

Análise dos efeitos da roteirização de veículos sobre a performance térmica de produtos da cadeia do frio**Analysis of vehicle routing effects on the thermal performance of the cold supply chain products**

DOI:10.34117/bjdv5n11-020

Recebimento dos originais: 09/10/2019

Aceitação para publicação: 03/11/2019

Gabriel Alexandre Müller

Granduando em Engenharia de Transportes e Logística

Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina

Endereço: Rua Dona Francisca 8300 - Distrito Industrial, Joinville – SC, Brasil

E-mail: gabriel_goetz@hotmail.com

Vanina Macowski Durski Silva

Prof. Dra. Engenheira de Produção

Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina

Endereço: Rua Dona Francisca 8300 - Distrito Industrial, Joinville – SC, Brasil

E-mail: vanina.durski@ufsc.br

Diogo Lôndero da Silva

Prof. Dr. Engenheira Mecânica

Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina

Endereço: Rua Dona Francisca 8300 - Distrito Industrial, Joinville – SC, Brasil

E-mail: diogo.londero@ufsc.br

RESUMO

No intuito de preservar a qualidade de produtos que requerem controle térmico desenvolvem-se métodos e estudos sobre a Cadeia do Frio, a qual é responsável pela cadeia logística do produto, desde sua produção, armazenamento até a distribuição física ao consumidor final. Neste contexto, este relatório busca compreender o comportamento da variação de temperatura de cargas refrigeradas durante sua distribuição física e para isso, propondo um modelo matemático e validando-o experimentalmente, de modo a analisar os comportamentos de variação térmica do ar durante a entrega de produtos, considerando os processos de carregamento, deslocamento e descarregamento dos mesmos. Com os resultados obtidos espera-se propor uma ferramenta de simulação que seja capaz de planejar rotas de distribuição física de produtos refrigerados, tornando mais eficiente todo o processo logístico, reduzindo o ganho indesejado de temperatura interna do veículo e do produto.

Palavras-chave: cadeia do frio; modelagem matemática; roteirização; transporte; refrigeração.

ABSTRACT

In order to preserve the quality of products that require thermal control, we develop methods and studies on the Cold Chain, which is responsible for the logistics chain of the product, from its production, storage to physical distribution to the final consumer. In this context, this report seeks to understand the behavior of temperature variation of refrigerated loads during their physical distribution

and, therefore, proposing a mathematical model and validating it experimentally, in order to analyze the behavior of thermal variation of air during product delivery., considering their loading, displacement and unloading processes. With the obtained results it is expected to propose a simulation tool that is able to plan physical distribution routes of refrigerated products, making the whole logistic process more efficient, reducing the undesired internal temperature gain of the vehicle and the product.

Keywords: cold chain; mathematical modeling; routing; transport; cooling.

1. INTRODUÇÃO

O termo cadeia do frio tem sido usado para denominar os processos e elos de produção e logística de um produto refrigerado, com o objetivo de conservar e evitar o seu desperdício. O objetivo da cadeia do frio, conforme definida por Heap (2006), IIR (2004) e, Likar e Jevsnik (2006), compreende o controle da temperatura do produto em todas as fases de transporte e estocagem, até a entrega ao cliente final. Qualquer rompimento desta cadeia pode provocar a perda de qualidade do produto, pois sabe-se que as velocidades de reações químicas, microbiológicas e bioquímicas perceptíveis nos produtos estão diretamente relacionadas à temperatura, portanto, é de importância considerável manter um controle adequado durante todos os processos envolvidos. Tem-se que a perda de qualidade do produto é cumulativa e irreversível (Heap, Kierstan e Ford, 1998), e com isso surge a necessidade de conhecer e respeitar seus limites de temperatura. Quando o produto alcança uma determinada temperatura acima de seu limite superior pode sofrer diminuição de sua qualidade final, ocasionando sua rejeição. Porém, temperaturas abaixo do limite inferior suportado pelo produto também podem prejudicar suas características iniciais, cobrando uma complexidade logística maior no manuseio das mercadorias em estoque e transporte. Segundo Carvalho (2013), atividade logística de transporte é um processo crítico da cadeia do frio. A The Cool Chain Association (CCA) estima que 30% dos produtos sensíveis à temperatura são perdidos durante este processo (HOFFMAN, 2006).

Diante do exposto justifica-se compreender a logística de produtos da cadeia do frio e portanto, este relatório trata do registro das atividades realizadas durante um ano de atividades de Iniciação Científica (IC) no escopo de um projeto de pesquisa na área de Cold Supply Chain, onde o aluno da IC está completando seu segundo ano de atuação no projeto, avançando nos estudos iniciados pela professora orientadora no ano de 2014. O primeiro ano de trabalho foi essencial para a continuação deste atual. As análises de diversos cenários e calibração deste documento são a continuação do trabalho passado, que necessitava de uma análise mais detalhada do algoritmo criado e de ajustes no modelo matemático utilizado. Assim, como forma de contribuição ao projeto tem-se os seguintes objetivos a serem realizados:

Objetivos

Objetivo Geral: estudar a distribuição física de produtos no contexto de Cold Supply Chain, propondo um modelo voltado à roteirização de veículos, de modo a considerar a performance térmica da carga transportada.

Objetivos Específicos:

A fim de alcançar o objetivo geral proposto para este trabalho pretende-se:

- Identificar situações de falhas nas operações de transportes e logística da cadeia do frio, classificando-as conforme sua importância estratégica, econômica, de competitividade empresarial, e social;
- Identificar uma equação aproximada que represente o comportamento da temperatura durante as etapas de deslocamento e descarga dos produtos;
- Propor um modelo heurístico para a realização das rotas de distribuição de produtos da cadeia do frio de modo a minimizar custos e tempos de percurso, considerando a performance térmica dos produtos;
- Propor um modelo matemático capaz de determinar a variação da temperatura do produto refrigerado ao longo da roteirização da carga;
- Identificar empresas que possam se interessar no teste e/ou implantação do modelo proposto, no intuito de validação experimental do modelo proposto;
- Utilizar as saídas combinadas dos modelos propostos para identificar a melhor rota considerando não apenas o tempo de transporte, mas também a temperatura do produto.
- Avaliar o indicador de eficiência do processo de distribuição física de produtos da Cadeia do Frio.

Espera-se poder implementar os resultados obtidos no planejamento de rotas eficientes, evitando o ganho acumulado de calor, conseqüentemente diminuindo a temperatura adquirida pelo produto no decorrer da realização da rota de distribuição dos produtos. Assim, este trabalho está estruturado em cinco etapas: a primeira introdutória ao assunto de estudo, seguida do referencial teórico para análise dos estudos sobre indicadores de desempenho durante a distribuição física de produtos da cadeia do frio, bem como custeio das atividades envolvidas durante a distribuição e, simulação de modelos voltados ao estudo da cadeia do frio. Na terceira etapa apresentam-se as equações do modelo matemático desenvolvido a partir do trabalho de Carvalho (2013) para compreensão do comportamento térmico dentro do veículo

que realiza a distribuição física de produtos da cadeia do frio e, na quarta etapa apresentam-se os resultados tanto dos testes computacionais quanto experimentais realizadas durante a execução do projeto. Por fim, apresentam-se as considerações finais do estudo e sugere-se algumas atividades para a continuidade do mesmo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

No processo de entrega de produtos da cadeia do frio (resfriados, refrigerados e congelados), existem comportamentos operacionais praticados pelas indústrias e varejos que devem ser seguidos para melhor monitoramento das etapas críticas da cadeia do frio, tais como: a entrega e o recebimento da mercadoria com pontualidade, evitando uma exposição desnecessária da carga em ambientes não capacitados para estoque. Também é tratado como comportamento operacional ideal o respeito do colaborador com as normas de manuseio da carga e sistema de refrigeração, tornando todo o processo mais eficiente (MÜLLER et al., 2018). Na etapa de carregamento da mercadoria no veículo refrigerado tem-se que o produto já deve estar com sua temperatura definida anteriormente, pois o modal de transporte não é projetado para resfriá-la, mas sim, para manter a mercadoria dentro dos limites térmicos (Estrada-Flores e Eddy, 2006; Pereira et al., 2010). Sabe-se que em todos os processos onde há fator humano pode haver falhas de operação, sendo muitas vezes o produto armazenado indevidamente, com excessiva espera nos terminais, ocorrendo de maneira lenta o carregamento e descarregamento dos produtos, além da porta de isolamento do veículo se manter aberta excessivamente sem devidos cuidados do operador, entre outras questões (CARVALHO 2013). Assim, há necessidade de aprimoramento nas operações logísticas.

O estudo de Müller et al. (2018), através da simulação do processo de entregas de produtos refrigerados/congelados por uma unidade transportadora, encontrou métodos capazes de impedir o abuso de temperatura, que é quando a temperatura passa dos limites ideais estabelecidos, causando perda de qualidade. Através da simulação, foi percebido que quando a rota se aproxima do resultado ótimo, isto é, realiza o caminho mínimo passando entre todos os pontos de entrega, a temperatura final ao retorno da rota geralmente atinge resultados mais elevados. Para manter os produtos dentro dos limites de temperatura, rotas alternativas de maior distância foram escolhidas.

2.1 INDICADORES

2.1.1 Indicadores de qualidade

Existem diversos estudos sobre indicadores de qualidade de alimentos. Tingman, Jian e Xiaoshuan (2010) utilizam um método de avaliação da qualidade, onde acompanham a deterioração de peixes durante a cadeia do frio. Os autores avaliaram o estado dos produtos com um acompanhamento durante um período de 14 meses. A avaliação consistiu de um time que foi responsabilizado em dar notas de 1 a 5 (1 - muito ruim, 5 - excelente) de acordo com a aparência visual, textura, cheiro e sabor. Outros estudos da literatura utilizam componentes e propriedades químicas para avaliar a qualidade do produto de acordo com seu nível de deterioração como, nitrogênio básico volátil total (NBV-T), pH, trimetilamina (Fagan et al., 2003; Arannilewa et al., 2005). Porém estas pesquisas não levam em conta a qualidade de acordo com as mudanças de temperatura da cadeia do frio.

Já para neste projeto de pesquisa de Iniciação Científica a modelagem proposta não considera um único produto e sim, pode ser aplicado a qualquer produto da cadeia do frio. Para fins de validação do modelo matemático e computacional proposto, foram realizados testes e medições de temperatura em uma empresa que produz e distribui sorvetes no Estado de Santa Catarina e, por esta razão, foi necessário focar em um único produto para realizar os testes necessários para validação da pesquisa.

Um dos alimentos mais saborosos encontrado no cardápio da população é o sorvete. O sorvete é uma sobremesa congelada feita a partir do congelamento de uma mistura pasteurizada de leite, açúcar, xarope de milho, sabor, estabilizador, emulsificante, com ou sem ovos, e é popular em todo o mundo. A qualidade do sorvete depende principalmente dos ingredientes utilizados, bem como dos parâmetros de processamento e condições de armazenamento (SHAVILKLO et al., 2011).

De acordo com Yuksel (2015), as várias propriedades térmicas como temperatura de fusão e congelamento entre outras e algumas propriedades de composição como polissacarídeos, proteínas, lactose e gordura mineral, células de ar e cristais de gelo são essenciais para a qualidade do sorvete durante o processo de congelamento e o período de armazenamento. Devido à estrutura complexa e à instabilidade termodinâmica do sorvete, o fenômeno de recristalização ocorre de maneira comum no produto durante o período de estocagem (Goff, 1995; Cogne et al., 2003; Regand e Goff, 2003). Por esse motivo, estas propriedades térmicas são essenciais para controlar a qualidade e a estabilidade dos alimentos congelados em geral e, em particular, dos sorvetes. O sorvete de boa qualidade deve ter uma estrutura e textura mais suaves e não deve conter cristais de gelo notáveis ou detectáveis quando ingeridos na boca (Cogne et al., 2003; Marshall et al., 2003; Regand e Goff, 2003).

Segundo Tsevdou et al. (2015), a recristalização do gelo é reconhecida como um dos maiores defeitos de qualidade em sorvetes, limitando a sua alta vida útil de armazenamento. A taxa de recristalização está atrelada à temperatura de estoque e suas flutuações.

Filina-dawidowics (2014) não faz um estudo focado diretamente em qualidade, mas sim, na determinação de um indicador de desempenho para auxiliar na análise de riscos em um porto na cadeia do frio. O escopo da pesquisa consiste em 14 elos da cadeia do frio dentro de um porto marítimo, considerando desde a chegada da carga até sua expedição. Através de uma análise de cada elo, definiu-se os riscos atrelados a suas respectivas operações, de acordo com a probabilidade de acontecimentos de determinado problema e sua gravidade no quesito qualidade da carga. O risco foi calculado matematicamente através da seguinte equação:

$$P(V).K(V) = R \leq R_{akc}$$

Onde $P(V)$ é a probabilidade da carga perder sua qualidade, $K(V)$ representa a quantidade da perda desta qualidade, V são as condições de realização do serviço no atual elo da cadeia do frio, R é o risco calculado e R_{akc} o risco aceitável.

Dependendo do resultado, medidas são recomendadas a serem tomadas; se $0 < R \leq 0,2$ a pessoa responsável pela tomada de decisão não precisa tomar nenhuma ação relacionada com a carga; caso $0,2 < R \leq 0,4$, a pessoa responsável pela tomada de decisão deve acompanhar o pedido e se responsabilizar por ele; se $0,4 < R \leq 0,6$ a pessoa responsável deverá assumir a responsabilidade e aplicar mudanças nas condições de atendimento da carga analisada; finalmente, caso $R > 0,6$ o tomador de decisões deve se recusar a atender a carga ou tomar decisões definitivas para diminuir o risco calculado.

2.1.2 Custeio

Na cadeia do frio com elos rodoviários, o veículo mais comumente utilizado é o caminhão. Existem diversos modelos do veículo e também do sistema de refrigeração utilizado para controlar a temperatura dos produtos. Dois modelos distintos se destacam: as placas eutéticas e os sistemas de refrigeração embutidos. A primeira, é mais utilizada para produtos congelados, por atingir uma menor temperatura, onde o resfriamento ocorre via eletricidade. Já o segundo modelo, utilizado para produtos refrigerados a temperaturas não tão baixas, proporciona o resfriamento através do consumo do diesel do caminhão, através do motor dele.

Diversos autores já contribuíram através de suas pesquisas para estimar e prever o consumo de combustível de caminhões, numa tentativa de descobrir os melhores comportamentos de pilotagem. Segundo Zhingang et al. (2018), dois modelos são comumente utilizados nestes estudos. O primeiro consiste em princípios físicos, calculando as forças de arrasto aerodinâmico, aceleração, resistência de rolagem e subida de elevações. Esse modelo foi aplicado e validado por Jiménez et al. (1999), Zhai et al. (2008), e Duarte et al. (2015). O segundo modelo é baseado em dados, isto é, geralmente focados em comportamentos de condução como velocidade e aceleração do caminhão na rota. De acordo com Zhingang et al. (2018), este último tipo de modelo é mais focado em regular e otimizar os comportamentos de condução dos motoristas, pois não leva em consideração variáveis atreladas ao clima, geometria e condições do veículo; todas são consideradas fixas no estudo, logo, o único item que pode ser ajustado é a velocidade da condução.

O trabalho de Díaz-Ramirez et al. (2017) consiste em treinar condutores para uma condução mais eficiente, buscando menos consumo de combustíveis com uma perspectiva eco-driving, isto é, menor gasto e maior sustentabilidade. Através de aquisição de dados durante as entregas de uma frota de caminhões, os autores estabeleceram pela análise estatística dos dados o consumo anterior e posterior ao treinamento dos condutores. A melhoria foi de 5,5% (de 3,115 L/100 km-tt para 2,944 L/100 km-tt).

2.2 CAPABILIDADE

No contexto da cadeia do frio, analisar as condições de um produto, isto é, se ele está dentro dos seus limites térmicos e de umidade estabelecidos, mantendo sua qualidade nos níveis ideais pode ser uma tarefa que envolve diversas variáveis e estudos. Para determinar se certo produto atende os requisitos do transporte e armazenamento, Novaes (2016) considera índices de capacidade C_{pk} (ou capacidade).

Estes índices são utilizados para definir se o produto ou o processo em questão estão dentro dos requisitos. No caso do transporte de cargas refrigeradas e congeladas, o índice capta os valores de temperatura durante o processo de entrega e/ou armazenamento e resulta num único valor simplificado, tornando a análise dos resultados mais simples (veja a equação 1). O objetivo é atingir o maior valor de C_{pk} possível e no mínimo $C_{pk} = 1,33$, abaixo desse intervalo o processo é considerado inviável.

Equação 1: Capabilidade

$$C_{pk} = \text{mínimo}\left\{\frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma}\right\}$$

Onde μ é a média da temperatura θ , σ é o desvio padrão de θ , USL é o maior valor especificado para a temperatura θ e LSL é o menor valor especificado para a temperatura θ . A utilização da equação acima é utilizada para distribuições não normais. Novaes (2016) cita ainda diversos outros métodos de cálculo da capabilidade para distribuições normais e não normais, porém o cálculo do índice C_{pk} escolhido é o suficiente para andamento do projeto.

Considerando que o estudo de caso deste projeto se trata de um processo transiente (não permanente), a variação da temperatura se dá em relação ao tempo, com uma tendência positiva, e a restrição consiste em que o produto não deve ultrapassar uma temperatura determinada. Assim, adotou-se como premissa para a realização do estudo que o melhor processo (considerando a realização da rota de distribuição) é aquele que permite manter a temperatura interna do veículo o máximo afastada da temperatura de derretimento do produto transportado (sorvete). Esta abordagem foi adotada devido a característica do sistema de refrigeração (placas eutéticas), isto é, não há um sistema de refrigeração capaz de diminuir a temperatura da carga, portanto, a temperatura só irá aumentar de maneira acumulada.

2.3 SIMULAÇÃO DE TEMPERATURA

No trabalho de Müller et al. (2018) é possível ver a aplicação de estudos e análises da cadeia do frio no elo de transporte rodoviário, mediante simulações de temperatura, a qual é determinada através de modelos matemáticos (veja equação 2) tanto para deslocamento entre pontos de entrega e o próprio descarregamento no ponto (cliente). Através dos dados de temperatura obtidos, os autores supracitados elaboraram um algoritmo que identifica a rota de menor custo possível que atenda os limites de temperatura estabelecidos.

Equação 2: Modelo Adaptado de Carvalho (2013) por Müller et al. (2018)

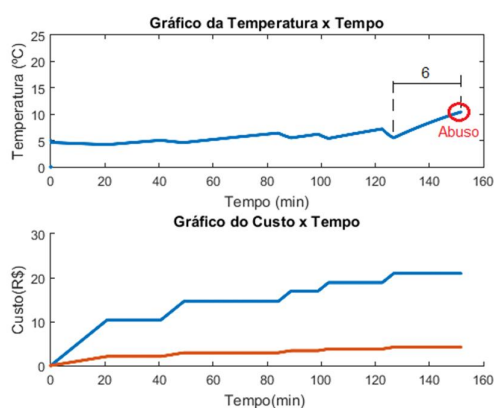
$$\theta(\tau) = \theta_{fonte} + (\theta_0 - \theta_f) \cdot \exp\left(\beta \cdot \frac{\tau}{m}\right)$$

Foi comprovado que quanto menor a distância total da rota, maior é o acúmulo de temperatura, isto é, o produto atinge valores térmicos mais altos. Portanto, existe um trade-off entre custo de deslocamento com a própria qualidade do produto, pois quando a temperatura

do produto ultrapassa os limites estabelecidos, podem ocorrer danos à estrutura do material, gerando sua deterioração.

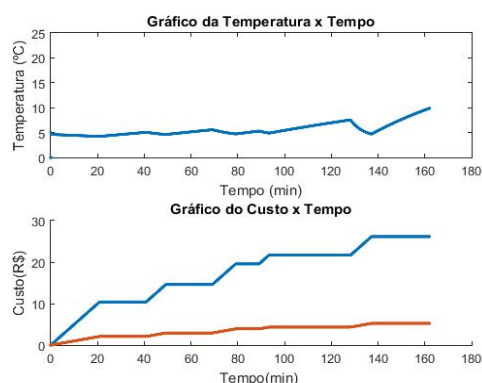
O gráfico 1 e 2 a seguir apresentam os dados de temperatura numa rota com 6 pontos de entrega. No primeiro apenas é aplicado o algoritmo do vizinho mais próximo sem tentativa de controle de temperatura. O segundo é com a aplicação do algoritmo proposto por Müller et al. (2018). Percebe-se que na primeira rota (gráfico 1) ocorre um abuso de temperatura no último ponto de entrega. No caso do segundo, por conta do algoritmo, foi encontrada uma rota onde não ocorre o abuso, que no caso deste estudo seria 10 °C.

Gráfico 1 – Rota antes de aplicar o algoritmo proposto por Müller *et al.* (2018)



Fonte: Müller *et al.* (2018)

Gráfico 2 – Rota depois de aplicar o algoritmo proposto por Müller *et al.* (2018)



Fonte: Müller *et al.* (2018)

No estudo de Müller et al. (2019) foi verificado que durante a realização da entrega de mercadorias ocorre a variação da área dos produtos dentro caminhão em contato com o ar. Portanto, a velocidade com que a temperatura dos produtos irá aumentar ou diminuir não será constante durante o processo de entregas. Portanto, no intuito de avançar no estudo proposto

pelos autores supracitados faz-se necessário considerar no estudo de performance térmica da carga durante a distribuição de produtos, a proporcionalidade da área com o coeficiente β .

O coeficiente β representa a taxa constante com que a temperatura do produto se aproxima com a temperatura externa, aquela que está em contato com o produto (MÜLLER et al. 2019). O presente estudo consiste em tornar esse coeficiente uma variável que acompanha a variação da área dos produtos.

É possível afirmar que a temperatura dos produtos dentro do veículo terá variações que dependerão da temperatura inicial em que se encontram, tempo de exposição ao ambiente externo, temperatura do ar interno e externo, área total ocupada pelos produtos em contato com o ambiente externo, dentre outros.

A área de um objeto atua diretamente na sua troca de calor com o ambiente, isto se dá pelo fato de que quanto maior a superfície do objeto em contato com o ar (ou outro corpo externo), mais rapidamente o sistema entrará em equilíbrio (HALLIDAY, 2009). Diante disso, pode-se afirmar que conforme uma certa quantidade de produtos for removida do veículo de transporte de cargas, a área de produtos em contato com o ar irá diminuir, ou seja, a perda da velocidade com que o sistema entrará em equilíbrio térmico é proporcional à diminuição da área total dos produtos em contato com o ambiente externo.

Assim, a fim de realizar o estudo da variação de temperatura em função das rotas percorridas, neste trabalho de Iniciação Científica optou-se por desenvolver um modelo de simulação que possa lidar com este fenômeno, e portanto, é preciso estabelecer uma ferramenta capaz de atualizar os valores do coeficiente β em cada ponto de descarga no processo de distribuição física de produtos da cadeia do frio. Diante disso, espera-se analisar e estudar a proporção de diminuição de área do produto em contato com o ar interno do caminhão com a remoção de unidades de produtos, e então, o comportamento de β neste contexto.

A simulação neste trabalho é uma ferramenta indispensável. Sem ela é impossível realizar as análises. Como informado anteriormente, este relatório de pesquisa, referente ao período de Iniciação Científica 2018-2019 é uma continuidade à pesquisa realizada pelo aluno de Iniciação Científica (autor deste relatório), durante o período 2017-2018. Num primeiro momento, o trabalho resultado, publicado em Müller et al. (2018) não realizou testes experimentais capazes de calibrar e validar o modelo matemático e simulado proposto. As relações entre temperatura, tempo e distância são visíveis em seu estudo, apenas de maneira

numérica. Para conquistar resultados ainda mais confiáveis medições de temperatura reais devem ser realizadas e então comparadas com o modelo matemático proposto.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

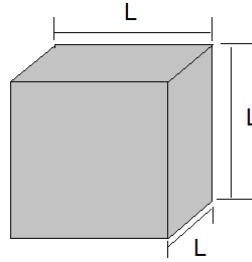
Nesta seção serão detalhados os métodos empregados durante a realização da pesquisa científica durante o período de 2018-2019. É importante comentar que os itens 3.1 e 3.2 referem-se às etapas teóricas do desenvolvimento de um modelo matemático, o qual simulou diversas situações, considerando área de carga transportada e variação de temperatura na carroceria do meio de transporte utilizado durante a distribuição de mercadorias. Já o item 3.3 apresenta os procedimentos empregados para a realização dos testes experimentais, que tiveram por intuito validar o modelo proposto.

3.1 ANÁLISE MATRICIAL DE PROPORÇÃO DE ÁREA OCUPADA POR PRODUTOS DENTRO DA CARROCERIA DO VEÍCULO POR UNIDADES DE PRODUTO

O objetivo desta etapa durante o decorrer da realização da pesquisa foi o de estudar e propor uma ferramenta capaz de realizar ajustes no modelo, tornando as temperaturas, do produto a ser transportado, obtidas pelo modelo matemático desenvolvido, o mais próximo do real possível. Neste caso, será analisado o impacto da área de todas as unidades de produtos que estão em contato com o ar dentro da carroceria do meio de transporte, nas temperaturas obtidas pelo modelo matemático. Portanto, uma ferramenta de análise matricial foi criada para atualizar a área total de produtos a cada remoção de carga, conforme a distribuição dos produtos for ocorrendo a cada ponto da rota gerada. Para fins de simplificação considerou-se a unidade de forma cúbica ($LxLxL$),

Para atualizar o número de unidades de produto dentro da carroceria do caminhão foram criadas duas matrizes, apresentadas nas Figuras 2 e 3, uma para representar a face lateral do container do caminhão e outra que representa a visão frontal da carroceria (onde se encontram as portas), respectivamente. As dimensões das matrizes se dão pelo número máximo de caixas dentro da carroceria do veículo: N para o comprimento, M para altura e H para a largura (medidas em números de caixas). Os valores de caixas que podem ser obtidos em cada perspectiva são representados por h na Figura 2 e n para Figura 3. Os valores máximos de h e n são H e N respectivamente.

Figura 1: Dimensões da Unidade de Produto

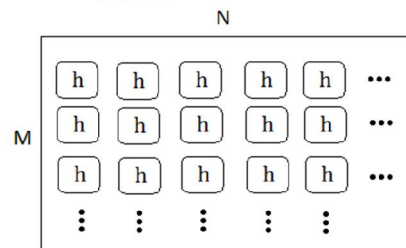


Fonte: Autor (2018)

Figura 2: Face lateral da carroceria do caminhão

Unidade de produto que é visível na face atual do baú do veículo.

h Número de caixas atuais no ponto matricial.

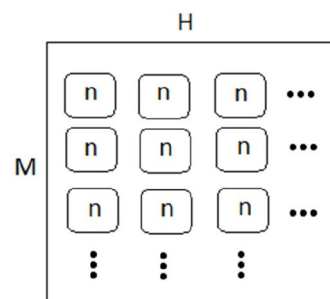


Fonte: Autor (2018)

Figura 3: Face frontal da carroceria do caminhão

Unidade de produto que é visível na face atual do baú do veículo.

n Número de caixas atuais no ponto matricial.



Fonte: Autor (2018)

3.1.1 Padrão de remoção de produtos

Para ter-se uma estrutura padronizada de remoção de produtos durante a distribuição física dos produtos da cadeia do frio, convencionalmente estabeleceu-se que as unidades serão removidas da esquerda para a direita (se analisando pela vista frontal da carroceria), dando prioridade às caixas mais próximas da porta da carroceria, ou seja, analisando a matriz da

Figura 3, tendo que a_{ij} é a posição da matriz na linha i e na coluna j , a remoção seria iniciada na posição a_{11} . Vale destacar que se considera impossível a remoção de uma unidade de produto que está abaixo de uma outra unidade, portanto, a retirada dos produtos se dá também de cima para baixo.

O comportamento de remoção é único, porém, como há duas matrizes com perspectivas diferentes, elas terão métodos diferenciados. Na matriz da Figura 2, as primeiras unidades a serem removidas encontram-se na última coluna da primeira linha b_{1N} , se um número k de unidades forem necessárias à remoção e h for o número de unidades no ponto matricial na posição b_{ij} , se o resto $r = k - h$ for positivo ($r > 0$, ter-se-á $h = 0$, (ou seja, remove-se 100% da carga em tal posição) e o pivô de remoção irá para a próxima linha, atualizando o valor de $k = r$ e mantendo-se na mesma coluna b_{2N} , até alcançar a última linha i e/ou $r = 0$. Quando a última linha for alcançada, o pivô irá para $b_{1(N-1)}$ (ou seja, inicia-se a remoção de produtos na primeira linha da coluna anterior) Caso $h > k$, ter-se-á $r < 0$, logo, $h = |r|$ e o valor de r torna-se nulo.

Já na matriz da Figura 3, o método será da seguinte forma: como comentado anteriormente, o início desta remoção se daria na posição a_{11} da matriz, porém, diferentemente do padrão utilizado na vista lateral, se haver um valor k de caixas removidas e n seja o número de unidades no ponto matricial na posição a_{ij} , para cada i em todo j , se $k \geq 1$ e $n > 0$, irá ser decrementado -1 dos valores k e n .

3.1.2 Cálculo de área atual e atualização de β

Após a atualização das matrizes, com os valores que correspondem à quantidade de carga atual dentro da carroceria do veículo, tem-se o cálculo da área da carroceria ocupada pelos produtos. O processo de atualização matricial (remoção de carga) existe justamente para a aquisição do valor desta área, ou seja, é uma forma de generalizar medidas e quantidades e de que forma a remoção de mercadoria implicará na quantidade de superfície de produto que estará em contato com o ar dentro da carroceria. Tal informação é importante para calcular temperaturas mais próximas da realidade na simulação. De forma matemática, considerando a carga total uniforme A_{TU} (sem remoções) e que não há vazão de ar entre os produtos dentro da carroceria do caminhão, de acordo com a Figura 4, tem-se:

Equação 3: Área Total Uniforme

$$A_{TU} = 2. (M.H + N.M + N.H)$$

Para calcular a área de produtos através das matrizes deve-se primeiramente compreender que quando $n, h > 0$, nos pontos matriciais $a_{ij}eb_{ij}$ respectivamente, significa que analisando pela atual perspectiva (lateral (A_{TL} e frontal), respectivamente) existe pelo menos uma unidade de carga, ou seja, uma área lateral do produto (L^2). Através dessa informação pode-se somar as laterais dos produtos para cada valor das matrizes de a_{ij} ou b_{ij} diferente de zero. Tem-se:

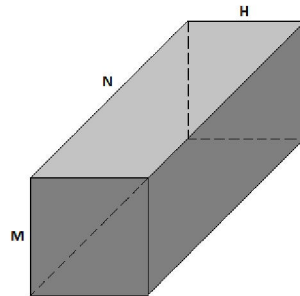
Equação 4: Área Total Lateral

$$A_{TL} = L^2 \cdot \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N x_{ij} \vee \begin{cases} x_{ij} = 1, se h_{ij} > 0 \\ x_{ij} = 0, se h_{ij} = 0 \end{cases}$$

Equação 5: Área Total Frontal

$$A_{TF} = L^2 \cdot \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^H y_{ij} \vee \begin{cases} y_{ij} = 1, se n_{ij} > 0 \\ y_{ij} = 0, se n_{ij} = 0 \end{cases}$$

Figura 4: Carga Total Uniforme



Fonte: Autor (2018)

Equação 6: Área Total Superior/Inferior

$$A_{TS} = L^2 \cdot \sum_{j=1}^H a_{ij}, \forall i = M$$

A Equação 6 representa a área superior (ou inferior) (A_{TS} total atual das unidades de produto. Esta é a área superior dos produtos, ou seja, a superfície que está acima das unidades transportadas (ou abaixo para o caso da área inferior). Ela é calculada mediante a soma dos valores de n_{ij} quando $i = M$ multiplicando por L^2 , ou seja, considera-se apenas a última linha

da matriz da face frontal. Isto é correto pois não há possibilidade de haver caixas flutuantes, logo, o número total de unidades de produto na última linha da matriz representa a perspectiva superior, sem necessidade de uma matriz específica para a tal.

Equação 7: Área Total Atualizada

$$A_{Tf} = 2. (A_{TL} + A_{TF} + A_{TS})$$

No caso da equação 7, que representa a área total atualizada (A_{TF}) da carga, o valor da soma das áreas das faces deverá ser duplicado, pois cada perspectiva tem dois lados em contato com o ar, “frente” e “atrás”. Após adquirir A_{Tf} , uma relação (γ) com a área total uniforme inicial é realizada. Essa relação representa a taxa de ocupação da carroceria; logo:

Equação 8: Coeficiente de Diminuição de Área

$$\gamma = \frac{A_{Tf}}{A_{TU}}$$

Pode-se adquirir β através do produto de γ com o coeficiente inicial β_0 . Vale destacar que este processo de atualização de β ocorrerá a cada ponto de descarga no processo de distribuição física de produtos da cadeia do frio, e também que β_0 é fixo em todo o processo de simulação. A equação para adquirir valores de β atualizados é:

Equação 9: Coeficiente Atualizado

$$\beta = \beta_0 \cdot \gamma$$

É válido comentar que a atualização de β é relevante para manter a simulação mais próxima do real. O valor do coeficiente não é constante, assim como em situações reais, a velocidade com que a temperatura de um objeto se aproxima da temperatura ambiente diminui conforme sua área diminui. Portanto, a simulação poderá alcançar resultados mais coerentes.

3.2 DEFINIÇÃO DE CENÁRIOS PARA SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE ROTAS DE DISTRIBUIÇÃO CONFORME O MODELO MATEMÁTICO PROPOSTO

No intuito de analisar o comportamento do algoritmo “Controle” juntamente com a aplicação da heurística do Vizinho mais Próximo quanto às variações de temperatura e custos de distribuição associados às rotas geradas, foram propostos alguns cenários com diferentes

características. Assume-se que as rotas geradas podem ser separadas em dois grupos: A) aquele em que o algoritmo “Controle” busca determinar a rota de menor temperatura máxima e; B) aquele em que se busca a rota que tenha a menor temperatura média. Vale destacar que isso é possível porque no processo do algoritmo “Controle” várias soluções (rotas) são encontradas, porém, apenas uma só é retornada para a análise.

Para cada um dos grupos foram ainda considerados 4 diferentes situações, as quais são: 1) traçado da rota pelo “Vizinho mais Próximo”; 2) iniciando o traçado da rota pelo ponto (vizinho) mais distante da origem; 3) considerando no ponto mais próximo da origem a existência de um maior volume de carga a ser entregue e, 4) considerando no ponto mais distante da origem a existência de um maior volume de carga a ser entregue. Portanto, oito cenários foram gerados para análise, conforme a Figura 5.

Figura 5: 8 cenários considerados

	Grupos	
	Menor Temperatura Máxima (A)	Menor Temperatura Média (B)
Situação 1: Início da rota no ponto mais próximo da origem	Cenário 1	Cenário 2
Situação 2: Início da rota no ponto mais distante da origem	Cenário 3	Cenário 4
Situação 3: Ultra-carga no ponto de distribuição mais próximo da origem	Cenário 5	Cenário 6
Situação 4: Ultra-carga no ponto de distribuição mais distante da origem	Cenário 7	Cenário 8

Fonte: Autor (2018)

Os dados adquiridos para análise estão apresentados em tabelas (Tabelas 2 a 8), os quais são: a temperatura máxima, média e final dos produtos, custo total de distribuição, custo de refrigeração durante o deslocamento, o ponto (cliente) onde ocorreu o abuso de temperatura.

3.2.1 Detalhamento das situações consideradas

Considerando os dois grupos mencionados (A e B), ambos serão testados nas quatro situações. São elas:

Situação 1: nada é modificado na matriz de tempos (Tabela 1) ou na carga a ser entregue nos pontos. É um caso considerado “normal”, utilizado para fins de comparações entre os demais cenários.

Situação 2: nenhuma alteração é realizada nas quantidades de cargas a serem entregues, porém, o primeiro ponto a ser visitado será o que está mais distante da origem.

Situação 3: considera-se uma mudança apenas nas quantidades de cargas a serem entregues. Definiu-se que no ponto mais próximo da origem será entregue uma carga equivalente a 80% da capacidade do veículo. Adotou-se o termo “Ultra-carga” para futuras citações.

Situação 4: a Ultra-carga é posicionada no ponto mais distante da origem.

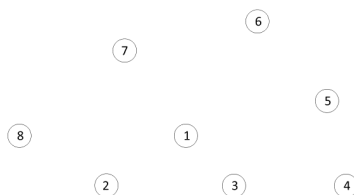
Tabela 1: Matriz O-D (em minutos)

O/D	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	14,14	8,39	20	14,14	21,27	15	25,03
2	-	-	16,82	31,62	28,28	32,83	20	15,28
3	-	-	-	14,86	16,05	27,59	22,53	30,73
4	-	-	-	-	14,14	29,19	31,62	44,79
5	-	-	-	-	-	15,06	20	37,67
6	-	-	-	-	-	-	15,06	36,03
7	-	-	-	-	-	-	-	20,97
8	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Autor (2018)

O grafo completo, representando um cenário hipotético, que é utilizado para as análises é apresentado na Figura 6, no qual considera-se que existe um caminho (arco) de “todos-para-todos”, isto é, cada ponto (vértice) tem direto acesso a qualquer outro ponto. Neste grafo são considerados 8 nós (pontos de distribuição de produtos), tendo como ponto de origem o ponto 1 (CD). A matriz O-D (origem-destino) para tal grafo se encontra na Tabela 1.

Figura 6: Grafo da rede de distribuição



Fonte: Autor (2018)

A matriz O-D é considerada simétrica, portanto, o custo do percurso do ponto v até w tem o mesmo valor que o percurso de w até v . Isso significa que a diagonal inferior da matriz não necessita ser demonstrada, por ser equivalente à parte superior. A distribuição de carga por cliente considerada para cada uma das situações em estudo (1 a 4) é apresentada na Tabela 2:

Tabela 2: Quantidade de Produtos a Entregar em Cada Ponto (%)

	Pontos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Situação 1 e 2	-	15,5	8,25	7,75	25	15	10,5	18
Situação 3	-	5,5	70	7,75	5	3,25	0,5	8
Situação 4	-	5,5	0,25	7,75	5	11	0,5	70

Fonte: Autor (2018)

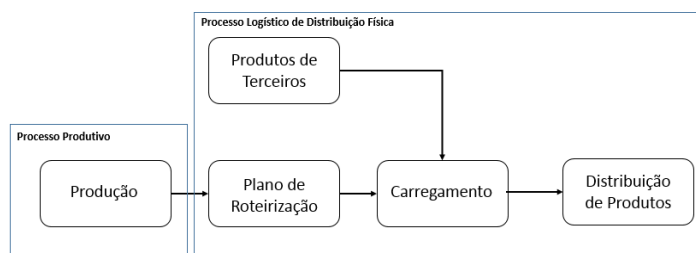
Os dados apresentados na Tabela 2 representam em porcentagem a quantidade de produtos entregues em cada ponto. Estes valores com a metodologia apresentada são importantes para compreender melhor os resultados apresentados no tópico 4.1 deste documento.

3.3 REALIZAÇÃO DE TESTES EXPERIMENTAIS PARA VALIDAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO PROPOSTO

Para fins de validação do modelo matemático proposto, decidiu-se por realizar estes experimentais em algum processo que realizasse a roteirização de veículos durante a distribuição física de produtos da cadeia do frio. A empresa parceira deste projeto de pesquisa tem sua sede na cidade de Joinville e está presente na região de Santa Catarina e Paraná. Realiza a produção de sorvetes bem como distribui seus produtos o também distribui produtos de terceiros. A seguir o fluxograma simplificado dos processos da empresa é apresentado na Figura 7.

A empresa em estudo contém uma frota heterogênea de caminhões, com baús isolados termicamente. Os caminhões saem para realizar entregas na cidade de Joinville e também nas cidades da região. Para fins de realização dos testes experimentais analisaram-se as rotas de distribuição que se concentravam no sul de Joinville, pois seu foco é analisar processos de entrega em curtas distâncias, comparadas às distâncias realizadas pelas rotas que passam por diversas cidades.

Figura 7: Fluxograma Simplificado dos Processos

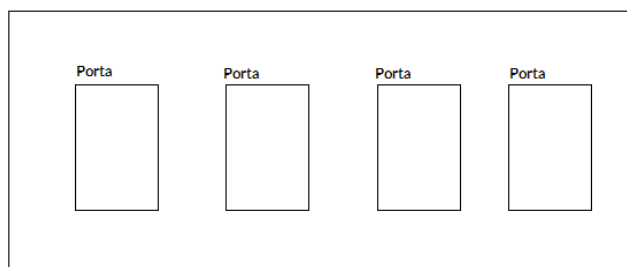


Fonte: Autor (2019)

3.3.1 Medição de temperatura

Um processo importante na análise de temperaturas simuladas é a prévia comprovação e calibração dos modelos matemáticos através de comparativos com medições reais. Portanto, é necessária a medição da variação de temperatura no veículo utilizado para a realização das rotas realmente realizadas durante o processo de distribuição física dos produtos. Para tal, mediante a parceria com a empresa supracitada, foram feitas medições através de acompanhamento das entregas. Um equipamento do tipo DataLogger da marca Omega, fornecido pelo Laboratório de Refrigeração Veicular (ReVe), do campus Ufsc-Joinville foi utilizado, o qual mede valores de temperatura do ar e umidade relativa com leituras intervaladas. Neste estudo, o intervalo de tempo foi configurado como sendo 10 segundos, portanto, um valor de temperatura é obtido pelo aparelho a cada 10 segundos.

Figura 8: Visão Lateral do Baú Térmico do Caminhão



Fonte: Autor (2019)

Mais de uma medição/acompanhamento foi realizada com variação do número de pontos de entrega entre 9 e 33. Os pontos consistiam de pequenos varejos no bairro até grandes mercados de franquias nacionais. O aluno de Iniciação Científica acompanhou algumas (4) das entregas medidas, anotando os tempos de chegada e saída de cada ponto assim como o horário de abertura e fechamento de portas do veículo, bem como quais das portas foram abertas/fechadas.

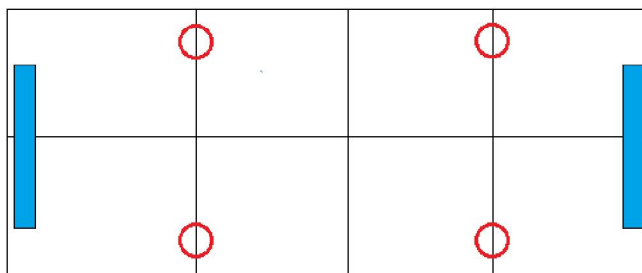
O baú térmico do caminhão tem oito portas laterais, com placas eutéticas em cada extremidade do baú (na traseira e na dianteira). O DataLogger foi posicionado nos quatro cantos do baú, próximo de suas respectivas portas (as circunferências da Figura 9 representam a posição do DataLogger no acompanhamento). É válido comentar que para cada teste, havia apenas um equipamento, portanto, ocupando apenas uma das quatro posições por vez.

A aquisição dos horários foi feita através do acompanhamento do aluno durante todo o processo de entrega da rota. Cada abertura de portas para realizar o descarregamento de produtos foi anotada, para saber o tempo de porta aberta. Esta informação é extremamente

importante no intuito de calibração do modelo, porque a entrega de produtos num determinado ponto corresponde a uma troca de transição, isto é, ao fechar a porta do baú e iniciar o traslado para outro ponto de entrega, tem-se a fase inicial de uma transição. Cada transição terá sua temperatura inicial θ_0 e final θ , no processo de calibração (ver Müller et al., 2018). Ou seja, uma transição inicia na abertura das portas até o seu fechamento e também quando há o fechamento e o veículo se desloca de um ponto a outro até haver a próxima abertura de portas.

A Tabela 3 apresenta de maneira simplificada qual foi o padrão para adquirir os dados experimentais. Através dela, foram obtidos os valores de tempo de porta aberta e também as distâncias (em minutos) de um ponto de entrega à outro. A carga máxima (em kg) foi estabelecida como 2.000 kg. Esse dado foi obtido mediante uma conversa com os responsáveis pelas entregas. A coluna % representa a fração de carga a ser entregue no mercado em relação a capacidade total do veículo que realiza o transporte.

Figura 9: Visão Superior do Baú Térmico do Caminhão



Fonte: Autor (2019)

Tabela 3: Exemplo de Coleta de Dados (Horários)

Nome	Chegada	Abertura	Fechamento	Saída	Temp. Ext.	Quantidade Carga	
Mercado 1	07:50	-	-	07:52	19	kg	%
Mercado 2	07:56	08:25	08:47	08:56	19	295,92	14,80%
Mercado 3	09:06	09:07	09:09	09:10:50	19	18,75	0,94%
Mercado 4	09:14:00	09:15	09:16	09:17:30	19	13,15	0,66%
Mercado 5	09:27:32	09:30	09:31	09:38	19	20,87	1,04%
Mercado 6	09:42	09:45	09:46	09:56	19	30,8	1,54%
Mercado 7	10:00	10:06	10:08	10:17	20	79,03	3,95%
Mercado 8	10:24	10:31	10:32	10:36	20	26,83	1,34%
Mercado 9	10:47	10:48	10:49	10:53	20	18,76	0,94%
Mercado 10	13:51	10:51:30	10:51:50	14:04	21	10,29	0,51%

Fonte: Autor (2019)

3.3.2 Calibração do Modelo

Após a obtenção de dados experimentais, realizou-se a calibração do modelo matemático proposto por Müller et al. (2018). Para tal, isolando β da equação 2, tem-se:

Equação 10: Equação para Adquirir os valores de β

$$\beta = \frac{m}{\tau} \cdot \ln\left(\frac{\theta - \theta_f}{\theta_0 - \theta_f}\right)$$

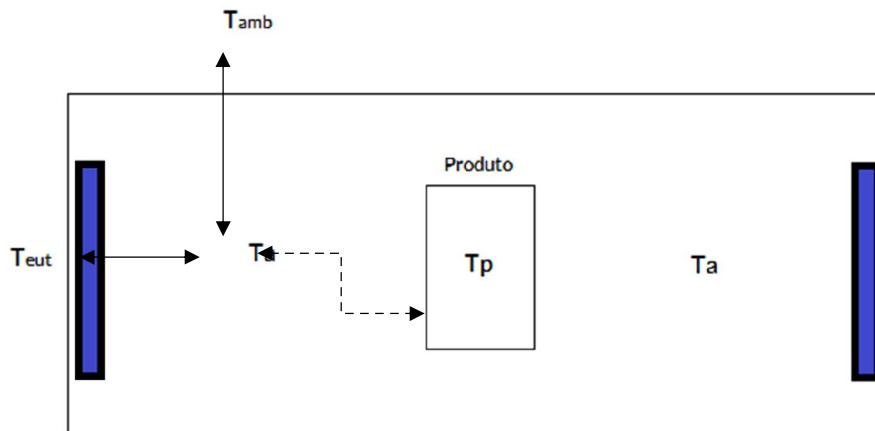
Onde θ_0 será a temperatura inicial e θ_f a temperatura no final daquela etapa e θ é o valor medido experimentalmente. A quantidade de massa dentro do caminhão (em %) é representada por m e o tempo (em segundos) por τ .

Portanto, através da Equação 10 pode-se obter os valores de β para cada transição. Posteriormente, calcula-se a média dos valores medidos gerando um novo valor de β para o modelo matemático; concluindo assim o processo de calibração do modelo.

3.3.3 Assunção da temperatura do ar do baú para temperatura do produto a ser distribuído

O equipamento DataLogger mede a temperatura do ar dentro do baú do caminhão, ou seja, não mede a temperatura do produto que está sendo transportado de fato. Para tratar dessa situação, analisa-se a configuração das trocas de calor do sistema, como pode ser explicado pela Figura 10.

Figura 10: Esboço das Trocas de Calor do Sistema



Fonte: Autor (2019)

T_{amb} representa a temperatura do ambiente externo ao baú; T_a a temperatura do ar dentro do baú; T_p representa a temperatura do produto que é transportado e T_{eut} representa a temperatura da placa eutética.

A temperatura do ar dentro do baú troca calor com outras duas, a da placa eutética e do ambiente externo ao baú. A temperatura do produto troca calor com a temperatura do ar. No caso do transporte de sorvetes, tem-se o carregamento do mesmo para o interior do baú, e nesta etapa o produto apresenta uma temperatura inferior à temperatura dentro do baú (T_a), portanto, os autores optaram em tornar a temperatura do ar o indicador de segurança. Isto é, quanto mais distante a temperatura do ar estiver da temperatura crítica, onde o sorvete perde qualidade, valor definido pela empresa em $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, mais ideal são as condições para o processo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta sessão serão discutidos os resultados obtidos através do modelo matemático desenvolvido neste estudo. Inicialmente propõe-se a análise da rota gerada pelo modelo sem considerar o controle de temperatura e sim, apenas considerando a heurística de roteirização. Este será considerado o “cenário inicial” do estudo. Os gráficos resultantes de cada rota, considerando os comportamentos térmico e financeiro no decorrer do tempo, se encontram em cenário. O gráfico é separado em dois, sendo o superior o gráfico de temperatura em relação ao tempo e o inferior um gráfico de custos.

4.1 ANÁLISE DE DIFERENTES ROTAS

É importante informar que o modelo matemático utilizado neste tópico é o de Müller et al. (2018). Este modelo considera a existência de um sistema de refrigeração dentro do baú do caminhão que realiza a distribuição física dos produtos da cadeia do frio, isto é, um sistema que mantém refrigerado os produtos enquanto o motor do caminhão está ligado. Também é importante destacar que as rotas geradas são resultantes do modelo matemático proposto, com simulações de diversos cenários, anteriormente à calibração do modelo.

4.1.1 Cenário inicial

Na Tabela 4 pode-se verificar os resultados do primeiro caminho realizado, o qual visa apenas analisar a heurística do Vizinho Mais Próximo, sem empregar qualquer tentativa de melhorar a temperatura dos produtos no decorrer da rota, sendo o indicador considerado, a temperatura máxima ou média. Neste cenário, o custo total da rota foi de 53,784 U.M (MÜLLER, et al. 2018), valor que será utilizado para comparação com os custos dos próximos oito caminhos. O Gráfico 3 ilustra o comportamento da temperatura obtida no decorrer da rota gerada, percebendo-se que por mais que a temperatura do produto diminua em alguns pontos, ela é sempre cumulativa, ou seja, está sempre em crescimento.

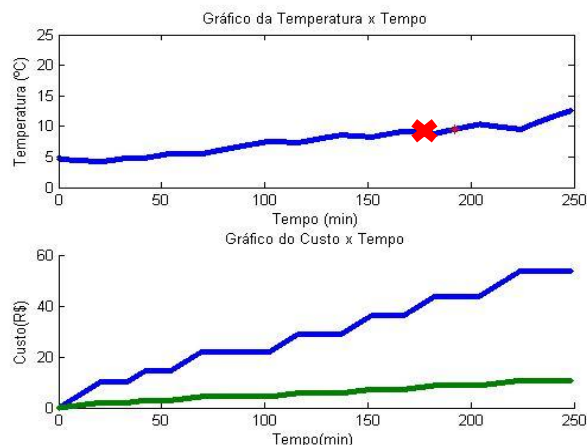
Tabela 4: Resultados do Cenário Inicial

Temp Max °C	Temp. Med. °C	Temp. Final °C	Custo UM	Custo Refri. UM	Pt de Abuso	Dist Total
12,5708	7,6375	12,5708	53,784	10,7568	6	117,9 min

Origem	P.1	P.2	P.3	P.4	P.5	P.6	P.7	Origem
1	3	4	5	6	7	8	2	1

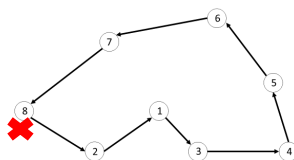
Fonte: Autores (2018)

Gráfico 3 – Variação no custo e temperatura do Cenário Inicial



A Figura 11 representa o percurso da rota obtida, em que o sequenciamento obtido resultou em CD (1)-3-4-5-6-7-8-2-CD (1). No gráfico de custos (o inferior) existem duas linhas, que representam custos diferentes. A linha superior representa o custo total do transporte e a inferior o custo do sistema de refrigeração. Em pontos onde o veículo está no processo de descarregamento, o custo se mantém constante. Isto se dá pelo fato de que no modelo proposto o motor é desligado durante o processo de descarga. Também é possível perceber um comportamento de “acúmulo de temperatura” onde por mais que em alguns pontos a temperatura do produto seja reduzida, em uma perspectiva geral, ela sempre está aumentando.

Figura 11: Rota do Cenário Inicial



Fonte: Autor (2018)

4.1.2 Situação 1: Início da rota no ponto mais próximo da origem

Este cenário considera o início da rota de distribuição como sendo o no ponto mais próximo da origem, ou seja, é o processo considerado “convencional” da heurística do Vizinho mais Próximo. Analisando o grafo da Figura 6, pode-se perceber que o ponto mais próximo da origem é o 3, e assim, o resultado na Tabela 5 demonstra ser coerente, pois tem-se este ponto como a primeira entrega.

Cenário 1

O seguinte resultado foi encontrado ao buscar a menor temperatura máxima com início no ponto de distribuição mais próximo da origem:

Tabela 5: Resultados do Cenário 1

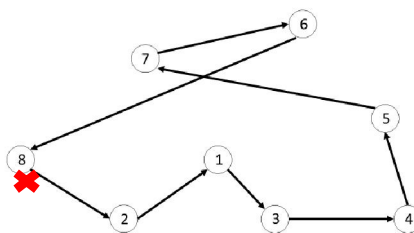
Temp Max °C	Temp. Med. °C	Temp. Final °C	Custo UM	Custo Refri. UM	Pt de Abuso	Dist Total
11,9998	7,6750	11,9998	64,2420	12,8484	6	147,65 min

Origem	P.1	P.2	P.3	P.4	P.5	P.6	P.7	Origem
1	3	4	5	7	6	8	2	1

Fonte: Autor (2018)

Neste cenário, o sequenciamento obtido resultou em CD(1)-3-4-5-7-6-8-2-CD(1). A temperatura final, representa a última temperatura que os produtos alcançaram, o veículo volta vazio para o CD(1).

Figura 12: Rota do Cenário 1



Fonte: Autor (2018)

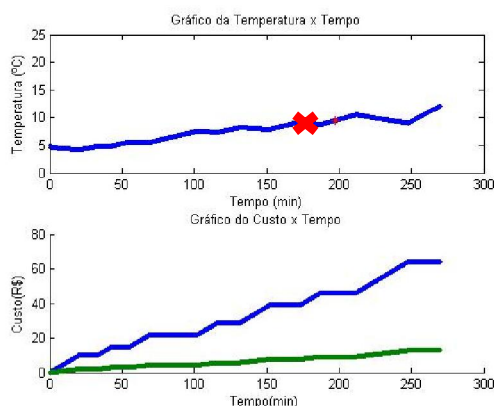
O ponto de abuso neste cenário ocorre no ponto de distribuição 6 da rota, que equivale ao cliente 8 conforme identificado na Tabela 5. Portanto, ao realizar a penúltima entrega considerada na rota, a temperatura do produto ultrapassa 10 °C chegando a 11,99 °C, caracterizando como um “abuso de temperatura”. Comparado ao Resultado do Cenário 2, este caminho atinge uma menor temperatura máxima no decorrer do trajeto. O gráfico 4 apresenta

os dados de temperatura e custo em função do tempo obtidos através da simulação da rota do cenário 1.

Cenário 2

Neste cenário, o sequenciamento obtido resultou em CD(1)-2-8-7-6-3-4-5-CD(1), conforme Figura 13. Neste caso, busca-se a menor temperatura média, diferente do cenário anterior (cenário 1) que buscou a menor temperatura máxima. Ver Tabela 6 e Gráfico 5.

Gráfico 4 – Variação no custo e temperatura do Cenário 1



Fonte: Autor (2018)

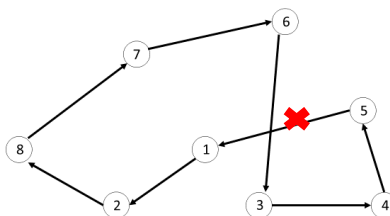
Tabela 6: Dados do Cenário 2

Temp Max °C	Temp. Med. °C	Temp. Final °C	Custo UM	Custo Refri. UM	Pt de Abuso	Dist Total
12.2197	7.4729	12.2197	63.9432	12.7886	7	136,18 min

Origem	P.1	P.2	P.3	P.4	P.5	P.6	P.7	Origem
1	2	8	7	6	3	4	5	1

Fonte: Autor (2018)

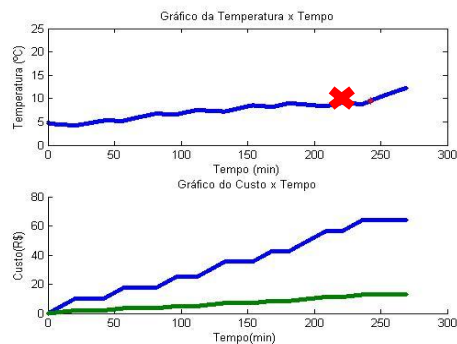
Figura 13: Rota do Cenário 2



Fonte: Autor (2018)

O gráfico 5 apresenta os dados de temperatura e custo em função do tempo obtidos através da simulação da rota do cenário 2. Visualmente, os resultados apresentados no gráfico 5 são semelhantes aos resultados mostrados no gráfico 4.

Gráfico 5 – Variação no custo e temperatura do Cenário 2



Fonte: Autor (2018)

Ao comparar os resultados do cenário 2 com o cenário 1, percebe-se o ponto de abuso ocorrente no cenário 2 se deu ao final do percurso, no ponto 7, e que também o custo foi menor, em troca de um aumento de aproximadamente 0,3 °C no indicador da temperatura máxima em toda a rota. Percebe-se que como este resultado atingiu um custo total de menor valor, 64,2420 do cenário 1 para 63,94 do cenário 2, consequentemente a distância também é menor. Pode-se considerar, portanto, que quanto menor esta distância entre pontos, maior será o acúmulo de temperatura, resultado em uma temperatura máxima maior.

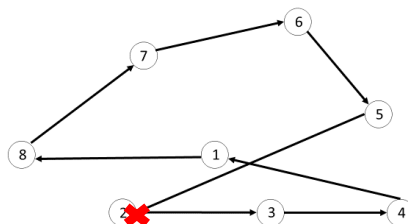
4.1.3 Situação 2: início da rota no ponto mais distante da origem

Diferentemente da Situação 1, na Situação 2 tem-se como primeiro ponto da distribuição física de produtos refrigerados o ponto 8 por ser o mais distante da origem (ver Tabela 1).

Cenário 3

Neste cenário, o resultado não difere muito dos resultados obtidos com a estratégia da Situação 1 (ver Tabelas 4 e 5 e Gráfico 6), e assim, obteve-se um abuso de temperatura no ponto 5, aproximadamente na metade da execução da rota (Figura 14), conforme sequenciamento obtido de CD(1)-8-7-6-5-2-3-4-CD(1). Difere-se, no entanto, no custo total do percurso; como este trajeto é iniciado pela entrega no ponto mais distante da origem (cliente 8), tem-se uma elevação no custo de aproximadamente 6 U.M, porém houve uma melhora na com a redução da temperatura máxima de 0,3 °C (de 11,99 °C para 11,67 °C).

Figura 14: Grafo do Cenário 3



Fonte: Autor (2018)

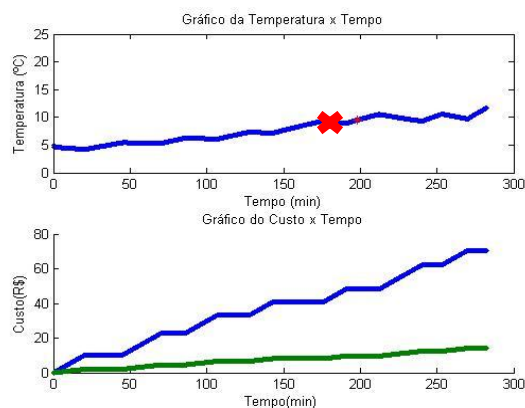
Tabela 7: Dados do Cenário 3

Temp Max °C	Temp. Med. °C	Temp. Final °C	Custo UM	Custo Refri. UM	Pt de Abuso	Dist Total min
11,6755	7,5905	11,6755	70,6164	14,1233	5	156,08 min

Origem	P.1	P.2	P.3	P.4	P.5	P.6	P.7	Origem
1	8	7	6	5	2	3	4	1

Fonte: Autor (2018)

Gráfico 6 – Variação no custo e temperatura do Cenário 3



Fonte: Autor (2018)

Cenário 4

Os dados encontrados ao buscar a menor temperatura média foram semelhantes ao do Cenário 2 (ver Tabela 8 e Gráfico 7).

Tabela 8: Dados do Cenário 4

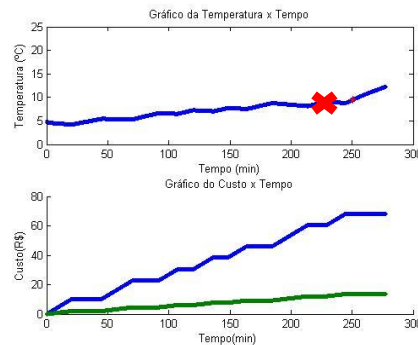
Temp Max °C	Temp. Med. °C	Temp. Final °C	Custo UM	Custo Refri. UM	Pt de Abuso	Dist Total min
12,2301	7,2926	12,2301	68,1264	13,6253	7	150,38 min

Origem	P.1	P.2	P.3	P.4	P.5	P.6	P.7	Origem
1	8	2	3	4	6	7	5	1

Fonte: Autor (2018)

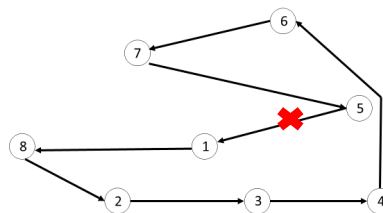
Analisando de maneira comparativa (cenário 2 com cenário 4) tem-se que não houve mudança significativa na temperatura média (de 7,47 °C para 7,29 °C) para um aumento no custo de aproximadamente +4 U.M (de 63,94 U.M para 68,12 U.M). Neste cenário o abuso ocorre no final do caminho, demonstrando que isto pode ser um fenômeno ao buscar a menor temperatura média. O sequenciamento obtido neste cenário resultou em CD(1)-8-2-3-4-6-7-5-CD(1), conforme Figura 15.

Gráfico 7 – Variação no custo e temperatura do Cenário 4



Fonte: Autor (2018)

Figura 15: Grafo do Cenário 4



Fonte: Autor (2018)

4.1.3 Situação 3: ultra-carga no ponto de distribuição mais próximo da origem

É previsto que os resultados considerando a Situação 3 sejam consideravelmente diferentes das situações anteriores. Isto se dá pelo fato de que o comportamento da quantidade de carga a ser descarregada é diferente; daqui em diante no estudo, existe um ponto da rota de entrega que é responsável por aproximadamente 80% da capacidade de produtos que o transporte pode realizar. Os próximos cenários irão abordar de formas diferentes esta mesma situação. A diferença entre a Situação 3 para a 4 é que uma aborda este ponto sendo o mais próximo da origem, enquanto a outra o mais distante, respectivamente.

Cenário 5

Ao buscar uma menor temperatura máxima no percorrer da rota de distribuição de produtos da Cadeia do Frio, o ponto de abuso ocorreu bem no início do percurso, na segunda entrega, no ponto 5. Ver Tabela 9 e Gráfico 8.

O resultado obtido neste cenário obteve o melhor resultado até então, considerando a temperatura máxima e final (que na maioria dos cenários são iguais). O valor obtido da temperatura final do trajeto foi 11,02 °C, em comparação com o cenário inicial (12,53 °C), proporcionando uma melhoria de aproximadamente 1,51 °C.

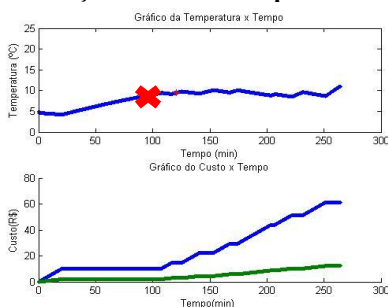
Tabela 9: Dados do Cenário 5

Temp Max °C	Temp. Med. °C	Temp. Final °C	Custo UM	Custo Refri. UM	Pt de Abuso	Dist Total
11,0239	8,2308	11,0239	61,4034	12,2807	2	143,14 min

Origem	P.1	P.2	P.3	P.4	P.5	P.6	P.7	Origem
1	3	5	4	6	7	2	8	1

Fonte: Autor (2018)

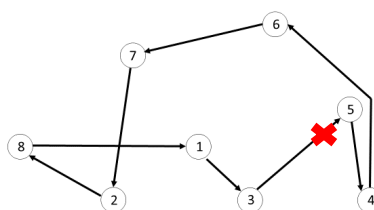
Gráfico 8 – Variação no custo e temperatura do Cenário 5



Fonte: Autor (2018)

O sequenciamento obtido neste cenário resultou em CD(1)-3-5-4-6-7-2-8-CD(1), conforme Figura 16.

Figura 16: Grafo do Cenário 5



Fonte: Autor (2018)

Cenário 6

Ao analisar os dados da Tabela 10 e Gráfico 9 comparativamente ao resultado do Cenário 5 tem-se que o ponto de abuso ocorre ao final do trajeto (sétima descarga, no ponto

3) quando no Cenário 5 ocorreu na segunda descarga, no ponto 3. Tal informação é interessante, pois confirma que ao buscar a menor temperatura média o ponto de abuso se concentra mais ao final da rota traçada. Isto pode levar a crer que grandes entregas (maior volume de produtos) no início da rota resultam num acúmulo de temperatura menor no decorrer de toda a rota, portanto, atinge temperaturas máximas menores. Já ao realizar a entrega final da rota (no último ponto), a temperatura média no decorrer de todo processo é consideravelmente mais baixa (7,19 °C), porém, atinge um alto valor do indicador temperatura máxima (13,56 °C).

A temperatura máxima deste cenário foi 3,5 °C maior que a do cenário anterior, dado relevante para a análise, visto que este valor é aproximadamente 30% mais alto. Percebe-se que tanto no Cenário 5 como no Cenário 6 o ponto de abuso de temperatura ocorre na entrega do ponto de Ultra-Carga (ponto 3, ou seja, o cliente 3 que possuía 70% quantidade de carga).

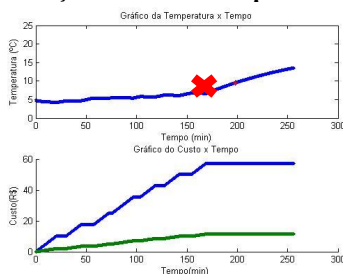
Tabela 10: Dados do Cenário 6

Temp Max °C	Temp. Med. °C	Temp. Final °C	Custo UM	Custo Refri. UM	Pt de Abuso	Dist Total
13,5677	7,1943	13,5677	57,3696	11,4739	7	117,9 min

Origem	P.1	P.2	P.3	P.4	P.5	P.6	P.7	Origem
1	2	8	7	6	5	4	3	1

Fonte: Autor (2018)

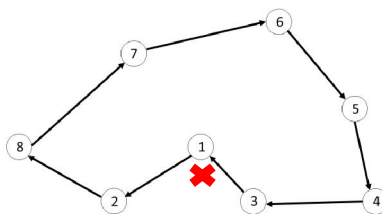
Gráfico 9 – Variação no custo e temperatura do Cenário 6



Fonte: Autor (2018)

O sequenciamento obtido neste cenário resultou em CD(1)-2-8-7-6-5-4-3-CD(1), conforme Figura 17.

Figura 17: Grafo do Cenário 6



Fonte: Autor (2018)

4.1.5 Situação 4: Ultra-carga no ponto de distribuição mais distante da origem

Cenário 7

O sequenciamento da rota obtido neste cenário (Gráfico 10) é igual ao sequenciamento do Cenário 6, porém, os dados de temperatura e ponto de abuso não são semelhantes. Isto se dá pelo fato de que no cenário 7 o ponto de Ultra-Carga é o mais distante da origem (ponto 8, como comentado anteriormente neste documento), diferentemente do resultado que está sendo comparado, onde o ponto de Ultra-Carga é o mais próximo da origem. Alterando as configurações de entrega, os dados de temperatura serão modificados. No Cenário 7, como o custo do trajeto se dá apenas pelo deslocamento, e como os caminhos são os mesmos CD(1)-2-8-7-6-5-4-3-CD(1), tem-se que os valores de ambos custos são iguais (57,36 U.M).

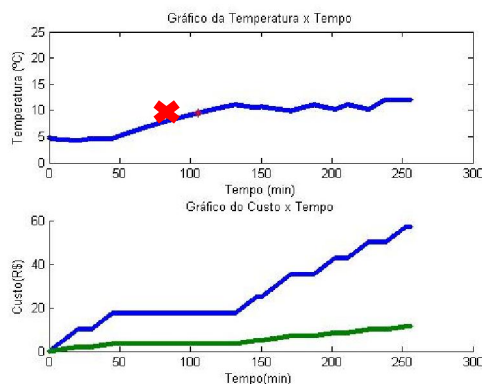
Tabela 11: Dados do Cenário 7

Temp Max	Temp. Med.	Temp. Final	Custo	Custo Refri.	Pt de Abuso	Dist Total
12.1372	8.8374	12.1372	57.3696	11.4739	2	117,9 min

Origem	P.1	P.2	P.3	P.4	P.5	P.6	P.7	Origem
1	2	8	7	6	5	4	3	1

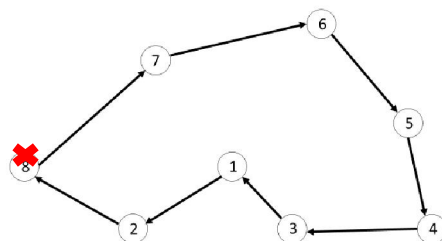
Fonte: Autor (2018)

Gráfico 10 – Variação no custo e temperatura do Cenário 7



Fonte: Autor (2018)

Figura 18: Grafo do Cenário 7



Fonte: Autor (2018)

Cenário 8

O sequenciamento obtido neste cenário resultou em CD(1-3-4-5-7-6-2-8-CD(1), conforme Figura 19. Ver Tabela 12. O abuso foi na última descarga do processo (sétimo ponto), no ponto 8.

Quando se trata dos casos com Ultra-carga (Situação 3 e Situação 4) existe um fenômeno perceptível no comportamento do sequenciamento da rota de distribuição quando se altera as situações. Isto é, quando a estratégia da rota é buscar um caminho que apresente uma menor temperatura média, o ponto com a Ultra-carga é deixado como o último de entrega.

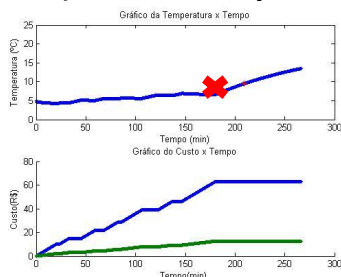
Já quando se busca a menor temperatura máxima, o ponto de Ultra-carga é priorizado, sendo o primeiro ponto de descarga considerado na rota de distribuição. Isso se dá pelo fato de que no início do percurso, tem-se a menor temperatura do trajeto, pois é quando o veículo sai do centro de distribuição, portanto, ao entregar a grande quantidade de carga logo no início, a rota atingirá uma menor temperatura máxima em troca de um acúmulo maior de temperatura durante o restante do processo de deslocamento e entrega.

Quando a menor temperatura média é encontrada, o ponto de Ultra-carga é deixado para realizar a distribuição de produtos por último, pois busca-se uma menor temperatura durante todo o percurso, deixando o possível ponto de acúmulo de temperatura (por conta do maior tempo de entrega) para o final.

Tabela 12: Dados do Cenário 8

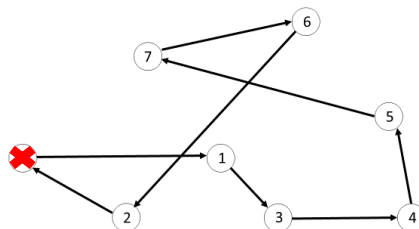
Temp Max °C	Temp. Med. °C	Temp. Final °C	Custo UM	Custo Refri. UM	Pt de Abuso	Dist Total		
13,5032	7,2022	13,5032	62,6484	12,5297	7	145,59 min		
Origem	P.1	P.2	P.3	P.4	P.5	P.6	P.7	Origem
1	3	4	5	7	6	2	8	1

Gráfico 11 – Variação no custo e temperatura do Cenário 8



Fonte: Autor (2018)

Figura 19: Grafo do Cenário 8



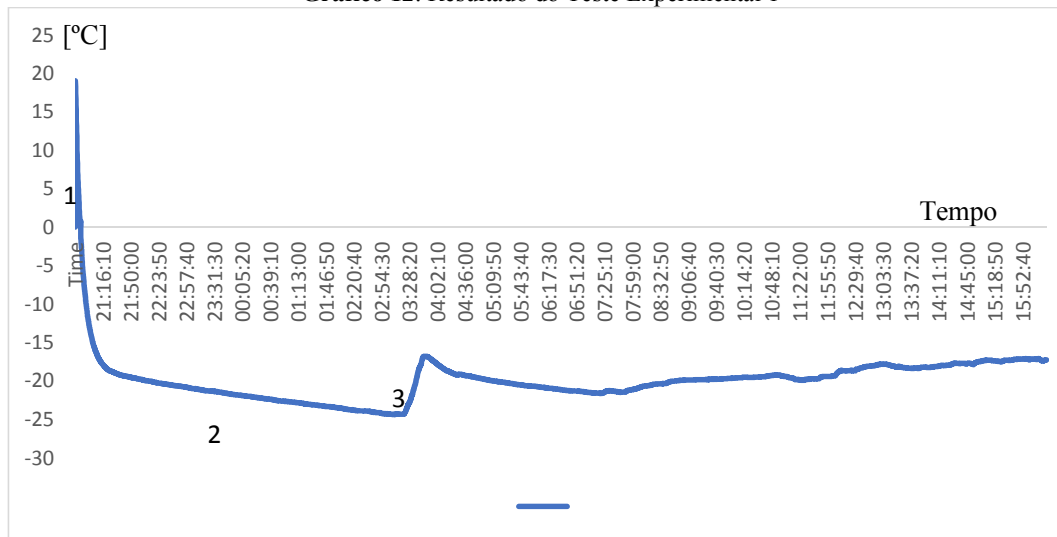
Fonte: Autor (2018)

4.2 MEDIÇÃO, CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

O tópico anterior apresentou diversos cenários de roteirização analisados pelo modelo matemático proposto por Müller et al. (2018). Em sequência, outra etapa importante foi realizada, que é a validação do coeficiente β , e seus resultados serão apresentados a seguir.

Através das medições de temperatura realizadas durante o processo de distribuição de produtos (pela empresa parceira deste projeto), pôde-se analisar o comportamento térmico no decorrer do tempo. Um exemplo desta coleta (mediante o uso do equipamento DataLogger) é apresentado no Gráfico 12.

Gráfico 12: Resultado do Teste Experimental 1



Fonte: Autores (2019)

No eixo vertical se encontram valores de temperatura em Celsius; no horizontal o instante de tempo em que tal temperatura foi medida. Apesar do exemplo ilustrar apenas um dos dias de coleta de dados, de forma geral, o comportamento da temperatura é semelhante nas demais medições.

Para entender melhor o comportamento do processo, pode-se separar o gráfico em 4 eventos importantes distintos. O primeiro (1) é uma inclinação aguda tendendo negativamente; isso ocorre, pois, o equipamento foi recentemente colocado dentro do baú térmico do caminhão e ele está se adequando à temperatura do ar. O evento (2) é o processo normal de resfriamento do baú, o qual é resfriado ao máximo até se iniciar o processo de carregamento da mercadoria, caracterizado pelo evento (3). Percebe-se que existe um aumento da temperatura neste evento, pois as portas do baú estão abertas e o caminhão está sendo carregado com os produtos (sorvetes). Após o carregamento, o baú volta a ser refrigerado normalmente. No evento (4), é onde o baú é desligado da eletricidade (o que mantém as placas eutéticas funcionando); e a partir deste evento a temperatura irá tender a aumentar até o final do trajeto, de volta à empresa.

A temperatura crítica para fins de validação do modelo aqui proposto foi estabelecida em $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, o que quer dizer que se a temperatura interna do baú for maior que esse parâmetro, pior é para a manutenção da qualidade do produto transportado. Quanto maior a diferença entre a temperatura interna com a crítica, melhor o desempenho do processo de entregas.

O modelo matemático de Müller et al. (2018) utilizado como ponto de partida dos estudos realizados durante a Iniciação Científica deve ser calibrado com base nos dados

experimentais para prever a temperatura interna do compartimento refrigerado (baú). Esta etapa, de calibração, é fundamental para o avanço das pesquisas a serem realizadas sobre o efeito da roteirização de veículos e o impacto sobre a performance térmica de produtos da cadeia do frio. Por exemplo, uma empresa pode utilizar o modelo para identificar a melhor rota a ser realizada durante a entrega de determinada quantidade de produto buscando-se pelo menor custo x melhor temperatura do baú e, com isso, melhor dimensionar o baú x sistema de refrigeração a serem empregados, no intuito de otimizar a distribuição física e consequentemente os custos logísticos inerentes ao processo.

Conforme já mencionado, através do isolamento do valor de β (equação 10), uma média é obtida para gerar um valor calibrado para ele. Através de um software de planilhas, milhares de dados de temperatura foram analisados em 4 testes distintos. Para cada acompanhamento um valor de β foi alcançando, e então uma média dos quatro valores foi calculada (Tabela 13).

Tabela 13: Dados da média de β de todos os acompanhamentos

Acomp. 1	Acomp. 2	Acomp. 3	Acomp. 4	Média Obtida
-0,0569	-0,02394	-0,01564	-0,02142	-0,02948

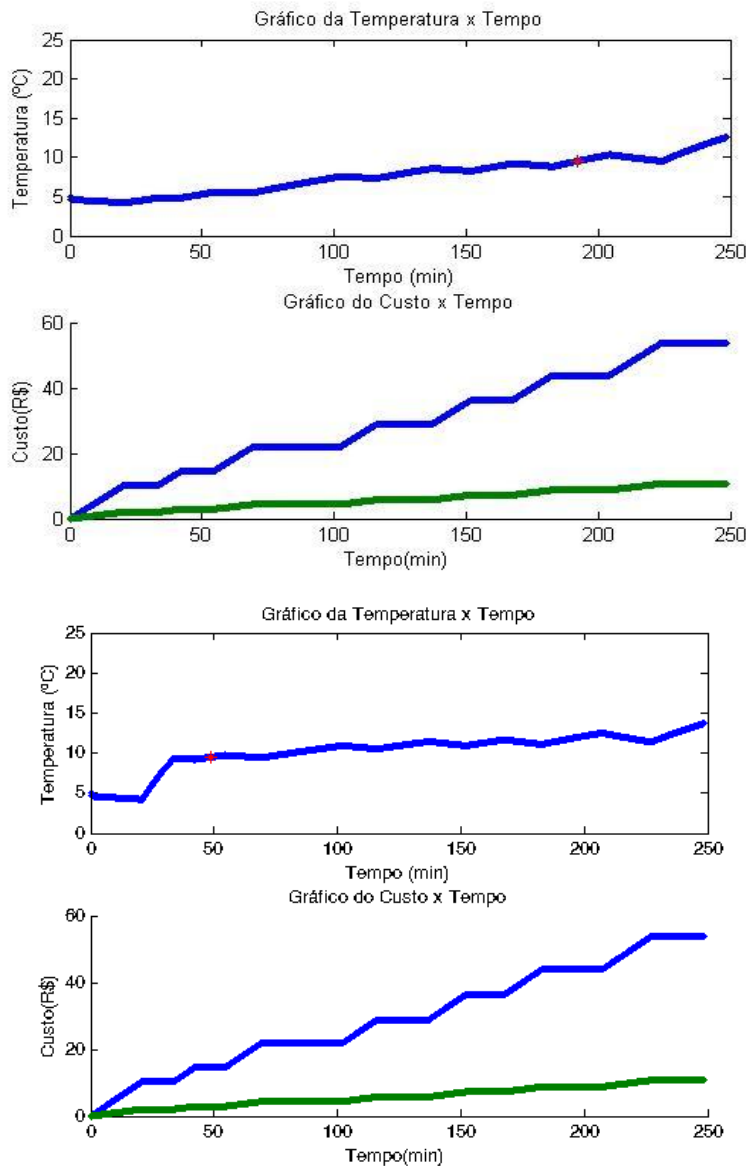
Fonte: Autores (2019)

Portanto, o novo valor de β calibrado é -0,02948. O valor utilizado anterior a calibração foi de $\beta = -0,003$.

Então, com esse novo valor, o cenário inicial (ver gráfico 3) foi recalculado, mantendo-se constantes todos os dados com exceção do valor de β calibrado. O gráfico 13 apresenta uma comparação entre os dois resultados. Antes e após a calibração, respectivamente.

Existe uma clara distinção nos dois resultados de temperatura. O primeiro tem poucos picos, diferente do segundo (que é com o valor de β calibrado) que apresenta um pico de aumento de temperatura logo no início do processo. De modo geral, ao analisar os valores da Tabela 14, que é um comparativo numérico dos resultados, pode-se concluir que os resultados do modelo calibrado atingem valores de temperatura maiores, com uma média 25,4% maior (10,24 °C comparados a 7,64 °C).

Os dados de custo se mantêm idênticos nas duas simulações, isso se dá pelo fato de que a rota é a mesma nos dos cenários, pois, para analisar a diferença do valor do coeficiente calibrado e não calibrado, foi utilizado o cenário 1, o qual apenas aplica a heurística do vizinho mais próximo sem a busca por rotas com menor impacto na temperatura. Fixando a rota, pode-se ter uma noção mais clara do impacto da mudança do coeficiente.

Gráfico 13: Comparação do Cenário Inicial com β antes e após calibração

Fonte: Autores (2019)

Tabela 14: Resultados do Cenário Inicial antes e após calibração

Temp Max °C	Temp. Med. °C	Temp. Final °C	Custo UM	Custo Refri. UM	Pt de Abuso	Dist Total
12,5708	7,6375	12,5708	53,784	10,7568	6	117,9 min

Temp Max °C	Temp. Med. °C	Temp. Final °C	Custo UM	Custo Refri. UM	Pt de Abuso	Dist Total
13,6931	10,2426	13,6931	53,784	10,7568	6	117,9 min

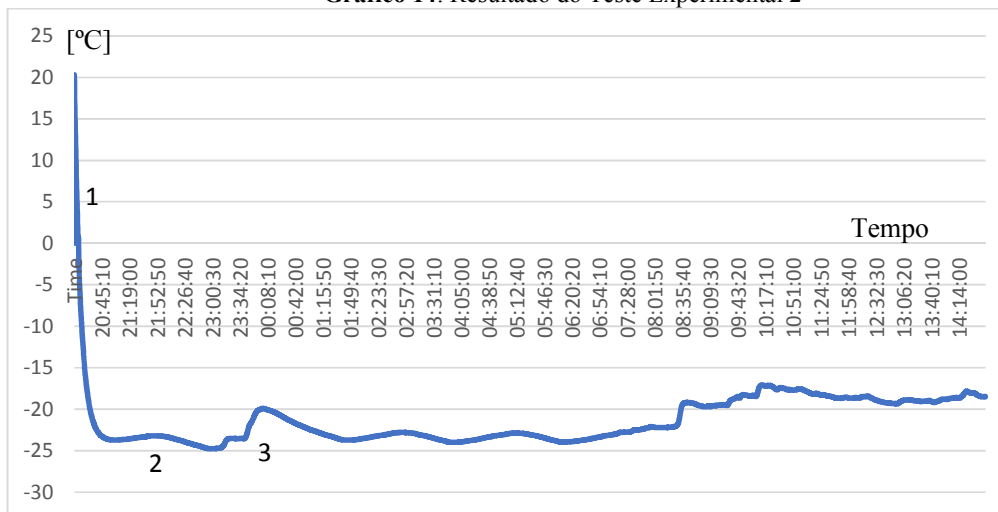
Fonte: Autores (2018)

4.2 ANÁLISE DOS GRÁFICOS DE TEMPERATURA

Os gráficos de 12 a 15 apresentam as temperaturas medidas durante os testes experimentais realizados. A seguir os resultados dos testes experimentais 2, 3 e 4 podem ser comparados com

os resultados do primeiro teste, neles estão destacados os mesmos eventos (1, 2, 3 e 4) que foram explanados no tópico anterior. O posicionamento dos gráficos no documento não representa que um é mais importante do que outro. No caso do gráfico 12, ele foi apresentado antes por motivos de melhor contextualização do trabalho.

Gráfico 14: Resultado do Teste Experimental 2



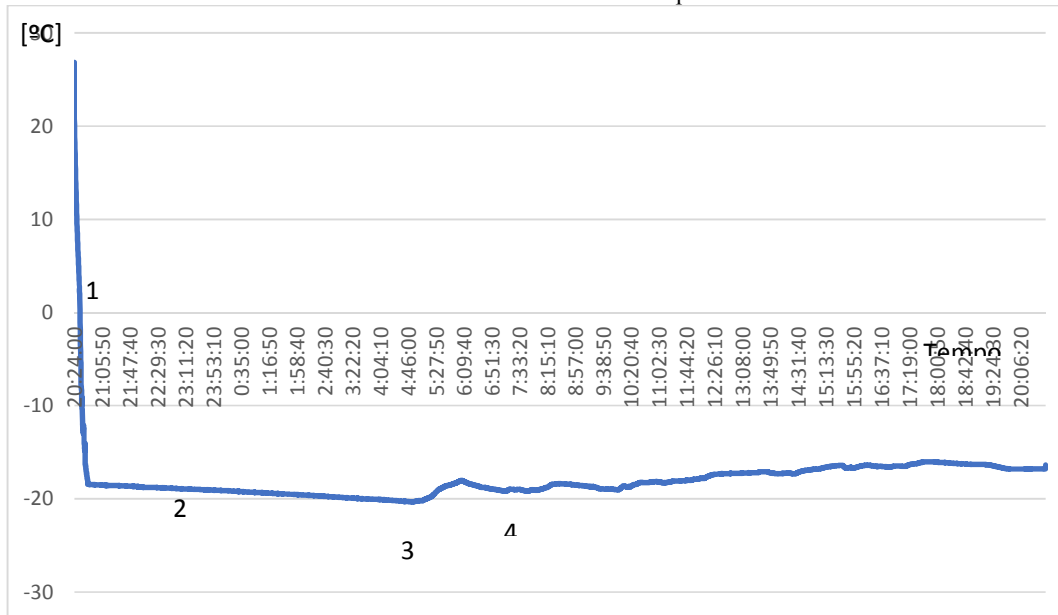
Fonte: Autores (2019)

Neste segundo teste houve um total de 10 pontos de entrega na região sul da cidade de Joinville. Desses 10, dois são consideradas grandes redes. Essa informação é importante pois é nessas grandes redes que ocorre o maior número de produtos entregues, e conseqüentemente o tempo onde o caminhão permanece por mais tempo, tanto por conta da descarga dos produtos, mas também pelo processo logístico de recebimento da nota fiscal da carga pelo mercado. Esse processo é lento e leva certo tempo. Em alguns casos o motorista deixou a nota fiscal para ser processada e continuou a entrega em outros pontos. A temperatura máxima nesse ponto foi de $-18,9883^{\circ}\text{C}$ e levou 6 horas e 20 minutos para realizar todas as entregas. A média de temperatura neste teste foi de $-21,22^{\circ}\text{C}$. A carga total foi de 514 kg.

A rota do experimento 3 consistiu de 11 mercados, dos quais apenas 1 pôde ser considerado uma grande rede. A temperatura máxima alcançada foi de $-14,4065^{\circ}\text{C}$ com uma média de $-15,54^{\circ}\text{C}$. O tempo total para a realização das entregas foi de 7 horas e 15 minutos. A carga total foi de 790 kg.

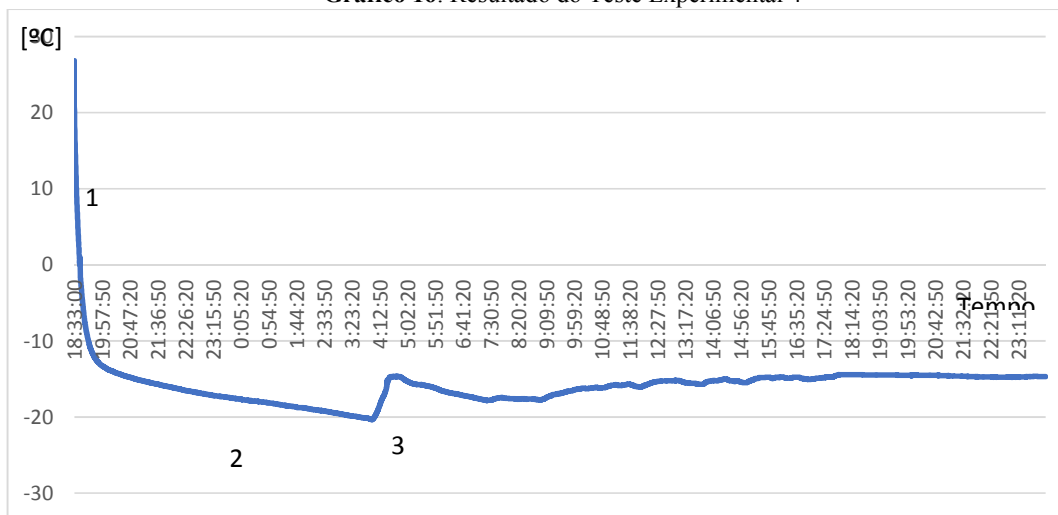
O teste experimental 4 teve 14 mercados na sua rota onde 1 é considerado grandes redes. A temperatura máxima atingida foi de $-17,712^{\circ}\text{C}$ com média de $19,77^{\circ}\text{C}$. O tempo total para completar a rota foi de 5 horas e 28 minutos. A carga total a ser entregue foi de 719 kg.

Gráfico 15: Resultado do Teste Experimental 3



Fonte: Autores (2019)

Gráfico 16: Resultado do Teste Experimental 4



Fonte: Autores (2019)

A temperatura do processo depende de diversas variáveis. O momento em que a placa eutética foi ligada, a temperatura externa, o momento em que o carregamento foi realizado, tempo de entrega, que também é uma variável inconstante pois atrasos podem ocorrer e imprevistos no processo. Prever a temperatura é um desafio levando em conta tantas inconstâncias, portanto, quanto menor a incidência de fenômenos variáveis no sistema de entregas, mais eficiente se torna o planejamento. Assim, com um sistema mais confiável, tem-se uma base sólida para tomar decisões estratégicas. Uma questão de muita imprevisibilidade é a fila de entregas em alguns clientes. Os veículos fazem fila para descarregar seus produtos,

e dependendo do horário e da quantidade de caminhões, uma entrega que poderia levar 5 a 10 minutos, chega a levar 1 hora inteira por conta da espera. Essa espera em alguns clientes poderia ser reduzida pois existem falhas visíveis dos receptores de carga.

O teste com a menor temperatura foi o segundo, dado que tem coerência pois foi a rota com a menor quantidade de carga. Com menos carga, conseqüentemente o tempo de porta aberta diminui. Nesta rota, o cliente com maior carga (cerca de 57% da carga total dentro do caminhão) a ser entregue, foi o primeiro a ser atendido. Isso resultou em apenas cargas pequenas restantes nos outros 9 estabelecimentos. Esse cenário é semelhante ao caso da Ultra-carga no início. Ambos os cenários (o simulado e o real) apresentam uma menor temperatura máxima comparada com os outros; ou seja, realizar a maior entrega no início resulta numa menor temperatura máxima na rota.

Pode-se afirmar ao analisar os gráficos, que a temperatura de fato é acumulativa durante todo o processo, ou seja, ela tende a crescer positivamente. Outro ponto importante do processo é o carregamento da mercadoria no interior do baú, que ocorre geralmente durante a madrugada. Após ele ser realizado, o caminhão volta a refrigerar, porém, a temperatura atinge valores maiores do que aqueles antes do carregamento; como é a carga que o veículo irá entregar durante todo o dia, esse processo de carregamento leva em torno de uma hora para ser realizado. Quanto mais eficiente esse processo for, menor o impacto na variação de temperatura interna do baú.

O teste experimental 4 foi o pior desempenho. Ao observar o gráfico 15, percebe-se que os valores de temperatura estão próximos da linha do valor crítico de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Uma suposição desse acontecimento deriva do fato do carregamento ter ocorrido apenas duas horas antes do início da distribuição dos produtos, não dando tempo para recuperação da temperatura.

5. CONCLUSÕES

De acordo com os cenários estudados e analisados, conclui-se que primeiramente o estudo de caso simulado gerado considera que o produto da cadeia do frio a ser transportado deve partir do centro de distribuição com a menor temperatura possível. Isso se dá pelo fato de que em todos os cenários ocorreram abusos de temperatura, dependendo da sua característica seja no início da realização da distribuição, ou no final.

Nos cenários 3 e 4, onde existe a Ultra-carga, independente de quando será realizada a entrega dessa grande quantidade de carga, o abuso de temperatura ocorre justamente no ponto

onde é realizada a entrega da Ultra-carga. Por haver uma grande quantidade de mercadoria no baú, o tempo de porta aberta é maior (para fins de remoção/arrumação da carga), e como a temperatura do produto não está suficiente baixa antes da abertura de portas, ocorre um desrespeito do limite de temperatura estabelecido. Sempre que se buscou a menor temperatura máxima nestes mesmos cenários, a entrega da Ultra-carga se deu no início do processo de entrega, pois é onde teve o menor acúmulo de temperaturas durante o processo (isto é, não teve tempo de haver acúmulos ainda). No caso de buscar a menor temperatura média, essa Ultra-carga (grande volume de entrega) se dá no final do percurso, ou seja, o controle de temperatura das entregas está razoável, dentro dos limites, durante todo o processo e se mantendo num nível aceitável. Porém, ao entregar a Ultra-carga por último, uma maior temperatura máxima é atingida, pois ocorre uma abertura de portas com elevado valor de tempo somada à temperatura acumulada de todas as entregas anteriores.

Percebeu-se, portanto, que o valor de β é de extrema importância para o modelo. É ele que irá aproximar os resultados da realidade, portanto, sua calibração é necessária. Conforme os produtos são entregues, a área total deles em contato com o ar do baú do veículo diminui. Portanto, o valor de β sofre mudanças de maneira proporcional à mudança da área. Neste estudo foi estabelecido um modelo genérico capaz de calcular a área removida por entrega de maneira exata, obtendo-se as dimensões do produto transportado (válido para o caso o processo de remoção de produto seguir o considerado neste trabalho).

Após a realização de medições de temperatura e testes experimentais, o valor de β foi calibrado, atingindo um valor aproximadamente dez vezes maior do que o valor utilizado pelo modelo matemático anteriormente (de -0,003 para -0,03 aproximadamente). Então, ao recalculer o cenário 1 com o valor de β atualizado, valores maiores de temperatura foram atingidos.

Sugestões para melhorias deste estudo, deixando-o mais próximos às práticas reais, devem considerar a análise e calibração do modelo de proporção de β com a área, para confirmar se existe um impacto significativo nos resultados e se houver, buscar meios para garantir uma proporção confiável. Outro ponto possível de estudo seria uma economia na refrigeração através das placas eutéticas, ligando-as de maneira estratégica diminuindo custos, isto é, evitando uma refrigeração desnecessária.

REFERÊNCIAS

- Arannilewa ST, Salawu SO, Sorungbe AA, Ola-Salawu BB (2005). Effect of frozen period on the chemical, microbiological and sensory quality of frozen tilapia fish (*Sarotherodon galiaenus*). *Afr. J. Biotechnol.* 4(8): 852-855
- Cogne, C., Andrieu, J., Laurent, P., Besson, A. and Nocquet, J. 2003. Experimental data and modelling of thermal properties of ice creams. *J. Food Eng.* 58, 331–341.
- Díaz-Ramirez, Jenny *et al.* Eco-driving key factors that influence fuel consumption in heavy-truck fleets: A Colombian case. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, [s.l.], v. 56, p.258-270, out. 2017. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2017.08.012>.
- Duarte, G., Goncalves, G., Baptista, P. & Farias, T. (2015), Establishing bonds between vehicle certification data and real-world vehicle fuel consumption—a vehicle specific power approach, *Energy Conversion and Management*, 92, 251–65.
- Fagan JD, Gormley TR, Mhuircheartaigh MU (2003). Effect of freeze-chilling, in comparison with fresh, chilling and freezing, on some quality parameters of raw whiting, mackerel and salmon portions. *Food Sci. Technol-LEB.* 36(7): 647-655
- Filina-Dawidowicz, Ludmila. Rationalization of servicing reefer containers in sea port area with taking into account risk influence. *Polish Maritime Research.* Szczecin, p. 76-85. fev. 2014.
- GOFF, H.D. 1995. The use of thermal analysis in the development of a better understanding of frozen food stability. *Pure Appl. Chem.* 67, 1801–1808.
- Halliday, Resnick, Walker. *Fundamentos de Física.* Vol. 2. 8 ed. Editora LTC, 2009
- Heap, R. D. (2006) Cold chain performance issues now and in the future. *IIR Bulletin*, n. 4, p. 1-11.
- Heap, R.; Kierstan, M.; Ford, G. (1998), *Food transportation.* Londres: Blackie Academic & Professional.
- Hoffman, W. (2006). Hot Market, Cool Freight. *Journal of Commerce.*
- Jiménez, J. L., McLintock, P. M., McRae, G. J., Nelson, D.D. & Zahniser, M. S. (1999). Vehicle specific power: a useful parameter for remote sensing and emissions studies (PDF), Ninth CRC On-Road Vehicle Emissions Workshop, San Diego, CA, April 1999.
- Likar, K.; Jevsnik, M. (2006) “Cold Chain Maintaining in Food Trade”. *Food Control*, v. 17, pp. 108 –113.
- Marshall, R.T., Goff, H.D. and Hartel, R.W. 2003. *Ice Cream*, 6th Ed., pp. 73–79, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, NY.
- Müller, Gabriel; Silva, Vanina M. D.; Da Silva, Diogo L. (2018). *Modelagem Matemática Voltada À Roteirização De Veículos De Carga Refrigerada.* Relatório de Iniciação Científica, PIBIC-CNPq.
- Müller, Gabriel; Silva, Vanina M. D.; Da Silva, Diogo L (2019). Efeitos da Roteirização de Veículos sobre a Performance Térmica de Produtos da Cadeia do Frio. XXXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Santos.

Novaes, A. G. Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição. 4.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

Regand, A. and GOFF, H.D. 2003. Structure and ice recrystallization in frozen stabilized ice cream model systems. *Food Hydrocolloid* 17, 95–102.

Shaviklo, Gholam Reza *et al.* Chemical properties and sensory quality of ice cream fortified with fish protein. *Journal Of The Science Of Food And Agriculture*, [s.l.], v. 91, n. 7, p.1199-1204, 18 fev. 2011. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.4299>.

Tingman, Wang; Jian, Zhang; Xiaoshuan, Zhang. Fish product quality evaluation based on temperature monitoring in cold chain. *African Journal Of Biotechnology*. Beijing, p. 6146-6151. 13 set. 2010.

Tsevdou, Maria *et al.* Modelling the effect of storage temperature on the viscoelastic properties and quality of ice cream. *Journal Of Food Engineering*, [s.l.], v. 148, p.35-42, mar. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.07.002>.

Xu, Zhigang *et al.* Modeling Relationship between Truck Fuel Consumption and Driving Behavior Using Data from Internet of Vehicles. *Computer-aided Civil And Infrastructure Engineering*, [s.l.], v. 33, n. 3, p.209-219, 19 jan. 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/mice.12344>.

Yuksel, Arzu Kavaz. The Effects of Blackthorn (*Prunus Spinosa L.*) Addition on Certain Quality Characteristics of Ice Cream. *Journal Of Food Quality*, [s.l.], v. 38, n. 6, p.413-421, 9 out. 2015. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jfq.12170>.

Zhai, H., Frey, H., Roupail, C. & Nagui, M. (2008), A Vehicle-Specific Power approach to speed and facility-specific emissions estimates for diesel transit buses, *Environmental Science and Technology*, 42(21), 7985– 91.