo de antecipação de abertura de porta menor do que 40 minutos, a redução do tempo máximo em que a porta poderá permanecer aberta varia apenas na casa dos segundos.

Na Figura 55, são apresentados cenários de antecipação de abertura de porta com tempos múltiplos de 15 minutos. Por exemplo, a linha azul representa o total atendimento à recomendação do limite para abertura de porta, ou seja, tempo de antecipação igual a zero (curva de referência). Já a curva de cor preta, apresenta o cenário no qual o tempo de antecipação da abertura de porta foi de 90 minutos em relação à curva de referência. Nota-se, portanto, que a temperatura neste caso, não foi reduzida ao valor recomendado, o que implicou em um menor tempo em que a porta poderá permanecer aberta, sem que a temperatura dos produtos ultrapassasse o limite superior de 8°C.

Figura 55 - Simulação de antecipação de abertura de porta e comportamento de resfriamento da câmara

Fonte: Autor

No Quadro 12, os tempos de descarregamento em função da antecipação da abertura de porta estão detalhados minuto a minuto. Esta forma de apresentação dessas informações tem o objetivo de facilitar a conferência e operação

do processo de descarregamento de cargas. Por exemplo, se a entrega de uma carga (descarga) necessitar ser antecipada em 71 minutos perante ao horário inicialmente previsto, o tempo máximo que os operadores de carga terão para efetuar o processo de descarregamento será de 15 minutos.

Por outro lado, se o tempo de antecipação da entrega da carga for de 89 minutos, o tempo máximo no qual a porta deverá permanecer aberta, a fim de que a temperatura não exceda o limite máximo de 8°C, será de 12 minutos. Dessa forma, estas informações auxilia o planejamento da operação de descarregamento de forma antecipada, sendo que poderia ser previsto, para este cenário a alocação de maior quantidade de pessoas e equipamentos para que o tempo máximo de descarregamento seja respeitado.

Quando ocorre o cenário de antecipação da entrega (abertura de porta) de 96 minutos ou mais, conforme Quadro 12, o pré-resfriamento não ocorre, pois, o tempo de pré-resfriamento para estas condições, deverá ser de no mínimo de 96 minutos. Logo, para situações nas quais o pré-resfriamento não é iniciado/aplicado, o tempo máximo de abertura de porta é de nove minutos.

Ressalta-se que o Quadro 12 não é um quadro de resultados, mas sim uma forma de representar, de forma prática como o motorista pode interpretar rapidamente as informações de antecipação de abertura de porta e consequentemente, do pré-resfriamento também quando for o caso.

Quadro 12 - Recomendações de tempo máximo de abertura de porta para o descarregamento de carga de acordo com o tempo de antecipação de uma entrega

Tempo de antecipação da abertura de porta (min)	Tempo máximo de abertura de porta (min)	Tempo de antecipação da abertura de porta (min)	Tempo máximo de abertura de porta (min)
0	17	49	16
1	17	50	16
2	17	51	16
3	17	52	16
4	17	53	16
5	17	54	16
6	17	55	16
7	17	56	16
8	17	57	16
9	17	58	16
10	17	59	16
11	17	60	16
12	17	61	16
13	17	62	16
14	17	63	16
15	17	64	16
16	17	65	16
17	17	66	16
18	17	67	16
19	17	68	16
20	17	69	15
21	17	70	15
22	17	71	15
23	17	72	15
24	17	73	15
25	17	74	15
26	17	75	15
27	17	76	15
28	17	77	15
29	17	78	14
30	17	79	14
31	17	80	14
32	17	81	14
33	17	82	14
34	17	83	14
35	17	84	13
36	17	85	13
37	17	86	13
38	17	87	13
39	17	88	12
40	17	89	12
41	17	90	12
42	16	91	11
43	16	92	11
44	16	93	11
45	16	94	10
46	16	95	10
47	16	96	9
48	16		

Fonte: Autor

6.4 Considerações finais sobre as simulações do modelo de controle e requisitos da arquitetura proposta

Esta seção apresentou os resultados obtidos por meio da concepção do modelo nas simulações realizadas. Foi abordado desde o início da modelagem, inserindo requisitos, até a simulação que aplicou o controle de temperatura. Foram obtidos os tempos mínimos necessários para que haja o pré-resfriamento bem como os tempos em que a porta pode permanecer aberta caso antecipações de entrega/descarga sejam realizadas.

7. PROPOSTA DE ARQUITETURA E RASTREABILIDADE DO SISTEMA

Este tópico tem como objetivo apresentar componentes e alguns requisitos da arquitetura do sistema proposto, juntamente com a rastreabilidade dos processos de coleta de dados, como forma de exemplificar o modelo.

Como o objetivo maior deste trabalho não foi elaborar uma arquitetura para o sistema, este tópico levantará somente os fundamentos e descrição das camadas, a fim de complementar a pesquisa. Ressalta-se que o modelo prevê a coleta e acompanhamento dos processos desde o fruto no campo até chegar, por exemplo, ao mercado varejo ou atacado.

A concepção da arquitetura proposta neste item seguiu exemplos desenvolvidos nos trabalhos de Campos (2017), que desenvolveu uma arquitetura voltada para a cadeia do vinho, e de Aung (2014), que apresentou uma arquitetura e a caracterização da cadeia do frio.

7.1 Definição do Domínio

Neste item será apresentado o escopo do tema a ser apresentado na arquitetura, considerando os seus requisitos e formalidades conceituais.

7.1.1 Escopo e Definição do Domínio

Este trabalho envolve o transporte de produtos agrícolas perecíveis ao longo de percurso, principalmente entre uma central de abastecimento até os centros varejistas e atacadistas. Entretanto, com o objetivo de se analisar a cadeia do frio, já discutida no Capítulo 4, sob o aspecto da arquitetura de sistema, será levantado neste item, algumas informações consideradas relevantes na concepção deste modelo.

Um dos grandes problemas enfrentados pela cadeia do frio é a adoção por cada agente da cadeia (produtor agrícola, transportadoras, armazenadores e varejistas e atacadistas) de um sistema próprio de gerenciamento de informação e

dados. Isso acarreta em custos mais elevados e também em prejuízos no acompanhamento da carga agrícola ao longo de toda a cadeia.

Por exemplo, produtores rurais estruturados possuem sistemas personalizados e próprios de gerenciamento de dados, desde dados relativos ao tempo e clima, até outras informações dentro do contexto da agricultura de precisão, como dados paramétricos de veículos agrícolas (tratores e colhedoras). Ainda há casos em que na própria propriedade, o produtor faz um pré-beneficiamento do produto, como lavagem e encaixotamento para ser direcionado a um armazém agrícola ou diretamente ao mercado varejista ou atacadista.

A organização de todas estas informações, como lote e outros dados relevantes para rastreabilidade do produto, geralmente se encerra após a porteira, sendo que o mais corriqueiro é o próximo elo da cadeia saber a origem de seu produto. Assim, não há uma continuidade de fluxo de informação ao longo da cadeia, sendo que o mesmo ocorre nas outras etapas.

Percebe-se que a não continuidade no fluxo de informações e também a falta de um sistema que possa gerenciar todos os dados gerados em todos os elos da cadeia, acarreta na carência de soluções tecnológicas para a cadeia do frio, em se tratando de sistemas de informação unificado.

No caso da cadeia do frio, há uma carência sistemas que possam capturar dados, armazená-los, gerenciá-los, tratá-los utilizando alguma forma de inteligência artificial, bem como disponibilizar todas as informações a todos os agentes da cadeia do frio. Assim, no caso deste trabalho, que concebeu um modelo de controle PID para aplicação no pré-resfriamento no transporte refrigerado de produtos agrícolas perecíveis, foram levantados alguns problemas relacionados a todos os agentes da cadeia, conforme Figura 56.

Figura 56 - Fluxo de carga e informações ao longo da cadeia do frio para produtos perecíveis.

Fonte: Autor

Foi neste sentido que foi criada uma proposta de arquitetura que unificasse todas as demandas e necessidades de gestão de dados para os agentes da cadeia do frio, levando também em consideração a privacidade e segurança do sistema, conforme será apresentada no item a seguir.

7.2 Arquitetura proposta

Neste item será apresentada a proposta de arquitetura, baseada na ideia de unificação de necessidades advindas dos agentes da cadeia do frio relacionadas ao gerenciamento de dados que permeiam os processos. Estes processos por onde passam os produtos agrícolas perecíveis permeiam todos os elos da cadeia e geram uma grande quantidade de dados a serem armazenados, processados, tratados e que possam ser analisados de forma que virem informação útil que auxilie tomadores de decisão em suas rotinas.

Foi definido na modelagem desta arquitetura que a arquitetura em camadas é a que consegue representar melhor este modelo, pelo fato de que esta proposta une soluções já existentes entre os agentes da cadeia do frio (SOMMERVILLE, 2011). O Quadro 13 apresenta algumas características da arquitetura em camadas, que foram consideradas para a concepção deste capítulo.

Quadro 13 - Padrão de arquitetura em camadas

Nome	Arquitetura em camadas
Descrição	Organiza o sistema em camadas com a funcionalidade relacionada associada a cada camada. Uma camada fornece serviços à camada acima dela; assim os níveis mais baixos de camadas representam os principais serviços suscetíveis de serem usados em todo o sistema.
Exemplo	Um modelo em camadas de um sistema para compartilhar documentos com direitos autorais, em bibliotecas diferentes.
Quando é usado	É usado na construção de novos recursos em cima de sistemas existentes; quando o desenvolvimento está espalhado por várias equipes, com a responsabilidade de cada equipe em uma camada de funcionalidade; quando há um requisito de proteção multinível.
Vantagens	Desde que a interface seja mantida, permite a substituição de camadas inteiras. Recursos redundantes (por exemplo, autenticação) podem ser fornecidos em cada camada para aumentar a confiança do sistema).
Desvantagens	Na prática, costuma ser difícil proporcionar uma clara separação entre as camadas, e uma camada de alto nível pode ter que interagir diretamente com camadas de baixo nível, em vez de através da camada imediatamente abaixo dela. O desempenho pode ser um problema por causa dos múltiplos níveis de interpretação de uma solicitação de serviço, uma vez que são processados em cada camada.

Fonte: Sommerville (2011)

Em relação a estas informações, deseja-se, que elas voltem aos usuários na forma de serviços, com a devida segurança e interface com usabilidade para o usuário. Assim, a arquitetura proposta apresenta a reunião de todos estes parâmetros e conceitos imaginados para que ela atenda à demanda da cadeia do frio no sentido de integração dos requisitos de cada camada. A Figura 57, apresenta a arquitetura proposta e os detalhes dela serão descritos na sequência.

Figura 57 - Arquitetura proposta para o modelo apresentado

Fonte: Autor

Camada Física:

Esta camada é composta pelos elementos físicos da arquitetura relacionadas ao longo de toda a cadeia produtiva. Fazem parte desta camada elementos como sensores, que irão capturar informações e dados que serão

armazenados em uma “DataBase” local. Estes dados serão, então, transmitidos posteriormente ao servidor, que estará conectado à Nuvem (“Cloud”) que, além de armazenar as informações de toda a cadeia, proverá serviços para os usuários.

Os componentes desta camada são sensores instalados no campo de produção agrícola, como os de temperatura e umidade relativa do ar, bem como o de umidade do solo. Estas informações são úteis para geração de dados de rastreabilidade que serão disponibilizados a todos os agentes da cadeia do frio, inclusive o consumidor final.

No caso da etapa de transporte, que é a etapa principal deste trabalho, estes sensores de temperatura e umidade do ar são de extrema importância. Para gestão e comunicação dos dados coletados, poderá ser utilizado protocolos de comunicação como 4G, GSM, GPRS, RFID e no caso de redes de sensores sem fio o ZigBee.

Para se obterem informações na gestão do transporte das cargas agrícolas, como adiantamento da entrega, ou seja, quando será necessário adiantar a etapa de pré-resfriamento, os módulos de localização em tempo real por meio da comunicação do protocolo GPRS podem indicar ao sistema embarcado no caminhão refrigerado qual será o novo tempo estimado até a próxima entrega. Assim, neste caso, é relevante a confiabilidade com que estas informações sejam transmitidas, bem como se o dado gerado está de acordo ou não.

Conexão:

Esta camada é responsável por realizar a integração da grande quantidade de informações geradas no sistema e torná-las disponíveis aos requerentes por estes dados ao longo da cadeia.

Por exemplo, o dado de leitura da temperatura deve estar o mais exato possível, devido ao fato de que é com base nesta leitura que o sistema vai ficar pré-resfriado por mais ou menos tempo. No entanto, um agente pode requerer uma informação de leitura de temperatura da carga agrícola da fruta quando ela está sendo

carrega para o interior da câmara refrigerada. E deseja saber ao mesmo tempo, a temperatura da carga de outro caminhão quando ela está sendo descarregada.

Todavia, estes dados podem ter sido gerados por diferentes sensores e transmitidos por protocolos de comunicação diferentes. A ideia desta camada é realizar padronização destas leituras de informações de forma automática, dentro do contexto da Internet das Coisas, conforme exemplo podem ser encontrados nos trabalhos e referências levantados no capítulo da Revisão Bibliométrica.

A questão da privacidade e segurança destes dados é preponderante também, sendo que os dados, embora na concepção deste modelo eles estejam disponíveis a todos os agentes da cadeia, devem permanecer fechados dentro desta malha, devido aos investimentos realizados pelos agentes da cadeia para a manutenção do sistema.

Camada de Dados:

Esta camada é composta pelo conjunto de dados e informações que perpassam no sistema. Ela recebe as requisições da camada de serviços e armazena estes pedidos em um Banco de Dados (BD). Quando há a necessidade de se alterar algo no BD, somente seriam alteradas as classes da camada, sendo que o restante das outras camadas não seria afetado.

Ademais, esta camada é responsável pelo armazenamento e, sempre que solicitado, fornece a recuperação dos dados. A fonte de dados deve ser mantida independente, como forma de garantir a manutenção das informações em funcionamento em diversas sessões.

Dessa forma, isto ajuda na persistência de objetos, que é justamente a capacidade que uma aplicação possui de manter as informações em diferentes sessões de uso. Esta característica é relevante para o caso da cadeia do frio, em que muitos usuários podem solicitar informações da base de dados e a aplicação necessita ser mantida disponível e operante. As solicitações destas informações podem vir acompanhadas da análise de dados.

Por exemplo, quando um agente da cadeia solicita informações da temperatura da carga de frutas transportadas por um determinado caminhão refrigerado, estes dados podem vir acompanhados de um histórico deste valor, para este mesmo modelo de caminhão e fruta transportada. Dessa forma, o gestor poderá avaliar, com o auxílio do sistema, se será necessária uma intervenção no transporte junto ao motorista ou se a situação está dentro do esperado.

A manutenção do sistema do banco de dados é importante neste cenário, dado que as solicitações diversas ao banco devem atender às necessidades estimadas e também em um tempo muito curto de processamento destes dados. Assim, o processamento destes dados é também uma etapa preponderante neste modelo, bem como a interoperabilidade dos diversos sistemas atuantes no modelo da arquitetura, a fim de que o sistema consiga operar com fluxos de informações diversas.

Camada de Interface com o Usuário: Serviços

A camada de serviços é responsável pela gestão dos dados no sistema, bem como sua disponibilização junto aos usuários. No caso deste modelo, a nuvem irá além de armazenar os dados, irá prover os serviços por meio da internet, ou seja, “online”. A lógica de apresentação da camada de serviço, interage com a de domínio, que age então como um “Interface de programação de aplicações” (API) para aplicação.

A camada de serviço fornece uma API para cada caso de uso, e é apropriada para utilizações de invocação remota. Este tipo de solicitação possui geralmente custos elevados quando os sistemas atuantes não estão interligados. No caso, sistemas interoperáveis, no contexto da Internet das Coisas, podem auxiliar nesta tarefa e reduzir os custos.

Há também a possibilidade de apresentação dos dados disponibilizados na “webservice” por meio de interface customizável, em que podem ser selecionados por dia/mês/ano, intervalo horário, ambiente, sensor(es) e grandeza das informações a serem solicitadas. Ferramentas como “Dashboards” podem apresentar os valores

das últimas leituras das grandezas monitoradas e, além disso, pode-se realizar o *download* de planilhas eletrônicas contendo todas as medições dentro de um período selecionado (histórico de dados).

É possível também a geração de gráficos para a visualização de conformidade de variáveis com normas pertinentes, tanto em valores como em porcentagem do tempo. Podem ser implantados alarmes relativos a eventos indesejados (valores críticos), tanto por SMS como e-mail, sendo direcionados aos responsáveis pelos ambientes e/ou, neste caso, diretamente ao sistema de climatização.

Este recurso possibilita que se corrijam, no período mais curto possível, condições ambientais inadequadas, sem comprometimento da saúde e produtividade dos ocupantes dos locais monitorados e/ou da qualidade dos produtos ali armazenados.

Estes dados armazenados podem gerar um histórico e serem exportados para sistemas externos relativos à rastreabilidade, inclusive sistemas compatíveis com a arquitetura EPCglobal®.

Segurança e Privacidade:

Em relação aos aspectos de segurança e privacidade, esta camada deve permear todas as outras camadas, e em se tratando de dados estratégicos para a cadeia do frio, bem como para garantir as entregas de serviços e produtos, ela é imprescindível atualmente. Ela deve oferecer segurança e privacidade de todos os dados gerados, armazenados a serem disponibilizados no sistema e aos usuários.

As outras camadas possuem módulos de segurança implementados em seus sistemas, mas outras questões de segurança são relevantes quando se trata de todo o sistema em questão. Mecanismos de como autenticação, garantem a identidade dos usuários legítimos do sistema, impedindo o acesso dos demais. A confidencialidade das informações, garante que os dados coletados e armazenados não sejam acessados por terceiros. Já a integridade dos dados, garante que os dados

não sejam modificados durante o tráfego pela rede. A autorização de acesso, garante que os usuários possam acessar somente a parcela dos dados a eles disponibilizados por uma administração central.

É relevante considerar a não-repudição de origem dos dados. Este nível de segurança implica na assinatura digital dos pacotes de dados, utilizando-se certificados digitais emitidos por autoridade certificadora pertencente à estrutura da ICP-Brasil. Tanto cliente como prestador de serviço necessitam implementar estes certificados. Desta maneira, é possível a utilização da tecnologia XML-Dsig para a codificação e assinatura dos dados em conteúdos XML, a serem transmitidos pelos “web services”.

7.3 Considerações finais do capítulo

Nesta seção foi apresentada uma proposta preliminar de uma modelo de arquitetura do sistema aliada aos processos de rastreabilidade de um produto agrícola perecível. Primeiramente foram estabelecidos alguns critérios para escolha do tipo de arquitetura a ser desenvolvida para este modelo de sistema, em seguida foram descritos os cenários e escopo do problema ser desenvolvido e posteriormente a foi concebida a arquitetura em camadas e suas caracterizações.

Concomitantemente à construção da arquitetura e sua descrição, foram também desenvolvidas neste capítulo, algumas questões de implementação. Assim, este capítulo foi relevante no sentido de concretizar alguns pontos e unificar processos e situações previstas somente no modelo de controle.

8. CONCLUSÕES

Nesta seção serão apresentadas as conclusões, que são os resultados apresentados de forma resumida e objetiva, potenciais de aplicação, pesquisas futuras, dificuldades enfrentadas na pesquisa e depósito de patente.

8.1 Avaliação dos resultados

Esta pesquisa abordou o problema do transporte refrigerado de produtos agrícolas perecíveis, mais especificamente as etapas de carregamento e descarregamento. Estas etapas, como citado anteriormente são críticas no que concerne o controle de temperatura e consequentemente a preservação dos atributos de qualidade dos produtos.

Por meio desta pesquisa, pode-se atender à hipótese levantada no item da Metodologia, em foi abordado se seria possível inserir uma etapa de pré-resfriamento realizado pelo sistema de refrigeração, a fim de reduzir os impactos negativos de abertura de portas do caminhão. Esta etapa de pré-resfriamento seria possível por meio de uma redução da temperatura utilizando a Teoria de Controle.

Pode-se então concluir, que a introdução da etapa de pré-resfriamento em transporte refrigerado de produtos agrícolas perecíveis aliado à utilização do controle de temperatura para que este permanecesse dentro da faixa ideal de conservação desejada possui potencial para aplicação em sistemas comerciais.

Atualmente, a maior parte do controle de temperatura utilizado no transporte de cargas de produtos agrícolas perecíveis é realizado com controlador termostático. Ocorre que a aplicação deste tipo de controle, ocorrem variações de temperatura mais pronunciadas em relação ao controlador de algoritmo PI. Dessa forma, a apresentação da estratégia de pré-resfriamento, de acordo como foi modelado e simulado neste trabalho, conseguiu manter as temperaturas dentro da faixa de conservação ideal, para o caso da laranja.

Ressalta-se que caso a temperatura suplantasse o limite superior da faixa ideal de conservação, no caso 8 °C, o produto transportado ficaria suscetível à

danos por elevação da temperatura afetando negativamente seus atributos de qualidade. Assim, em situações em que a temperatura excedesse o limite superior, há o aumento do tempo necessário para que a temperatura volte ao seu nível ideal de conservação. Também, caso isso ocorra, o tempo máximo necessário que o entregar teria para realizar a etapa de entrega (descarregamento) da carga, ou seja, o tempo máximo que a câmara poderia permanecer com a porta aberta, seria menor.

O presente trabalho atendeu também ao que não se propõe na norma NBR14701, que é a etapa de pré-resfriamento como estratégia de manutenção da temperatura dentro da faixa indicada. A etapa de pré-refrigeração é proposta por esta pesquisa utilizando o controle de temperatura é um diferencial obtido em relação ao que existe atualmente, sendo que, apesar restrições do modelo proposto, apresentou potencial de aplicação em outras cadeias de suprimentos que utilizam o transporte refrigerado.

O Quadro 12 apresenta-se como uma tabela prática para verificação dos tempos mínimos de pré-resfriamento da câmara refrigerada, bem como a obtenção da informação do cenário em que o operador da carga necessita antecipar a entrega da carga. Neste cenário, o operador da carga pode guiar-se nesta tabela, verificando quanto tempo ele terá, no máximo, para a realização da descarga do produto, permitindo inclusive a mobilização antecipada de mais operadores para a execução desta etapa.

Ademais, o Capítulo 7 apresentou uma proposta de arquitetura do sistema proposto concatenado com os processos de rastreabilidade do sistema. Esta arquitetura foi concebida em termos gerais, dado que essa análise não era o objetivo desta pesquisa.

Essa arquitetura possibilita uma visão mais ampla do sistema, podendo auxiliar em estudos futuros, quando o sistema proposto for implementado. O projeto deste sistema tornou-se mais claro com a caracterização de cada camada da arquitetura proposta, bem como por meio da apresentação de aspectos da sua implementação.

8.2 Potenciais de aplicação

Há o potencial de aplicação desta estratégia utilizando o controle de temperatura para outros produtos que necessitam permanecer dentro de uma determinada faixa de temperatura, como são os casos de carnes congeladas e refrigeradas, ovos, chocolates e medicamentos, cujos dados ideais de conservação apresentam-se nos ANEXOS A e D.

O potencial de aplicação da estratégia de pré-resfriamento possui seu potencial ampliado para produtos com maior valor agregado, como frutas no caso da manga que é exportado para países da União Europeia e Japão. Não foi avaliado neste trabalho, os custos relacionados a adoção deste controle de temperatura, sendo este estudo podendo ser realizado em oportunidade futura.

Outro potencial de aplicação deste modelo seria a utilização desse sistema em produtos eletrodomésticos, tais como geladeiras domésticas. Em momentos anteriores à chegada de uma pessoa com uma certa quantidade de compras, uma geladeira “inteligente” poderia prever a chegada desta pessoa e realizar o pré-resfriamento de seu compartimento por um determinado tempo a fim de que quando houvesse a abertura da porta, os alimentos dentro dela não sofressem com o aumento repentino da temperatura.

A segurança alimentar dos alimentos aumenta quando se possui um sistema em que a temperatura permanece dentro da faixa ideal de conservação, dessa forma, pode-se obter com maior confiabilidade sistemas de certificação e rastreabilidade do alimento agrícola perecível transportado. Isto garante ao comprador e também ao vendedor da carga que a temperatura não exceda limites devido à abertura de porta por tempo superior da recomendada no modelo proposto neste trabalho.

Às empresas transportadoras de cargas agrícolas perecíveis, este sistema demonstra-se vantajoso a fim de que elas possam garantir o transporte adequado e qualidade do produto transportado.

A união de áreas interdisciplinares necessárias para a concepção deste trabalho foi necessária afim de se tornar possível a simulação de uma estratégia de

pré-resfriamento utilizando controladores que possuem algoritmos PI para atuação no sistema.

Um outro potencial de aplicação do modelo de controle proposto neste trabalho é na Cadeia de Distribuição de Leite. O leite é uma matéria-prima muito sensível às variações de temperatura e sua qualidade é preponderante para a indústria alimentícia.

Ressalta-se que esse modelo, embora tenha sido simulado com os dados da laranja, pode ser extrapolado para outros produtos agrícolas perecíveis, tanto frutas, como hortaliças, até mesmo carnes, flores e medicamentos, no qual em suas etapas de transporte também são realizados na cadeia do frio. Esta extrapolação do modelo viria da configuração do modelo de acordo com os valores ótimos de conservação de cada produto, que precisaria ser levantado.

8.3 Pesquisas futuras

Os trabalhos futuros imaginados a partir desta pesquisa dizem respeito a testar o modelo para vários tipos de produtos agrícolas, como outras frutas, hortaliças e até mesmo carnes congeladas e resfriadas.

O protótipo pode ser desenvolvido e testar a localização do sensor de temperatura em outros pontos do interior do contêiner refrigerado. A patente do sistema e modelo concebido será escrita e o depósito de patente junto à USP Inovação será realizada.

Pode-se realizar testes de controle da umidade para que esta possa interagir positivamente com a variável de temperatura bem com outras. Outra oportunidade de pesquisa futura, diz respeito da possibilidade de aliar este modelo de controle de temperatura diretamente aos atributos de qualidade dos produtos agrícolas perecíveis. Por exemplo, poderá ser executado um experimento em que sejam realizadas simulações de tempo de abertura de porta e a previsão de qualidade do produto transportado quando este chegasse ao seu destino.

Esta aplicação poderia ter campo no contexto de produtos agrícolas perecíveis exportados pelo Brasil, que possuem valor agregado maior em relação a outros alimentos. Em trabalhos futuros, também poderia ser estudada outras variáveis, por exemplo, como O_2 e CO_2 poderiam ser incorporadas, constituindo-se um sistema de multivariáveis.

A avaliação da sustentabilidade e eficiência energética do sistema propostos poderá ser avaliada de forma a analisar se ele contribui para a economia de energia. Assim, uma pesquisa de comparação entre os sistemas atuais e o sistema proposto neste trabalho, quanto ao gasto energético, seria um trabalho relevante em continuidade a este trabalho.

Uma evolução também relevante em relação a este trabalho seria a proposição de uma solução mais abrangente e atual, considerando o contexto da Internet das Coisas (IoT). O levantamento bibliométrico realizado atesta a importância crescente da IoT, e em particular na área agrícola.

Desenvolvendo-se, por exemplo, um equipamento baseado em técnicas de IoT para ser acoplado ao sistema de controle do veículo de transporte de cargas refrigeradas, as condições de transporte poderiam ser acompanhadas ao longo de todo o percurso, não apenas registrando-as, mas também possibilitando ações mais eficazes de controle, a partir de informações sobre a rota e os instantes de parada e descarga previstos.

8.4 Dificuldades enfrentadas

As principais dificuldades enfrentadas no decorrer desta pesquisa, foram principalmente em relação ao acesso de dados disponível para realizar a simulação do modelo concebido. Além disso, a introdução de outras variáveis para o controle das condições de conservação de alimentos agrícolas perecíveis torna o modelo mais complexo e a solução torna-se mais difícil.

8.5 Depósito de Patente

Foi identificado potencial de geração de patente desta pesquisa junto à consulta da Agência USP de Inovação, a agência por onde pesquisadores da universidade podem entrar com pedido de patente de resultantes de pesquisas realizadas no ambiente da universidade e/ou em parceria com outras instituições. Dessa forma, a patente resultará em um produto tecnológico gerado, fruto da pesquisa realizada.

9. PUBLICAÇÕES E SUBMISSÕES NO PERÍODO DA PESQUISA

Artigos completos publicados em periódicos

1. MORES, G. de V.; ABBADE, E. B.; KAWANO, B. R.; SILVA, R. F.; CUGNASCA, C. E. An overview of the main topics on no-tillage researches. **Rama: Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 9, p. 357-369, 2016.
2. KAWANO, B. R.; SILVA, R. F.; MORES, G. V.; CUGNASCA, C. E. Tecnologias para a conservação pós-colheita. **Agroanalysis (FGV)**, v. 1, p. 29, 2016.
3. PIVOTO, D.; MORES, G. V.; SILVA, R. F.; KAWANO, B. R.; TALAMINI, E. *Smart farming* pode trazer ganhos ao agronegócio?. **Agroanalysis (FGV)**, v. 3, p. 31-33, 2016.
4. SILVA, R. F.; KAWANO, B. R.; MORES, G.V.; RODRIGUES, T. M.; ALBERNAZ, L. E. W.; YOSHIZAKI, H. T. Y.; CUGNASCA, C.E. Biodiesel: como definir a localização de unidades produtoras? **Agroanalysis (FGV)**, v. 34, p. 30-31, 2014.
5. KAWANO, D. R.; KAWANO, B. R.; PIVOTO, D.; BATISTA, L. L. O processo inflacionário e o consumo de vegetais e alimentos industrializados no Brasil: aspectos econômicos, climáticos e do comportamento do consumidor. **Navus Revista de Gestão e Tecnologia**, v. 4, p. 50-64, 2014.
6. SILVA, R. F.; MORES, G. V.; KAWANO, B. R.; CUGNASCA, C. E. As tecnologias RFID e RSSF. **Agroanalysis (FGV)**, v. 33, p. 30-31, 2013.
7. KAWANO, B. R.; MORES, G.de V.; SILVA, R. F.; CUGNASCA, C. E. Indústria de laticínios - eficiência energética é a chave da competitividade. **Agroanalysis (FGV)**, v. 33, p. 20, 2013.

Trabalhos completos publicados em anais de congressos

1. KAWANO, B. R.; MARÈ, R. M.; SILVA, R.F.; CUGNASCA, C. E. Traceability of the Brazilian wine chain: a model on radiofrequency technology and wireless sensor network. In: XI Congresso Brasileiro de Agroinformática - SBIAgro 2017. **Anais...** Campinas – SP, 2017.
2. KAWANO, B. R.; MARÈ, R. M.; LEITE, B. C. C.; CUGNASCA, C. E. Modelo de um sistema de conservação de alimentos baseado na IoT-A e seleção de elementos para Tabela de Decisão Adaptativa (TDA). In: IX Workshop de Tecnologia Adaptativa (WTA 2015), 2015, São Paulo - SP. Memórias do IX Workshop de Tecnologia Adaptativa – **Anais...**, São Paulo, 2015.
3. KAWANO, B. R.; MARÈ, R. M.; GOGLIANO SOBRINHO, O.; CUGNASCA, C. E. Agricultura inteligente no contexto da computação ubíqua: estado da arte e uma proposta de um modelo aplicado. In: 12th CONTECSI International Conference on Information Systems and Technology Management, 2015, São Paulo. **Proceedings...**São Paulo-SP, 2015.
4. MORES, G. de V.; GIEHL, R. B. T.; KAWANO, B. R.; DEWES, H. Food supply chain losses and waste: what are the challenges for the Brazilian soybean industry? In: IFAMA 25th Annual World Conference, 2015, Saint Paul, Minnesota. Become the solution: Food security 2050, 2015, Saint Paul, Minnesota - USA. IFAMA 25th Annual World Conference. **Proceedings...**Saint Paul, Minnesota, v. 25. p. 1-6, 2015.
5. SILVA, R. F.; KAWANO, B. R.; MARÈ, R. M.; CUGNASCA, C. E. Rastreabilidade de açúcar refinado no mercado interno: elaboração de um modelo utilizando as tecnologias de RFID e redes de sensores sem fio. In: Congresso Brasileiro de Agroinformática - SBIAGRO - 2015, 2015, Ponta Grossa. Anais do X Congresso Brasileiro de Agroinformática. **Anais...**Campinas-SP, v. 1. p. 1-10, 2015.
6. KAWANO, D. R.; KAWANO, B. R. Publicidade ubíqua e neurociência: reflexões sobre novas formas de consumo e experiência urbana no contexto da Internet das Coisas. In: 8º CONECO: Congresso de Estudantes de Pós-graduação em

Comunicação do Rio de Janeiro + XII PosCOM PUC-RJ, 2015, 8º Congresso de Estudantes de Pós-graduação em Comunicação do Rio de Janeiro, **Anais...**Rio de Janeiro-RJ, 2015.

7. SPANHOL, C. P.; MORES, G. V.; PIVOTO, D.; KAWANO, B. R.; DEWES, H. Expressão da ciência nas publicações sobre obesogenicidade da Food and Agriculture Organization e da World Health Organization. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia e Rural, 2015, João Pessoa. Agropecuária, meio ambiente e desenvolvimento - SOBER, 2015. **Anais...**,João Pessoa-PB, 2015 , v. 53. p. 1-16.

8. KAWANO, B. R.; MARÈ, R. M.; SOBRINHO, O. G.; SILVA, R. F.; CUGNASCA, C. E. A Rastreabilidade da cadeia de transporte da soja e proposta de um sistema de monitoramento para grãos sólidos agrícolas. In: XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014, 2014. **Anais...**Campo Grande-MS, 2014.

9. MORES, G. V.; ABBADE, E. B.; KAWANO, B. R. Qual é o futuro do consumo de alimentos no Brasil? Uma análise baseada na aquisição de alimentos e na segurança nutricional. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural (SOBER), 2013. **Anais...**,2013. v. 51. p. 01-10.

Submissão realizada:

Artigo no periódico: Computers and Electronics in Agriculture

ISSN: 0168-1699

Link do periódico: <https://www.sciencedirect.com/journal/computers-and-electronics-in-agriculture>

Título do artigo:

Proposal of a temperature control strategy based on pre-cooling of perishable agricultural products in refrigerated road transport

Submissão a ser realizada:

Artigo no periódico: Scientometrics

ISSN: 1588-2861

Link do periódico: <https://link.springer.com/journal/11192>

Título do artigo:

Bibliometric review of the internet of things and smart agriculture: the case of Brazil

REFERÊNCIAS

ABAKAROV, A.; NUÑEZ, M. Thermal food processing optimization: algorithms and software. **Journal of Food Engineering**, v. 115, n. 4, p. 428-442, 2013.

ABIAF. **Associação Brasileira da Indústria de Armazenagem Frigorificada**. 2010. Disponível em: <<https://www.abiaf.org.br/>>. Acesso em: 1 mar. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT Catálogo. Rio de Janeiro, c2015. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/>>. Acesso em: 30 jun. 2017.

_____. NBR 14701: Transporte de produtos alimentícios refrigerados - Procedimentos e critérios de temperatura. Rio de Janeiro, 2001. 7 p.

AGUILAR, J. C. P. **Abordagem Semântica Aplicada ao Gerenciamento de Dados em Redes de Sensores sem Fio**. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. 2008.

ANEILA. **Recomendaciones para el Agricultor: Cadenas de Frío**. Disponível em <<https://agronegocios.uniandes.edu.co/2015/10/23/recomendaciones-para-el-agricultor-cadenas-de-frio/>>. Acesso em: 23 jan. 2018.

ARI, A. A. A. et al. Concepts and evolution of research in the field of wireless sensor networks. **International Journal of Computer Networks & Communications**, v. 7, n. 1, p. 81-98, 2015.

ASHTON, K. **That Internet of Things in the real world, things matter more than ideas**, 2009. Disponível em: <<http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>>. Acesso em: 26 nov. 2015.

AUNG, M. M.; CHANG, Y. S. Traceability in a food supply chain: safety and quality perspectives. **Food control**, v. 39, p. 172-184, 2014.

_____. Temperature Management for the Quality Assurance of a Perishable Food Supply Chain. **Food Control**, v. 40, p. 198-207, 2014.

BADIA-MELIS, R. et al. Assessing the dynamic behavior of WSN motes and RFID semi-passive tags for temperature monitoring. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 103, p. 11-16, 2014.

BASHIR, A. K. et al. Energy efficient in-network RFID data filtering scheme in wireless sensor networks. **Sensors**, v. 11, n. 7, p. 7004-7021, 2011.

BAZZO, W. A.; PEREIRA, L. T. V. **Introdução à engenharia: conceitos, ferramentas e comportamentos**. Florianópolis: Ed. UFSC, 2006. 270p.

BERNARD, A. The Belgian PCB/dioxin incident: analysis of the food chain contamination and health risk evaluation. **Environmental research**, v. 88, n. 1, p. 1-18, 2002.

BOGATAJ, M.; BOGATAJ, L.; VODOPIVEC, R. Stability of perishable goods in cold logistic chains. **International Journal of Production Economics**, v. 93, p. 345-356, 2005.

BOTTA, A. et al. Integration of cloud computing and internet of things: a survey. **Future Generation Computer Systems**, v. 56, p. 684-700, 2016.

BWS. **Modern trailers controls the temperature**. Disponível em <<https://www.bws.net/en/what-we-do/business-areas/reefer-logistics>>. Acesso em: 19 nov. 2017.

CAPELLA, J. V. et al. An approach to the wireless sensor network design for stored food robust monitoring. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING, AND SOCIAL MEDIA, 2014, Tessaloniki. **Proceedings...** Tessaloniki: 2014. 6 p.

CARTASEGNA, D. et al. Smart RFID label for monitoring the preservation conditions of Food. In: IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CIRCUITS AND SYSTEMS, 2009, Taipei. **Proceedings...** Taipei: 2009. 4 p.

CHEN, R. Y. Autonomous tracing system for backward design in food supply chain. **Food Control**, v. 51, p. 70-84, 2015.

CHEUNG, A.; KAILING, K.; SCHONAUER, S. Theseos: a query engine for traceability across sovereign, distributed RFID databases. In: DATA ENGINEERING, 2007. ICDE, 23., IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 2007, **Proceedings...**, Istanbul: 2007. p.1495-1496

COELHO, J. **Conservação dos alimentos**. 2012. Disponível em: <<http://nohorizontedasaudeambiental.blogspot.com.br/2012/04/conservacao-dosalimentos.html>>. Acesso em: 28 set. 2017.

COMMISSION, E. Regulation (EC) No 178/2002 of the European Parliament and of the Council of 28 January 2002 laying down the general principles and requirements of food law, establishing the European Food Safety Authority and laying down procedures in matters of food safety. **Official Journal of the European Communities**, v. 31, n. 1, p. 1-24, 2002.

CROSSE-ETP. **Vision Document**. Disponível em <http://www.future-internet.eu/fileadmin/documents/reports/Cross-ETPs_FI_Vision_Document_v1_0.pdf>. Acesso em: 3 out. 2015.

CRUZ, M. M.; RISTOW, N. C.; SANTOS L. T. S.; LIMA, M. A. C. **Qualidade e armazenamento refrigerado de mangas 'Florigon' e 'Momi-K' conservadas em banco ativo de germoplasma**. Embrapa, 2014. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/995970/1/Dora11.pdf>>. Acesso em: 18 dez. 2015.

DIAS, M. L. R. **Cadeia logística segura brasileira: suprimento internacional de carne bovina industrializada e rastreabilidade**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. 2012.

DI PALMA, D. et al. Distributed monitoring systems for agriculture based on wireless sensor network technology. **International Journal on Advances in Networks and Services**, v. 3, n. 1,2, p. 18-28, 2010.

DRAGOS, C. M.; DRAGOS, S. L. Scientific productivity versus efficiency of R&D financing: bibliometric analysis of African countries. **Current Science**, v. 106, n.1, p.942-945, 2014.

ELKHODR, M.; SHAHRESTANI, S.; CHEUNG, H. The Internet of Things: Vision & Challenges. In: IEEE TENCON SPRING 2013 CONFERENCE. IEEE, February 17, 2013. **Proceedings....** Sydney: 2013. p. 218-222.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Resfriamento na conservação das frutas e hortaliças. Disponível em: <<https://www.sna.agr.br/resfriamento-na-conservacao-das-frutas-e-hortalicas/>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

ERDOGDU, F. et al. A computational study to design process conditions in industrial radio-frequency tempering/thawing process. **Journal of Food Engineering**, v. 213, p. 99-112, 2017.

FAO. **Relatório de perdas de alimentos**. Organização Mundial para Alimentação e Agricultura (FAO) 2013. Disponível em: <<https://www.fao.org.br/daccatb.asp> e <http://www.fao.org/docrep/018/i3347e/i3347e.pdf>>. Acesso em: 23 out. de 2015.

FAO. **O estado da segurança alimentar e nutricional do Brasil**. Organização Mundial para Alimentação e Agricultura (FAO). Disponível em: <https://www.fao.org.br/download/SOFI_p.pdf>. Acesso em: 26 out. de 2015.

FORBES, et al. Model Predictive Control in Industry: Challenges and Opportunities. **IFAC-PapersOnLine**, v. 48, p. 531-538, 2015.

FRANKLIN G. F. et al. **Feedback Control of Dynamic Systems**, 5th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, 2006. 880 p.

FUBING. Research on the agriculture intelligent system based on IOT. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMAGE ANALYSIS AND SIGNAL PROCESSING -CHINA (IASP). **Proceedings...** Hangzhou: 2012. p. 1-4.

GARTNER. **2015 Hype Cycle Hype Cycle for Emerging Technologies Maps Out Evolving Relationship Between Humans and Machines**. Disponível em:<<https://www.gartner.com/doc/3100227/hype-cycle-emerging-technologies->>. Acesso em: 23 dez. 2015.

GARTNER. **2018 Hype Cycle Hype Cycle for Emerging Technologies 5 Trends Emerge in the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies**, 2018. Disponível

em:< <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-emerge-in-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2018/>>. Acesso em: 6 fev. 2018.

GAZETA. **Descarregamento de bananas**. Disponível em <<http://jornalgazetaonline.com.br/ceasa-de-simoes-filho-recebe-45-caminhoes-com-frutas-cereais-e-outros-produtos/>>. Acesso em: 14 dez. 2017.

GIUSTO, D.; IERA, A.; MORABITO, G.; ATZORI, L. **The Internet of Things**, Springer, 2010. 442p.

GS1. **The EPCglobal Architecture Framework Version 1.4**. Disponível em: <http://www.gs1.org/gsmp/kc/epcglobal/architecture/architecture_1_4-framework-20101215.pdf>. Acesso em: 29 mai. 2012.

GUSTVSSON, J. **Global food losses and waste: extent, causes and prevention**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, Swedish Institute for Food and Biotechnology, 2011.

HAFLIOASON, T. et al. Criteria for temperature alerts in cod supply chains. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 42, n. 4, p. 355-371, 2012.

HASSAN, S.; HADDAWY, P.; ZHU, J. A bibliometric study of the world's research activity in sustainable development and its sub-areas using scientific literature. **Scientometrics**, v..99, ed. 2, p.549-579, 2014.

HAIDER, W.; REHMAN, A.; DURRANI, M. N. Towards Decision Support Model for Ubiquitous Agriculture. In: EIGHTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON DIGITAL INFORMATION MANAGEMENT. **Proceedings...** Islamabad: 2013. p. 308 – 313.

HAN, A.; LI, J.; PENG, H.; CHEN, Z.; LIAO, Z. Multi-Objective Optimization Control in Monitoring System for Facility Agriculture Based on Wireless Sensor Network. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER SCIENCE AND AUTOMATION ENGINEERING. Shanghai. **Proceedings...**Shanghai: 2011. p. 545-549.

HIRAI, W. G. Food Security and Sustainability. Global Social Transformation and Social Action: The role of the social workers. **Social Work-Social Development**, vol. 3, p.47-50, 2014.

HIRAKAWA, A. R. **Sistema de gerenciamento de temperatura e umidade para ambientes embarcados: uma aplicação ao transporte de frutas**. 1992. 134 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. 1992.

HSIAO, H.; HUANG, K. Time-temperature transparency in the cold chain. **Food Control**, v. 64, p. 61-68, 2016.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 12 mar. 2018.

ILIE-ZUDOR, E. A survey of applications and requirements of unique identification systems and RFID techniques. **Computers in Industry**, v. 62, n. 3, p. 227-252, 2011.

INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION (EUA). Jin, F. et al. **Refrigerated transport temperature regulation**. US 20170082335A1, 23 set. 2015, 23 mar. 2017.

ISO, I.O. F. S. ISO 8402 (1994), International Standard: **Quality Management and Quality Assurance** – Vocabulary. Geneva, Switzerland, 1994.

ITI. **INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO. Certificado Conceitos**. Disponível em: <<http://www.icpbrasil.gov.br/twiki/bin/view/Certificacao/CertificadoConceitos>>. Acesso em: 6 jul. 2010.

ITU REPORT. **The Internet of Things**. International Telecommunication Union, 2005. 125p.

JAEHAK, Y. et al. Adaptive internet of things and web of things convergence platform for internet of reality services. **J Supercomput**, v. 72, p. 84-102, 2016.

JOACHIN, W.; WALEWSKI, S. **Internet of Things Architecture IoT-A**. Deliverable D1.4. Converged architectural reference model for the IoT, v.2.0, 2012.

JURAN, J.; GODOFREY, A. B. **Quality Handbook**. Republished McGraw-Hill, 1999. 992 p.

KACIMI, R.; DHAOU, R.; BEYLOT, A-L. Using energy-efficient wireless sensor network for cold chain monitoring. In: 6th IEEE CONFERENCE ON CONSUMER COMMUNICATIONS AND NETWORKING CONFERENCE, 2009, Las Vegas. **Proceedings...** Las Vegas: 2009. 5 p.

KALOXYLOS, A.; EIGENMANN, R.; TEYE, F.; POLITOPOULOU, Z.; WOLFERT, S.; SHRANK, C.; DILLINGER, M.; LAMPROPOULOU, I.; ANTONIOU, E.; PESONEN, L.; NICOLE, H.; THOMAS, F.; ALONISTIOTI, N.; KORMENTZAS, G. Farm management systems and the Future Internet era. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 89, n.1, 130–144, 2012.

KAWANO et al. Rastreabilidade da cadeia do vinho brasileiro: um modelo baseado em tecnologia de radiofrequência e rede de sensores sem fio. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 2017, Campinas. **Proceedings...** Campinas: 2017.

KAWANO et al. Tecnologias para a conservação pós-colheita. **Agroanalysis**, v. 1, p. 29-30, 2016.

LADO, B. H.; YOUSEF, A. E. Alternative food-preservation technologies: efficacy and mechanisms. **Microbes and Infection**, v. 4, n. 4, p. 433-440, 2002.

LATOUCHE, K.; RAINELLI, P.; VERMERSCH, D. Food safety issues and the BSE scare: some lessons from the French case. **Food policy**, v. 23, n. 5, p. 347-356, 1998.

LI, D.; KEHOE, D.; DRAKE, P. Dynamic planning with a wireless product identification technology in food supply chains. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 30, p. 938-944, 2006.

LIN et al. Review of Temperature and Humidity Control Technology for Heat Pump and Air Conditioning Systems. In: INTERNATIONAL REFRIGERATION AND AIR CONDITIONING CONFERENCE, 2016, Purdue. **Proceedings...**Purdue: IRACC, 2016.

LIN, X.; NEGENBORN, R. R.; LODEWIJKS, G. Survey on operational perishables quality control and logistics. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTATIONAL LOGISTICS, 2015, Delft. **Proceedings...** Delft: 2015. p. 398-421.

MACHADO, J. G. C. F.; NANTES, J. F. D. A visão institucional do processo de rastreabilidade da carne Bovina. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA AGRO-PECUÁRIA, 2004, Santarém. **Proceedings...** Santarém: 2004. 11p.

MANZARI, S. et al. Humidity sensing by polymer-loaded UHF RFID antennas. **IEEE Sensors Journal**, v. 12, n. 9, p. 2851-2858, 2012.

MAPA. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Disponível em <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_tematicas/Infraestrutura_e_logistica/29RO/CTLOG%20Novembro%202012%20Final.pdf>. Acesso em: 22 jan. de 2014.

MAYNE, D. Robust and stochastic model predictive control: Are we going in the right direction? **Annual Reviews in Control**, v. 41, p. 184-192, 2016.

MCCARTHY, U.; UYSAL, I.; BĂDIA-MELIS, R.; MERCIER, S.; O'DONNELL, C.; KTENIOUDAKI, A. Global food security – Issues, challenges and technological solutions. **Trends in Food Science & Technology**, v.77, p. 11-20, 2018.

MELLO, G. C. S.; JULIÃO, L.; TAPETTI, R. Cadeia do Frio. **Hortifruti Brasil**, v. 1, p. 8-17, 2011.

MERCIER, S. et al. Time–Temperature Management Along the Food Cold Chain: A Review of Recent Developments. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 16, p. 647-667, 2017.

MORETTI, C. L. Boas práticas agrícolas para a produção de hortaliças. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 2, 2003.

NDC. **Carregamento de cebola**. Disponível em <<https://www.flogao.com.br/ninjasdoceara/144051891>>. Acesso em fev. 2018.

NISE, N. S. **Engenharia de Sistemas de Controle**. 7. Rio de Janeiro: LTC, 2017. 751p.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. 5. São Paulo: Pearson, 2011. 824p.

OJHA, T.; MISRA, S.; RAGHUWANSHI, N. S. Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 118, p. 66–84, 2015.

OLSEN, P.; BORIT, M. The components of a food traceability system. **Trends in Food Science & Technology**. v. 77, p. 143-149, 2018.

PEDRAZZI, T., TCHEMRA, A. H., ROCHA, R. L. A. Adaptive Decision Tables – a Case Study of their Application to Decision-Taking Problems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADAPTIVE AND NATURAL COMPUTING ALGORITHMS – ICANNGA 2005. **Proceedings...**Coimbra: 2005. p. 21-23.

PEREIRA, V. F. **Avaliação de temperaturas no transporte frigorificado urbano de alimentos resfriados e congelados**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas. 2008.

PÉREZ-COELLO, M. S. Influence of storage temperature on the volatile compounds of young white wines. **Food Control**, v. 14, n. 5, p. 301-306, 2003.

PLATT, I. G.; WOODHEAD, I. M.; TAN, A.; RICHARDS, S.; HAGEDORN, M. RFID In: COORDINATE REGISTRATION FOR AGRICULTURAL PROCESS SENSING. SENSORS APPLICATIONS SYMPOSIUM (SAS), IEEE, **Proceedings...** Queenstown: 2014. p. 156-160.

PUTNIK, et al. Prediction and modeling of microbial growth in minimally processed fresh-cut apples packaged in a modified atmosphere: A review. **Food Control**, v. 80, p. 411-419, 2017.

PRENTICE, B. E.; MCLACHLIN, R. Refrigerated food transport from Canada to Mexico: cold chain challenges. **Journal of the Transportation Research Forum**, v. 47, n. 2, p. 119-131, 2008.

PRESA-OWENS, C. D. L.; NOBLE, A. C. Effect of storage at elevated temperatures on aroma of Chardonnay wines. **American journal of enology and viticulture**, v. 48, n. 3, p. 310-316, 1997.

RACHURI, K. K. **Smartphones based social sensing: adaptive sampling, sensing and computation offloading**. 2012. 204 p. Tese (Doutorado) – Universidade de Cambridge, Reino Unido, 2012.

RAMOS, M. V. M.; JOSÉ NETO, J.; VEGA, I. S. **Linguagens formais - teoria, modelagem e implementação**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. v. 1. 656 p.

REVATHI, S.; RADHAKRISHNAN, T. K.; SIVAKUMARAN, N. Climate Control in Greenhouse using Intelligent Control Algorithms. In: 2017 AMERICAN CONTROL CONFERENCE (ACC). 2017, Seattle. **Proceedings...**Seattle: 2017. p. 887-892.

RUIZ-GARCIA, L. et al. A review of wireless sensor technologies and applications in agriculture and food industry: state of the art and current trends. **Sensors**, v. 9, n. 6, p. 4728-4750, 2009.

SAMADI, S.; MIRZAEI, H. Wireless sensor technologies in food industry: applications and trends. In: THE FOURTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS, COMPUTATION, NETWORKS AND TECHNOLOGY, 2015, Barcelona. **Proceedings...** Barcelona: 2015. p. 74-78.

SANTOS, I. M.; COSTA, F. G.; CUGNASCA, C. E. UEYAMA, J. Computational simulation of wireless sensor networks for pesticide drift control. **Precision Agriculture** (Print), v. 15, p. 290-303, 2014.

SANTOS, I. M.; CUGNASCA, C.E. Adaptive Strategies for Dynamic Setting of the Data Register Frequency in Wireless Sensor Networks. **Revista IEEE América Latina**, v. 12, p. 1284-1291, 2014.

SAQUET, A. A.; STREIF, J.; ALMEIDA, D. P. F. Responses of 'Rocha' pear to delayed controlled atmosphere storage depend on oxygen partial pressure. **Scientia Horticulturae**, v. 222, p. 17-21, 2017.

SASIKUMAR, G.; VIGNESH RAMAMOORTHY, H.; NATHEEM MOHAMED, S. An analysis on animal tracking system using wireless sensors. **International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering**, v. 4, n. 9, p. 155-162, 2014.

SHAMILY, S.; PRAVEENA; BHUVABESWARI, N. S. Intelligent Control and Adaptive Control for Interacting System. In: 2015 IEEE TECHNOLOGICAL INNOVATION IN ICT FOR AGRICULTURE AND RURAL DEVELOPMENT (TIAR). Chennai. **Proceedings...**Chennai: 2015. p. 116-121.

SHIH, C. W.; WANG, C-H. Integrating wireless sensor networks with statistical quality control to develop a cold chain system in food industries. **Computer Standards & Interfaces**, v. 45, p. 62-78, 2016.

SHRIKRISHAN, Y.; KULDEEP, S.; TANUSHREE, C. How to improve food security and farming systems by using wireless sensor networks. **Food Science and Quality Management**, v. 5, p. 36-44, 2012.

SILVA et al. Potencialidades do uso do ozônio no processamento de alimentos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 659-682, abr. 2011

SILVÉRIO, G. A.; OLTRAMARI, K. Desperdício de alimentos em unidades de alimentação e nutrição brasileiras. *Ambiência*. Guarapuava, v. 10, n. 1, p. 125-134, 2014.

SIMANOVA, L.; GEJDOS, P. The use of statistical quality control tools to quality improving in furniture business. In: BUSINESS ECONOMICS AND MANAGEMENT CONFERENCE, 2015, Zvolen. **Proceedings...** Zvolen: 2015. 8 p.

SIMS, C.; MORRIS, J. Effects of pH, sulfur dioxide, storage time, and temperature on the color and stability of red muscadine grape wine. **American journal of enology and viticulture**, v. 35, n. 1, p. 35-39, 1984.

SOARES, A.G. **Perdas Pós-colheita de Frutas e Hortaliças**, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Fórum Agronegócios da Unicamp, 2009.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de Software**. 9. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011. 529 p.

SOUNDMAEKER, H. **Vision and challenges for realising the Internet of Things**. 1. Bruxelas: Publications Office of the European Union, 2010. 229p.

STAFF, C. **Food giant Nestle recalls products after horse meat discovery**. Disponível em: <<http://edition.cnn.com/2013/02/18/world/europe/nestle-horse-meat-discovery>>. Acesso em out. de 2015.

TARJAN, L.; SENK, I.; TEGELTIJA, S.; STANKOVSKI, S. OSTOJIC, G. A readability analysis for QR code application in a traceability system. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 109, p. 1–11, 2014.

TAREFRIGERAÇÃO. **Caminhão com carrocera refrigerada**. Disponível em <<http://www.tarefrigeracao.com.br/carrocera-refrigerada>>. Acesso em mar. 2018.

THECITYFIXBRASIL. A estratégia chinesa para tornar o transporte de cargas mais sustentável. Disponível em <<http://thecityfixbrasil.com/2017/01/24/a-estrategia-chinesa-para-tornar-o-transporte-de-cargas-mais-sustentavel/>>. Acesso em jan. 2018.

TIBOLA, C. S.; FERNANDES, J. M. C.; DALBOSCO, J.; PAVAN, W. **Sistema de rastreabilidade digital para trigo**. Brasília, DF, Embrapa, 2013. 100 p.

TIMM-GIEL, A.; KULADINITHI, K.; BECKER, M.; GÖRG, C. Wireless sensor networks in wearable and logistic application. In: 15th IST Mobile & Wireless Communication Summit, 2006. **Proceedings...** Greece: 2006.

UDDENFELDT, J. **Challenges of Future Internet Mobile Perspectives**. Slovenia, 1ed., 2008.

USDA. **The commercial storage of fruits, vegetables, and forest and nursery stocks**. Handbook 66, Washington, 1968. 792 p.

VIOLINO, B. **Global Logistics Company Monitors Shipments' Temperatures**. Disponível em: <<http://www.rfidjournal.com/article>>. Acesso em: 15 nov. 2012.

VOSVIEWER. **Centre for Science and Technology Studies**. Leiden University. Disponível em: < <http://www.vosviewer.com> >. Acesso em: 4 jan. 2015.

WAGNER, M. S.; RAMIREZ, M. A.; ZUCCHI, W. L. Adaptive cognitive system applied on wireless sensor networks nodes decision. In: FIFTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATION SYSTEMS AND NETWORK TECHNOLOGIES, 2015, Gwalior. **Proceedings...** Gwalior: 2015. p. 126-131.

WALTER, E. H. **Bioquímica e Fisiologia do Desenvolvimento e Pós-colheita de Frutas e Hortaliças**. Universidade Federal do Pampa, 1 ed., 2010. 25 p.

WAKELAND, W.; CHOLETTE, S.; VENKAT, K. Food transportation issues and reducing carbon footprint, **Green Technologies in Food Production and Processing**. Springer, 2012. 113 p.

WEN-ZHAN, S. et al. **ECPC: towards preserving downtime data persistence in disruptive wireless sensor networks**. Disponível em: <http://sensorweb.engr.uga.edu/wp-content/uploads/2016/08/DropboxChooserAPI_SXDH-TOSN2014.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2016.

WEISER, M. The computer of 21st century. **Pervasive Computing**, 1991. 8 p.

WEISER, M. "Some Computer Science Problems in Ubiquitous Computing,". Communications of the ACM, July 1993. (reprinted as "**Ubiquitous Computing**". Nikkei Electronics; December 6, 1993; pp. 137-143.

WERNECK, N. L. Biblioteca para autômatos adaptativos com regras de transição armazenadas em objetos feita em C++. WTA 2008 – In: SEGUNDO WORKSHOP DE TECNOLOGIA ADAPTATIVA (WTA). **Proceedings...**São Paulo: 2008. p. 22-26

WWWC. **WORLD WIDE WEB CONSORTIUM**. XML Signature Syntax and Processing (Second Edition). Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/xmlsig-core/>>. Acesso em: 01 Mar 2009.

XINQING, X. et al. Effect of the quality property of table grapes in cold chain logistics-integrated WSN and AOW. **Applied Sciences**, v. 5, p. 747-760, 2015.

XINQING, X. et al. Applying CS and WSN methods for improving efficiency of frozen and chilled aquatic products monitoring system in cold chain logistics. **Food Control**, v. 60, p. 656-666, 2016.

ZANOTTI. **Transportadora de Cargas Refrigeradas: como funciona?** Disponível em <<https://zanottirefrigeracao.com.br/blog/transportadora-de-cargas-refrigeradas-como-funciona/>>. Acesso em: 12 dez. 2017.

ZHANG, W. et al. Adaptive configuration of pervasive computing system with QoS consideration. In: CONSUMER COMMUNICATIONS AND NETWORKING CONFERENCE, 2009, Las Vegas. **Proceedings...** Las Vegas: 2009. 5 p.

ZHOU, J.; SUN, J. Strategy research on perfecting the cold-chain logistics system of fresh food. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EDUCATION TECHNOLOGY,

MANAGEMENT AND HUMANITIES SCIENCE, 2015, Shenyang. **Proceedings...** Shenyang: 2015. p. 738-742.

ZHAO, J.; ZHANG, J.; FENG, Y.; GUO, J. The Study and Application of the IOT Technology in Agriculture. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT COMPUTATION TECHNOLOGY AND AUTOMATION – IEEE 2011, vol II, China, **Proceedings...** Chin: 2011. 4 p.

ZOU, Y.; RUHE, X.; GUANGHAI, L. Safety reliability optimal allocation of food cold chain. **Agricultural Sciences**, v. 4, n. 9B, p. 70-75, 2013.

APÊNDICE A

Modelo de Sistema de Controle Adaptativo

Segundo DiStefano (2014), em alguns sistemas de controle, certos parâmetros não são constantes ou variam de uma maneira não conhecida. Se as variações dos parâmetros são grandes ou muito rápidas, pode ser desejável projetar com uma capacidade de medi-los constantemente e variando a compensação, de modo que os critérios de desempenho sejam sempre satisfeitos. Este modo de projetar sistemas é o que pode ser classificado como um sistema de controle adaptativo.

Na Figura 56, encontra-se um diagrama em bloco doo sistema de controle adaptativo. Os parâmetros A e B de instalação são conhecidos como variantes no tempo. O bloco denominado “Identificação e ajuste de parâmetro! Mede continuamente a entrada $u(t)$ e a saída $c(t)$ da planta, para identificar (quantificar) os parâmetros A e B. Dessa maneira, a e b do compensador em avanço podem ser modificados pela saída deste elemento para satisfazer as especificações do sistema. O projeto do bloco de Identificação e ajuste de parâmetro é o problema maior do controle adaptativo.

Figura 58 - Modelo de um diagrama de bloco do sistema de controle adaptativo.

Fonte: Adaptado de Ogata (2011).

APÊNDICE B

Códigos desenvolvidos e implementados no MATLAB:

i) *Script* desenvolvido no software MATLAB para a simulação de controle termostático.

```
clear all; close all; clc
%% Programa para comparação das curvas de resfriamento de uma
câmara fria nas condições:
%% a) controle convencional termostático
%% b) controle termostático com processo de pré-tratamento (pré-
resfriamento antes de abertura de porta)
%% Bruno Rogora Kawano
%% Laboratório de Automação Agrícola - POLI - USP
%% 20/11/2017
%% versão 15/04/2018

%% Características da carga
%% Ref. PRADO, A. Projeto. Refrigeração e Congelamento: Cálculo
da carga térmica de uma câmara fria. ESALQ-USP. 2008.
%% fruto: abacate
Tmin=4;           %% °C
Tmax=13;          %% °C

%% Características da câmara fria
CQdeltaT=2.5E-3;   %% Coeficiente de aumento de temperatura
relativo à carga térmica total e isolamento
CRdeltaT=5.5E-2;   %% Coeficiente de redução de temperatura
relativo à potência de refrigeração da câmara
lat=5;            %% latência/carga

%% Características da Perturbação - Abertura de porta da câmara
CQAPdeltaT=0.625E-2; %% Coeficiente de aumento de temperatura
relativo à carga térmica de abertura de porta (renovação de ar
de 40%)
CRAPdeltaT=0.4E-2; %% Coeficiente de redução de temperatura
relativo à potência de refrigeração da câmara após abertura de
porta

%% Regime permanente
tQf=10;           % [min] tempo da fase de elevação de temperatura
(carga térmica/isolamento)
tQ=0:0.1:tQf*60;
TQ=exp(CQdeltaT*tQ)-1;
tRf=2;            % [min] tempo da fase de redução de temperatura
(refrigeração/compressor acionado)
tR=0:0.1:tRf*60;
```

```

TR=TQ(length(TQ))*exp(-CRdeltaT*tR);
trp=120 % tempo do regime permanente
nrp=trp/(tQf+tRf);
Trp=[];
trp=[];
for i=1:nrp
    Trp=[Trp TQ TR];
    trp=[trp tQ tR];
end
trp=0:0.1:(length(trp)-1)/10;
% plot(trp,Trp)

%% Abertura de porta
tAP=6; % [min] tempo de abertura de porta
tQAP=0:0.1:tAP*60;
TQAP=exp(CQAPdeltaT*tQAP)-1;

tRfAP=20; % [min] tempo da fase de redução de temperatura
(refrigeração/compressor acionado)
tRAP=0:0.1:tRfAP*60;
TRAP=TQAP(length(TQAP))*exp(-CRAPdeltaT*tRAP);

tlat=0:0.1:lat*60;
Tlat=TQAP(length(TQAP))*ones(1,length(tlat));

TAP=[TQAP Tlat TRAP];
tAP=[tQAP tlat tRAP];

tAP=0:0.1:(length(tAP)-1)/10;
% figure()
% plot(tAP,TAP)

%% Controle convencional termostático
Tsetmin=8;
Tct=[Trp TAP Trp];
Tct=Tct+Tsetmin;
tct=[trp tAP trp];
tct=0:0.1:(length(tct)-1)/10;
figure()
plot(tct,Tct)
axis([0 15000 2 18])
xlabel('t(s)')
ylabel('T(°C)')
legend('controle convencional termostático')

%% controle termostático com processo de pré-resfriamento antes
de abertura de porta
Tsetmin=8;
TsetPR=4;

Trpct=Trp(1:length(Trp)*0.6);

```

```

TrpPR=Trp (length (Trpct)+1:length (Trp));

tRfAPPR=3.13; % [min]tempo da fase de redução de
temperatura (refrigeração/compressor acionado)
tRAPPR=0:0.1:tRfAPPR*60;
TRAPPR=TQAP (length (TQAP)) *exp (-CRAPdeltaT*tRAPPR);

    TAPPR=[TQAP Tlat TRAPPR];
    tAP=[tQAP tlat tRAPPR];

tAP=0:0.1:(length (tAP)-1)/10;
% figure()
% plot (tAP,TAPPR)

TPR=[ (Trpct+Tsetmin) (TrpPR+TsetPR) (TAPPR+TsetPR)
(Trp+Tsetmin)];

tPR=[trp tAP trp];
tPR=0:0.1:(length (tPR)-1)/10;
figure()
plot (tPR,TPR)
axis ([0 15000 2 18])
xlabel ('t(s)')
ylabel ('T(°C)')
legend ('controle com pré-resfriamento')

figure()
plot (tct,Tct,tPR,TPR)
axis ([0 15000 2 18])
xlabel ('t(s)')
ylabel ('T(°C)')
legend ('controle convencional termostático','controle com pré-
resfriamento')

```

APÊNDICE C

ii) *Script* desenvolvido no software MATLAB para a simulação de controle PID:

```
clear all; close all; clc
%% Programa para comparação das curvas de resfriamento de uma
câmara fria na condição controle PID com processo de pré-
tratamento (pré-resfriamento antes de abertura de porta)
%% Bruno Rogora Kawano
%% Laboratório de Automação Agrícola - POLI - USP
%% 20/11/2017
%% versão 22/05/2018
%laranja
%5.5oC --descida1---3oC--subida1----8oC---descida2----5.5oC

% patamar inicial 5.5oC
Tp=5.5*ones(1800,1);
tp=(0:1:length(Tp)-1)';
plot(tp,Tp)

% descida1 5.5oC a 3oC    5779s
load('descida.mat')
figure()
plot(td,Td)

%subida 3oC a 8oC
load('subida.mat')
Ts(:,2)=Ts(:,2)+3;
% figure()
% plot(Ts(:,1),Ts(:,2))
Ts=Ts((1:1001),:);
% figure()
% plot(Ts(:,1),Ts(:,2))
ts=Ts(:,1);
Ts=Ts(:,2);
figure()
plot(ts,Ts)

% descida2 8oC a 5.5oC
load('descida2.mat')
figure()
plot(td2,Td2)

% composicao
Temp=[Tp;Td;Ts;Td2];
tempo=[tp;td+length(tp);ts+length(tp)+length(td);td2+length(tp)
+length(td)+length(ts)];
tempomin=tempo/60;
figure()
```

```

plot(tempo,Temp,'LineWidth',2)
axis([0 16000 0 12])
figure()
plot(tempomin,Temp,'LineWidth',2)
axis([0 16000/60 0 12])
xlabel('tempo [min]')
ylabel('Temperatura [°C]')

N=length(Temp);
% Temperatura=ones(N,9);
for i=0:96
    % valor=0;
    fim=(round(Td(length(Td)-60*i)*100))/100;
    TsR=(round(Ts*100))/100;
    valor(i+1)=find(TsR==fim,1);

    Temperatura(1:N-60*i-
valor(i+1)+1,i+1)=[Tp;Td(1:length(Td)-
60*i);Ts(valor(i+1):length(Ts));Td2];

end
figure()
t=0:1:length(Temperatura)-1;
t=t/60;
plot(t,Temperatura)
axis([0 250 2 9])

for j=0:6
    Temperaturagraf(:,j+1)=Temperatura(:,j*15+1);
end

figure()
plot(t,Temperaturagraf,'LineWidth',2)
axis([0 250 2 9])
legend('0','15','30','45','60','75','90')
xlabel('tempo [min]')
ylabel('Temperatura [°C]')

%tempo de abertura de porta em função do tempo de antecipação
min e min
tap=length(Ts)*ones(length(valor),1)-valor';
tap=tap/60;
figure()
plot(0:1:length(tap)-1,tap)
xlabel('tempo de antecipação da abertura de porta [min]')
ylabel('tempo máximo de abertura de porta [min]')

```


ANEXO A

Valores ideais de Temperatura e Umidade em armazenamento e transporte para produtos resfriados.

Quadro 14 - Tabela de Frutas de Clima Temperado.

PRODUTO	TEMPERATURA A °C - $\pm 2,5$	UMIDADE %	VIDA ÚTIL	OBSERVAÇÃO
Abricó	0,5	85 – 90	1 – 3 semanas	
Ameixa	1	85 – 90	3 – 5 semanas	
Amora	-0,5	90 – 95	2 – 6 dias	
Amora	0	85 – 95	7 – 10 dias	
Azeitona	1,5	85 – 90	4 – 6 semanas	
Caqui	-1	85 – 90	8 – 12 semanas	
Cerejas (doces)	0,5	90 – 95	2 – 3 semanas	
Cerejas (amargas)	0	85 – 95	1 – 3 semanas	
Damasco	-0,5	90	1 – 3 semanas	Depende do cultivar
Figo	-0,5	85	3 – 4 semanas	
Framboesa	0	90 – 95	1 – 7 dias	
Fruta Congelada	-19	80 – 90	6 – 12 meses	
Fruta Sêca-não esp.	2,5	70	6 – 18 meses	
Grape Fruit	5	85 – 90	3 – 12 meses	
Groselha preta	-0,5	90 – 95	1 – 3 semanas	
Kiwi	-0,5	90 – 95	8 – 14 semanas	Atmosfera controlada
Maçãs	1,5	90 – 95	1 – 8 meses	Depende da variedade
Marmelo	1,5	90	8 – 16 semanas	
Mirtilo	-0,5	85 – 90	2 – 3 semanas	
Morangos	1	85 – 95	2 – 10 dias	
Pêras	-0,5	95	3 – 8 meses	Depende da variedade
Pêssegos	0,5	85 – 95	2 – 6 semanas	
Pinhão	6,5	75 – 80	2 – 4 meses	

Suco de Frutas	19	80 – 90	2 – 8 meses	
Suco de Maçã	2	85	3 meses	
Uva Passa	3	75 – 85	6 – 8 meses	
Uvas	-0,5	90 – 95	3 – 6 meses	Depende da variedade

Quadro 15 - Tabela de Frutas Cítricas.

PRODUTO	TEMPERATURA °C $\pm 2,5$	UMIDADE %	VIDA ÚTIL	OBSERVAÇÃO
Laranja	7	85 – 90	2-17 semanas	
Limão (Siciliano)	12	85 – 90	2 – 5 meses	
Limão (Tati/Galego)	9	85 – 90	3-6 semanas	Rec: encerrada
Suco de Laranja	2	85	3 meses	
Tangerina	7	85 – 90	3-14 semanas	
Toronja (Grapefruit)	8	85 – 90	2-16 semanas	

Quadro 16 - Tabela de Frutas Tropicais.

PRODUTO	TEMPERATURA °C $\pm 2,5$	UMIDADE %	VIDA ÚTIL	OBSERVAÇÃO
Abacates	8,5	85 – 90	1,5-6 semanas	Depende do cultivar
Abacaxi (50% maduro)	8,5	85 – 90	3 – 6 semanas	
Abacaxi (verde)	12	85 – 90	3 – 4 semanas	Perigo abaixo de 10°C
Atas	6	85 – 90	4 – 6 semanas	
Bananas	14	85 – 90	10 – 28 dias	Tratamento com fungicida
Cajus	0,5	85 – 90	5 semanas	
Goiaba	9	90	2 semanas	Depende do cultivar
Lichia	0,5	85 – 90	2 – 10 semanas	Emb. Polietileno
Mamão / Papaia	8,5	85 – 90	1 – 3 semanas	Frutos 10% maduros
Mangas	9	85 – 90	2 – 7 semanas	
Mangostão	4,5	85 – 90	6 – 7 semanas	
Maracujá	8,5	85 – 90	3 – 5 semanas	

Melancia	3	75 – 85	2 – 3 semanas	
Melão	4,5	80 – 90	1 – 8 semanas	
Pinhas	8,5	90	7 – 15 dias	Dep. maturação
Romã	1	85 – 90	11– 15 semanas	
Sapoti	10,5	85 – 90	2-2,5 semanas	
Tâmaras	0	85	1 – 2 meses	

Quadro 17 - Tabela de Vegetais.

PRODUTO	TEMPERATURA °C $\pm 2,5$	UMIDADE %	VIDA ÚTIL	OBSERVAÇÃO
Abóbora	11,5	50 – 75	2 – 5 meses	
Abobrinha	9	85 – 90	1 – 2 semanas	
Acelga	0	90 – 98	10 – 14 dias	
Agrião	0,5	90 – 95	3 – 4 dias	
Aipo	0	95	3 – 5 meses	
Alcachofra	-0,5	95	3 – 7 semanas	Polietileno perfurado
Alface	0,5	>95	2 – 3 semanas	
Alho (seco)	0	65 – 70	6 – 7 semanas	
Alho porró	0	>95	2 – 3 semanas	
Aspargos	1	95	2 – 3 semanas	Depende do cultivar
Batata (industrial)	8,5	90 – 95	2 – 5 meses	
Batata (precoce)	7	90 – 95	9 meses	
Batata (semente)	4,5	90 – 95	5 – 8 meses	
Batata doce	14,5	85 – 90	4 – 7 meses	
Berinjela	9,5	90 – 95	1 – 2 semanas	Sensível ao frio
Beterraba (c/ rama)	0	92 – 95	1 – 2 semanas	Polietileno
Beterraba (cozida)	0,5	92 – 95	1 – 2 semanas	
Beterraba (s/rama)	0	92 – 95	5 – 6 meses	
Brócolos	0	90 – 95	1 – 2 semanas	Polietileno
Cebola (seca)	-1,5	80	10 meses	Circulação de ar

Cebola (verde c/ folha)	0	92 – 95	1,5 – 3 semanas	Polietileno
Cebolinha	0	90 – 95	2 – 3 semanas	
Cenoura (c/rama)	0	95	10 – 14 dias	Depende do cultivar
Cenoura (precoce)	0,5	95	10 dias	
Cenoura (s/ rama)	0	>95	5 – 8 meses	Polietileno perfurado
Cercifí	0	95	2 – 4 meses	
Cogumelo (cultivado)	0	90 - 95	5 – 7 dias	
Cogumelo (nativo)	-0,5	85	Até 7 dias	
Couve	0	95	3 – 4 semanas	
Couve de Bruxelas	-1	90 – 95	2 – 5 semanas	Polietileno
Couve rábano	0	92 – 95	2 – 3 meses	
Couve-flor	0	95	2 – 4 semanas	Resfriamento vácuo
Endivia	0	95	2 – 3 semanas	
Endro	-1	95	1 semana	
Erva doce	0	95 – 98	2 – 4 meses	
Ervilhas (debulhada)	-0,5	95	1 – 3 semanas	
Espinafre	0	90 – 95	1 – 2 semanas	
Fava	0	92 – 95	2 – 3 semanas	
Gengibre (rizomas)	13	65	6 meses	
Inhame	16	85 – 90	3 – 6 meses	
Legumes Cong.	-27,0	85 – 90	6 – 12 meses	
Mandioca	0,5	80 – 90	5,5 – 6 meses	
Milho (doce)	0	95	1 semana	
Nabo	0	95	1 – 2 semanas	
Pastinaca	0	90 – 95	10 – 20 semanas	
Pepino	10	95	1, 5-2 semanas	Resfriamento rápido
Pimenta	5	60 – 70	6 meses	
Pimentão	7	90 – 95	1 – 3 semanas	Polietileno
Quiabo	8,5	90 – 95	12 semanas	
Rabanete	0	90 - 95	1 – 2 semanas	

Raíz forte	0,5	90 – 95	10 – 24 meses	Sensível á luz
Repolho (branco)	0	95	6 – 7 meses	
Repolho (precoce)	0	95	3 – 6 semanas	Depende cultivar
Repolho (tardio)	0	95	2 – 4 meses	
Repolho (verde)	-1	95	3 meses	
Repolho Chinês	0	90 – 95	4 – 10 semanas	
Ruibarbo	0	90 – 95	2 – 4 semanas	
Salsão (branqueado).	0,5	95	3 – 4 semanas	
Salsão (folhas)	0	>95	4 – 12 semanas	
Salsinha	-0,5	95	4 – 8 semanas	
Tomate (1/2 maduro).	13,5	85 – 90	2 – 3 semanas	
Tomate (maduro verde)	16,5	80 – 90	1 – 2 semanas	
Tomate (maduro)	10	85 – 90	1 – 2 semanas	
Vagem	2	95	5 – 14 semanas	
Vagem cortada	7,5	92 – 95	1 – 2 semanas	Sensível ao frio

Carnes e Ovos

Maturação de carne resfriada resulta em um aumento gradual de maciez. O processo leva apenas algumas horas para frangos e vários dias para carne bovina. A maturação depende da temperatura e é mais demorada a temperaturas mais baixas. À 4 °C a maturação de carne bovina necessita de 2 semanas, e uma semana para vitela. Durante esse período as carcaças são penduradas em câmara resfriada com uma umidade relativa de 85% a 95%. Umidade relativa mais elevada pode conduzir a um desenvolvimento bacteriológico excessivo, e a uma umidade menor, conduzirá a uma excessiva perda por desidratação. Maturação de outras carnes necessitam períodos diferentes, exemplo: à 4 °C, 4 dias para carcaça de ovelha, 2 a 4 dias para suínos, poucas horas para frangos e 12 horas para peru.

Quadro 18 - Tabela para Carnes e Ovos.

PRODUTO	TEMPERATURA °C±2,5	EMBALAGEM	VIDA ÚTIL
Carcaça bovina	4	Estoquinete	10-14 dias
Carcaça bovina	-0,5	Estoquinete	3-5 semanas
Carne desossada	-0,5	A vácuo	12 semanas
Carne cortes varejo	4	Plástico	1-4 dias
Carne cortes varejo	4	A vácuo	14 dias
Carne Moída	4	Plástico	24 horas
Carne Moída	4	A vácuo	7-14 dias
Carcaça suína	4	Estoquinete	8 dias
Carcaça suína	-0,5	Estoquinete	3 semanas
Cortes	-0,5	A vácuo	3 semanas
Cortes varejo	4	Plástico	3 dias
Carne Moída	4	Plástico	24 horas
Curadas	4	Vácuo	3-6 semanas
Frango eviscerado	4	Plástico	7 dias
Frango eviscerado	-0,5	Plástico	2 semanas
Frango eviscerado	-1,5	Plástico	3 semanas
Banha Resfriada	0,5	80	6 meses
Banha Congelada	-18,0	90	12 meses
Carneiro Resfriado	0,5	80	10 dias
Carneiro Congelado	-15,0	80-85	3-8 meses
Cordeiro Resfriado	0,5	85-90	5-10 dias
Cordeiro Congelado	-18,0	80-90	10 meses
Coelho Resfriado	0,5	80-90	5-10 dias
Coelho Congelado	-18,0	80-90	6 meses
Derivados de Porco Salgado	5,0	80-85	4-6 meses
Fígado Congelado	-21,0	90-95	3-4 meses
Frango-Galinha Cong.	-22,0	80	3-12 meses
Leitão Limpo Inteiro Cong.	-20,0	80-85	8-10 meses
Peles – Casacos	-5,0	60-65	1 ano
Peru Fresco – Conserv.	0	80	1 semana
peru Congelado	-16,5	75	6 meses
Porco Congelado	-21,0	85-95	2-8 meses

Presunto Congelado	-21,0	85-90	6-8 meses
Presunto Def	-6,0	70	3 meses
Presunto Salgado	16,5	75-80	12 meses
Salsicha	4,5	85-90	2-3 semanas
Toucinho Cong.	-16,5	90-95	4-6 meses
Toucinho Def	16,5	60-65	6-8 meses
Toucinho Salgado	5,0	80-85	4-6 meses
Tripas	5,0	85-90	4-6 meses
Carcaça bovina	-21,0	85-95	3-12 meses
Vitela	0,5	90	5-10 dias
Vitela Cong.	-15,0	85-90	6-8 meses
Miúdos Cong.	-15,0	80	3 meses
Ovos com casca	-0,5		6-7 meses
Ovo em pó	17,5	Hermética	12 meses
Ovo Cong.	-18,0	80-85	1 ano
Gema em pó	0,5	80-85	3-4 anos
Gema Cong.	-13,0	85-90	3-4 anos
Ovo em pó integral	1,0	80-85	3-4 anos
Ovo integral Cong.	-13,0	85-90	3-4 anos
Ovo líquido	2		4-7 dias

Pescados

Deterioração microbiológica

Os microrganismos são geralmente os principais deteriorantes dos pescados resfriados. Eles estão presentes nas superfícies e nas guelras de onde eles invadem e se multiplicam na carne. O seu principal efeito deteriorante é o desenvolvimento de uma série de odores desagradáveis e compostos de paladar. Nos pescados de água fria ou temperada os microrganismos se desenvolvem bem a temperatura entre 0 °C e 5 °C. Por outro lado, nos pescados de água mais quente eles são menos ativos à baixas temperaturas. Como exemplo peixes de água fria são mantidos resfriados durante uma a duas semanas, enquanto os de água mais quente podem ser conservados por três semanas.

Outras Alterações

Pescados e crustáceos quando armazenados resfriados tendem a perder peso por gotejamento. Essa perda pode chegar a 5% e ocasionalmente até 10% em cerca de 10 dias, e pode também ocorrer o lichiamento da proteína solúvel e componente dos aromas. Caso particular de deterioração de pescado "gordo", resfriado, parcialmente desidratado ou salgado é o "ranço."

Umidade

O principal método recomendado de armazenagem é em condições próximas a 100% de umidade. Para produtos salgados a umidade relativa recomendada pode ser mais baixa (75 a 90%). Para evitar absorção excessiva de umidade produtos desidratados sem proteção (embalagem) devem ser mantidos a 50% de umidade relativa; acima de 75% é essencial uma embalagem a prova de passagem de umidade.

Quadro 19 - Tabela de dados de conservação para peixes.

PRODUTO	TEMPERATURA °C ±2,5	VIDA ÚTIL
Albacora (thunnus alalunga)	-1	35 dias
Arenque/hering (clupea Harengus)	0	3 dias
Bacalhau fresco	0	11 a 12 dias
Blue whiting (Micromesistius)	0	6 a 7 dias
Catfish (Anarchichas)	0	9 a 10 dias
Cavala (Scomber)	0	10 dias
Eglefim/Haddock (Melanogrammus)	0	10 a 11 dias
Hipoglosso/Hlibut (Hipoglossus)	0	14 dias
Linguado (Glyptocephalus)	0	12 a 14 dias
Linguado (Pleuronectes)	0	13 dias
Merlúcio (Merlucius)	0	11 a 12 dias
Salmon (Onocorhynchus)	0	8 dias
Sardinha	0	10 dias
Sardinha Japonesa (Sardinops)	0	9 dias
Savelha (Ethmalosa dorsalis)	0	16 dias
Solha (Limanda)	0	11 dias
Solha (Microstomus)	0	13 dias
Tilapia (Tilapia sp)	0	21 dias
Truta (Salmo irideus)	0	9 a 10 dias

Vermelho (Chrysophrys)	0	7 a 9 dias
------------------------	---	------------

PRODUTO	TEMPERATURA °C ±2,5	VIDA ÚTIL
Bacalhau defumado	0	8 a 14 dias
Camarão – cozido	0	7 dias
Camarão – cru	0	5 dias
Camarão – cru sem cabeça	0	6 a 7 dias
Caranguejo (Câncer magister)	4,5	5 dias
Caviar e salmon enlatados	-5,5	10 meses
Lula	0	7 a 8 dias
Ostras (Ostrea gigas)	0	15 dias
Salmon defumado	0	10 dias
Vieiras – fora da concha	0	9 dias
Vieiras – na concha (pecten sp)	0	7 dias

Quadro 20 - Tabela de dados de conservação para peixes e outros frutos do mar.

PRODUTO	TEMPERATURA °C±2,5	EMBALAGEM	VIDA ÚTIL
Atum em Filet Cong.	-25,5	85-90	6-8 meses
Bacalhau Fresco Cong.	-7,0	85-90	2 semanas
Bacalhau Seco Salg.	3	75	6-8 meses
Camarão Limpo Cong.	-24,5	90-95	6-8 meses
Haddock Cong.	-12,5	80-85	6 meses
Lagosta Viva	3,5	90-95	10 a 15 dias
Lagosta Cozida	-3,5	80	10 a 15 dias
Peixe Defumado	7,0	50-60	6-8 meses
Peixe em Filet Cong.	-23,5	90-95	4-6 meses
Peixe Viscerado Cong.	-23,5	90-95	6-8 meses
Peixe Eviscerado Cong.	-23,5	90-95	6-8 meses
Peixe Fresco	-1,0	90-95	1-2 semanas
Peixe Pouca Salga	-0,5	80-90	4-8 meses
Peixe Seco Salg.	-4,5	75-80	3 meses

Quadro 21 - Tabela de dados de conservação para laticínios.

TIPO	TEMPERATURA °C $\pm 2,5$	UMIDADE %	VIDA ÚTIL
Bel Paese	0	85 a 90	2 a 3 meses
Brie	1	82 a 85	2 meses
Camembert	1	90	
Cheddar	0	70 a 75	12 meses
Coalhada	0	85	1 mês
Crema de Leite	1,0	80	1 semana
Emmenthal	11	80	Vários meses
Gorgonzola	6	90	3 a 6 meses
Gruyère Comté	11	80 a 85	Vários meses
Leite	3,0	80 a 85	1 semana
Leite em Pó	1	75 – 80	1-6 meses
Manteiga	-11,0	80	6-8 meses
Parmesan	0	70 a 75	12 a 24 meses
Queijo Duro	11,0	60 – 65	4-8 meses
Queijo Mole	2,5	80	3-6 meses
Tilsitt	2	90	

Quadro 22 - Tabela de dados de conservação para produtos diversos.

PRODUTO	TEMPERATURA °C $\pm 2,5$	UMIDADE %	VIDA ÚTIL
Amêndoa de cacau	1	70 a 75	6 a 12 meses
Café em grão	-0,5	70 a 75	3 a 6 meses
Chocolate amargo	0	40 a 45	6 a 9 meses
Chocolate com leite	0	40 a 45	4 a 6 meses
PRODUTO	TEMPERATURA °C $\pm 2,5$	UMIDADE %	VIDA ÚTIL
Bolo de frutas	0	70 a 75	2 meses
Fermento fresco	-0,5	80 a 85	1 mês
Açúcar	8,5	>60	1-3 meses
Bicho da Seda – Hibernação	5,5	60-70	4-6 meses
Bulbo de Flores conf. Variedade	-1,0	75-80	2-4 meses
Cerveja	2,5	75	6 meses
Chocolate conf. Indus.	14,0	65-70	6 meses
Corn Flakes	1,7	65	6 meses
Essências	1,7	75	6 semanas
Fermento	0	75	2 semanas
Flores	0	80-85	2-4 semanas
Fumo	1,0	75	6 meses

Geléia	1,0	75	6 meses
Groselha	0	75-85	2 semanas
Manteiga de Cacau	9,0	65-70	6 meses
Margarine	0,5	80	6 meses
Mel	1,0	75	6 meses
Plasma de Sangue	3,3	75	2 meses
Semente de Flores – Conf. Variedade	-1,0	75-80	2-4 meses
Sorvete Conf. Qual.	-25,0	85	4 meses
Vinho	10,0	85	6 meses
Xarópe	1,0	80	6 semanas
Fermento seco	Abaixo de 4	60 a 70	6 meses
Margarina	0		4 semanas
Óleo de oliva (enlatado)	5		Até 14 meses
Arroz (umidade menos de 13%)	1		2 a 3 meses

ANEXO B

Representação de um sistema de refrigeração

Fonte: Adaptado de Transfrigor (2018)

ANEXO C

Representação de um Sistema de Refrigeração, com base no trabalho de Pereira (2008).

Fonte: PEREIRA (2008)

ANEXO D

Recomendações da ABIAF sobre a manutenção de alimentos em ambientes refrigerados.

ALIMENTOS CONGELADOS

São considerados congelados os alimentos que tenham sido submetidos ao processo de congelamento especialmente para manter sua qualidade inicial.

Para obter o efeito correto de conservação uma alta porcentagem de água congelável no produto é transformada em gelo (normalmente mais de 80% da água livre) e é mantido nesse estágio durante a subsequente estocagem para minimizar as alterações físicas, bioquímicas e microbiológicas que de outra forma podem levar a uma deterioração do alimento.

Em casos especiais a cristalização da água que, em geral, provoca a destruição da estrutura de células delicadas pode ser parcialmente ou totalmente evitada com a adição de substâncias apropriadas como o açúcar ou sal.

A qualidade do alimento, na maioria dos casos, é melhor mantida quando a temperatura dos produtos é o mais frio praticável possível durante a estocagem congelada.

Na prática industrial e comercial foram aceitas duas faixas de temperatura: de armazenagem e de ponto de vendas.

Tempo de Congelamento

O tempo que irá demorar para o processo de congelamento depende não somente das temperaturas inicial e final do produto e a quantidade de calor a ser retirado, mas também das dimensões e formato do produto (principalmente sua espessura) bem como o processo utilizado para retirada do calor e sua temperatura.

Dissecação durante a Armazenagem

A perda de umidade durante a estocagem é um problema sério em função do tempo de duração da estocagem. A pressão do vapor saturado nos alimentos congelados é igual à do gelo puro na mesma temperatura. Embalagens herméticas à prova de passagem de água e vapores evitam toda a perda de umidade.

Entretanto muitos alimentos congelados ainda são estocados sem embalagem ou são protegidos por materiais permeáveis a água e vapores. Nesses casos, a perda de umidade depende das condições de estocagem e a perda de peso será mantida ao mínimo somente se for mantida uma temperatura baixa e uniforme dentro da câmara de estocagem.

Alterações no tamanho dos cristais de gelo durante o armazenamento

As mudanças no tamanho e formato dos cristais de gelo durante o armazenamento são causadas por variações periódicas da temperatura durante o armazenamento. Quanto maior for a amplitude dessas variações, maiores serão as mudanças e isso provocará uma destruição das células do alimento levando a um "gotejamento" durante o descongelamento.

Desenvolvimento Microbiológico durante o armazenamento

Antes de ser enviado para a distribuição ao consumo, alimentos congelados são armazenados à faixas de temperatura de -18°C até -25°C ou -30°C . A temperatura escolhida é dependente do tipo de alimento e o prazo estimado necessário de armazenamento, sendo mantido nesse período à temperatura mais constante possível para evitar problemas de perda de qualidade. A essas baixas temperaturas constantes alguns microrganismos poderão morrer vagarosamente mas isso não é significativo. É impossível o crescimento de micro-organismos a essas baixas temperatura.

Aspectos nutritivos durante o armazenamento

No complexo de macronutrientes-proteínas, gorduras e carboidratos - as proteínas e gorduras são as mais sujeitas a alterações químicas durante o armazenamento. Essas mudanças são expressas em perda de solubilidade, mudanças na capacidade de ligamento da água e enrijecimento no caso das proteínas e em mudanças na saturação das gorduras.

Essas mudanças, que são detectáveis para determinação das alterações químicas e físico-químicas, mostram uma pequena e limitada influência no valor nutritivo dos macronutrientes que não foram reduzidos durante o armazenamento a temperatura mais fria do que -18°C por período de um ano ou mais.

CONTAMINAÇÃO MICROBIOLÓGICA

Contaminação Humana

Como as bactérias patogênicas, como o Estafilococo e a Salmonela, geralmente derivam dos seres humanos é de vital importância que os empregados das câmaras de armazenagem sejam orientados sobre os conceitos básicos de boa higiene pessoal - a necessidade da limpeza pessoal, especialmente a lavagem frequente das mãos e o uso de roupas limpas, guarda pó, cobertura para os cabelos, etc. Em alguns casos é aconselhável o uso de luvas de borracha e máscara facial. Quando forem usadas luvas é importante que estas sejam bem limpas após o uso e inspecionadas para verificação de furos.

É aconselhável a supervisão médica dos empregados que manuseiam alimentos e em alguns casos deve até ser compulsório. Todas as pessoas sofrendo de alguma doença de pele não devem trabalhar em contato com alimentos, bem como qualquer pessoa sofrendo de vômito, diarreia, gastroenterite, hepatite infecciosa, salmonelose ou portadores de salmonela ou febre tifoide crônica. O objetivo é afastar o máximo possível qualquer pessoa que possa transmitir ao alimento bactérias patogênicas como Salmonela, Shigella, Yersinia, Escherichia Coli, Campylobacter, etc.

Embalagem para alimentos congelados

A embalagem para alimentos congelados pode ser muito variada como o produto que ela contém e irá proteger, mas em todos os casos ela não deve somente resistir a baixas temperaturas, mas também atender a necessidades específicas dos alimentos como:

1. Ser isenta de migração de materiais tóxicos para o alimento. As embalagens primária e secundária devem ser escolhidas para evitar o ingresso de materiais tóxicos e contaminantes.
2. Ser inerte quimicamente e estável. O material tem que suportar temperatura fria de até -40°C e também temperaturas altas (exemplos incluem temperatura de forno, *boiling bag*, etc). A resistência e performance do material tem que atender essa ampla faixa. O material não deve ficar quebradiço às temperaturas baixas. Durante o transporte podem ser utilizados como refrigerante o dióxido de carbono (CO₂) portanto o material de embalagem deve suportar temperatura de até -79°C.
3. Livre de manchas e odores. Alguns produtos, especialmente os que contêm gordura, chocolate ou temperos são muito sujeitos a absorver manchas e odores. O material de

embalagem deve ser cuidadosamente testado antes de ser utilizado para garantir a ausência da possibilidade de transferência de manchas e odores.

4. Proteção contra contaminação microbiana e sujeidade.

5. impermeabilidade à vapor de água, oxigênio e outros constituintes voláteis bem como odores das cercanias. Muitos produtos sofrem de desidratação armazenados em câmaras frigoríficas se o material de embalagem não for relativamente impermeável e fechado hermeticamente. Certas carnes e produtos de confeitaria são exemplos.

Rotação dos Estoques

A manutenção de uma razoável, uniforme e adequada temperatura em câmaras frigoríficas é sem nenhuma dúvida de extrema importância para a manutenção da qualidade dos alimentos congelados, lesto conduz a uma ampla gama de opções, sendo - 25 °C até - 30°C como temperaturas ótimas do ar para armazenamento por longos períodos para matérias primas, especialmente frutos do mar e produtos gordurosos destinados a processamento futuro e também para produtos prontos armazenados a granel aguardando distribuição futura.

O tempo decorrido entre o congelamento e o consumo final é de importância secundária com relação à temperatura, mas ainda assim é necessário um sistema de controle desta. O controle do período de armazenagem de material a granel, pallet ou unidade de carga é comparativamente fácil de ser executado como um elemento do controle físico do estoque, que é necessário.

Como a unidade (pallet, ou produto final) gera um único número, perde essa identidade no curso da distribuição, a embalagem de embarque necessita um método fácil para garantir a regra do "FIRST IN FIRST OUT" - "FIFO" - (primeiras entradas, primeiras saídas) para as embalagens serem movimentadas dentro da cadeia do frio na sequência correta.

Frequentemente os consumidores e autoridades exigem a validade do produto congelado. Essas datas (consumir antes de..., , ou consumir até... etc.) podem somente ser aplicada na embalagem final. A presença da data implica em uma rápida perda de qualidade após essa data, nenhum produto congelado perde qualidade drasticamente enquanto for mantido a uma adequada baixa temperatura.

Por essa e várias outras razões, surgiu um consenso de opiniões que uma regulamentação de data fixa de validade é contraproducente para alimentos congelados. A manutenção da

qualidade é conseguida melhor pelo controle das temperaturas dentro da cadeia do frio pois a maioria dos produtos tem uma vida pratica de armazenagem substancialmente maior do que a vida pratica de estocagem a - 18°C do que o tempo decorrido entre o congelamento e o consumo.

Métodos Operacionais

É muito importante que todos que trabalham em câmaras frigoríficas tenham sempre em mente o primeiro objetivo de minimizar a exposição dos produtos à temperatura ambiente. Devem ser estabelecidos métodos e rotinas de manuseio que não permitam que os produtos sejam expostos a temperatura ambiente. Se não for possível carregar os veículos através plataformas de carga fechadas e frigorificadas, ou outro método que dê completa proteção aos produtos, a única alternativa deveria ser a montagem total da carga em ambiente frigorificado e só então transportada para um rápido carregamento do veículo sem permanecer na plataforma de carga e descarga. O mesmo procedimento deve ser feito na operação inversa. As portas, que devem ser do menor tamanho possível, não devem ser deixadas abertas após a passagem de produtos ou pessoas. Portas automáticas, elétricas ou pneumáticas são melhores para reduzir o tempo de permanência das portas em posição aberta.

Alterações de Qualidade durante o Armazenamento

Os principais fatores que afetam a qualidade de produtos congelados após um período determinado são:

- a) A natureza e qualidade do produto na época do congelamento,
- b) O processamento durante a preparação e o de congelamento,
- c) Embalagem,
- d) temperatura de armazenamento e suas flutuações,
- e) tempo de armazenagem.

Os três primeiros itens (a, b, c) são conhecidos como fator PPP (Produto, Processo e Embalagem) enquanto os últimos dois (d, e) são conhecidos como fator TTT (tempo, temperatura, tolerância).

Vida prática de estocagem de produtos congelados

O objetivo desta seção é fornecer algumas indicações nas características relativas a armazenagem em termos de "vida prática de estocagem" (PSL) de alguns alimentos congelados mais comuns disponíveis no mundo.

A vida de prateleira da maioria dos alimentos congelados é dependente da temperatura de armazenagem e o quadro a seguir fornece indicações do PSL a 3 temperaturas diferentes para alimentos de alta qualidade inicial que tenham sido processados e embalados de acordo com boas práticas de fabricação e posteriormente mantidos em uma temperatura de armazenagem indicada e razoavelmente estável.

Na determinação da vida prática de estocagem é necessário levar em consideração a natureza e qualidade do produto no momento que for submetido ao congelamento, os efeitos da técnica do processamento, as influências da embalagem e as preferências do consumidor.

Vários métodos podem ser utilizados para determinar quando o final do PSL estará atingindo, que é dependente das preferências do mercado e dos consumidores.

Quadro 23 - Vida prática de estocagem em meses (3 temperaturas).

PRODUTOS	-12°C	-18°C	-30°C
Framboesas / Morangos (crus)	5	24	>24
Framboesas / Morangos (com açúcar)	3	24	>24
Pêssegos / Damascos / Cerejas (crus)	4	18	>24
Pêssegos / Damascos / Cerejas (com açúcar)	3	18	>24
Sucos concentrados de frutas	-	24	>24
PRODUTOS	-12°C	-18°C	-30°C
Aspargos (com rizomas verdes)	3	12	>24
Vagem	4	15	>24
Fava	-	18	>24
Brócolos	-	15	24
Couve de Bruxelas	6	15	>24
Cenoura	10	18	>24
Couve flor	4	12	24
Milho na espiga	-	12	18
Milho cortado	4	15	>24
Cogumelo (cultivado)	2	8	<24
Ervilhas	6	24	>24

Pimentão vermelho e verde	-	6	12
Batatas, batatas fritas	9	24	>24
Espinafre (cortado)	4	18	>24
Cebola	-	10	15
Alho Porró (branqueado)	-	18	-
PRODUTOS	-12°C	-18°C	-30°C
Carcaça bovina (em estoquinete)	8	15	24
Filés de bovino (cortes)	8	18	24
Carne bovina moída	6	10	15
Carcaça de vitelo (em estoquinete)	6	12	15
Filés de vitelo (cortes)	6	12	15
Carcaça de ovelha (em estoquinete)	18	24	>24
Filés de ovelha (cortes)	12	18	24
Carcaça suína (em estoquinete)	6	10	15
Filés de suíno (cortes)	6	10	15
Bacon fatiado (embalagem á vácuo)	12	12	12
Frango (inteiro)	9	18	>24
Frango em partes	9	18	>24
Peru (inteiro)	8	15	>24
Patos, Gansos (inteiros)	6	12	18
Fígado	4	12	18
PRODUTOS	-12°C	-18°C	-30°C
Peixe gordo (glazeado)	3	5	>9
Peixe magro	4	9	>12
Lagosta, Caranguejo, Camarão cozidos na casca	4	6	>12
Moluscos e ostras	4	6	<9
Camarões (cozidos/sem casca)	2	5	>9
PRODUTO	-12°C	-18°C	-30°C
Ovos inteiros	-	12	>24
Manteiga (sem sal) pH 4.7	15	18	20
Manteiga (com sal) pH 4.7	8	12	14
Manteiga cremosa (sem sal) pH 6.6	-	>24	>24
Manteiga cremosa (com sal) (2%) pH 6.6	20	>24	>24
Creme	-	12	15
Sorvete	1	6	24
PRODUTO	-12°C	-18°C	-30°C
Produtos de Panificação e Confeitaria	-	15	24
Pães	-	3	-

Massas cruas	-	12	18
--------------	---	----	----

Nota: > = mais do que

ANEXO E

Quadro 24 - Tabela contendo informações de temperatura de conservação dos produtos.

Mercadoria	Temp. de	Mercadoria	Temp. de	Mercadoria	Temp. de
	Armaz. +/-2,5		Armaz. +/-2,5		Armaz. +/-2,5
GRUPO A	-	GRUPO G	-	GRUPO O	-
Maça	1,5	Vacinas	-	Figo Fresco	0
Uva	1,5	Teste Labor.	-	Uva Fresca	0
Nectarina	1,5	HIV UNIF II	7	Caqui	0
Ameixa	1,5	HIV UNIF LL	7	-	-
Pêssegos	1,5	HBC Uniform.	7	GRUPO P	-
Cast.Portug.	1,5	HBS Ag UNIF LL	7	Manga	12
-	-	HTLU LLL	7	-	-
GRUPO B	-	Vac. Conigem	7	GRUPO Q	-
Ameixa	5	Vac. Porvigem	7	Enzimas	5
Figo Turco	5	Vac. Pen Strep	7	-	-
Uva Passa	5	Vac. Cefobid	7	GRUPO R	-
Damasco	5	Vac. Tralen	7	Fumo	12,5
Nozes c/casca	5	Vac. Silagepro	7	-	-
Nozes s/casca	5	Vac. Pro-Lex	7	GRUPO S	-
Amendoas	5	Vac. Maxi-Bac	7	Alho	-2,5
Tamaras	5	Vac. Carbenicilin	7	-	-
Avela	5	Vac. Terra Base	7	GRUPO T	-
Caviar	5	-	-	Limão	8,5
Confetes	5	GRUPO H	-	Mixirica	8,5
Cobert.Bolo	5	Bebidas	-	-	-
-	-	Vinho TT.Escan.	21,5	CONGELADOS	-
GRUPO C	-	Vinho BC. Escan	21,5	-	-
Suco Conc.	1	Vinho Porto	21,5	Mercadoria	Temp.
Kiwi	1	Vinho Regueng	21,5	-	Máxima
-	-	Vinho Beiradão	21,5	GRUPO U	-
GRUPO D	-	-	-	Carne Moida Ind.	-18
Bacalhau	2	GRUPO I	-	Cortes de Aves	-18
Tripas	2	Chocolates	19,5	Cortes Suínos Emb.	-18
-	-	Doc / Ovo Choco.	19,5	Cortes Bovinos Emb.	-18
GRUPO E	-	-	-	Carcaça Suína	-18
Laticínios	3	GRUPO J	-	Carcaça Bovina	-18
Queijo Prato	3	Condimentos	Ambiente	-	-
Muzzarella	3	Feno Grego	Ambiente	GRUPO V	-
Parmezão	3	Tomate em Pó	Ambiente	Massa Qual.Queijo	-18
Rockfort	3	Curcuma	Ambiente	Legumes Proces.	-18
Sbrimz	3	Menta	Ambiente	Manteiga	-18
Masdam	3	Mostarda	Ambiente	Suco Concentrado	-18
Iogurte	3	Azeitonas	Ambiente	Polpa de Fruta	-18
Provolone	3	-	-	Derivados Lácteos	-18
Coalho	3	GRUPO K	-	Polpa de Legumes	-18
Lactase	3	Aces. Pelúcia	Ambiente	Prod. Contr.Shelf Life	-18
-	-	SC. De Papel	Ambiente	Sorvetes	-18
GRUPO F	-	CX. De Papel	Ambiente	Sobremsa Gelada	-18
Químicos	2,5	SC. Selofane	Ambiente	Confe.de Chocolate	-18

Lupran.MS/MI	2,5	Embalagens	Ambiente	Panificação	-18
Dormex	2,5	Utens.Domest.	Ambiente	Extrato café(Tambor)	-18
Kerabutil	2,5	-	-	-	-
Res.Epoxi	2,5	GRUPO L	-	GRUPO X	-
Res.Difusor	2,5	Proteína Soja	21,5	Aves Temperadas	-18
Res.Feno	2,5	-	-	Cortes de Aves Temp.	-18
Res.Silicone	2,5	GRUPO M	-	Carne Bovina Proc.	-18
Res.Borrac.	2,5	Gengibre	9	Carne Suína Proc.	-18
Res.Adesiva	2,5	Nhame	9	Carne Aves Proc.	-18
Res.Colia	2,5	Goiaba	9	Embutidos	-18
Res.Mel/For	2,5	Melão	9	-	-
Res. Arobras	2,5	-	-	GRUPO Y	-
-	-	GRUPO N	-	Pescado	-18
-	-	Pera	1	File de Pesc. Embal.	-18
-	-	-	-	-	-

Obs: 1) Preferencialmente os grupos U, V, X e Y dos CONGELADOS devem ser mantidos separadamente

2) Produtos dos grupos U, V, X dos CONGELADOS podem ser mantidos em conjunto desde que possuam

temperatura interna inferior a -15°C.

3) Caso as temperaturas estejam acima de -15°C deverão ser mantidos separadamente até atingir -15°C

internamente.

Fonte: Adaptado de ABIAP (2018)

ANEXO F

Atributos considerados na análise comparativa

Atributos a serem analisados
Determinação de cor
Determinação de pH (nível de acidez)
Açúcares redutores
Açúcares totais
Compostos fenólicos
Firmeza
Textura
Vitamina C
Análise sensorial

Fonte: Johnson (2013)