

WANESSA APARECIDA DOS SANTOS SOARES

**SEIS SIGMA COMO ESTRATÉGIA PARA REDUÇÃO DE RETRABALHO
NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS: ESTUDO DE CASO BATATAS PRÉ-
FRITAS CONGELADAS**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Ciência e Tecnologia de Alimentos,
para obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

S676s
2017
Soares, Wanessa Aparecida dos Santos, 1989-
Seis Sigma como estratégia para redução de retrabalho na
indústria de alimentos : estudo de caso batatas pré-fritas
congeladas / Wanessa Aparecida dos Santos Soares. – Viçosa,
MG, 2017.
xi, 44f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexo.

Orientador: Ronaldo Perez.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.33-35.

1. Alimentos - Indústria. 2. Trabalho. 3. Estatística.

I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Tecnologia
de Alimentos. Programa de Pós-graduação em Ciência e
Tecnologia de Alimentos. II. Título.

CDD 22 ed. 664.07

WANESSA APARECIDA DOS SANTOS SOARES

**SEIS SIGMA COMO ESTRATÉGIA PARA REDUÇÃO DE RETRABALHO
NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS: ESTUDO DE CASO BATATAS PRÉ-
FRITAS CONGELADAS**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Ciência e Tecnologia de Alimentos,
para obtenção do título de *Magister
Scientiae*.


APROVADA: 12 de abril de 2017



José Ivo Ribeiro Júnior
(Coorientador)



Mateus de Carvalho Reis Neves



Ronaldo Perez
(Orientador)

Aos meus pais, Fernando e Maria,
Ao meu noivo, Matheus,
Aos meus irmãos, Fernanda e Vanderson,
Dedico!

“ A educação é a arma mais poderosa
que você pode usar para mudar o mundo. ”

Nelson Mandela

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar sabedoria, saúde, fé e me permitir realizar meus sonhos com honestidade e determinação.

Aos meus pais Fernando Antônio Soares e Maria Tomaz dos Santos Soares, pela educação que me deram e por me ensinarem a ter integridade, respeito e compreensão com as pessoas e situações da vida. Por terem acreditado em mim e me auxiliado em tudo que podiam para que eu me tornasse uma pessoa melhor. Amo muito vocês.

Ao meu noivo, Matheus Lopes Amorim, por ter me auxiliado no meu projeto de mestrado, pelos conselhos e por não ter desistido de me amar até nos momentos em que eu estava estressada. Obrigada por estar sempre comigo. Amo você, meu amor.

Aos meus irmãos, Fernanda de Fátima dos Santos Soares e Vanderson Rodrigo Soares, pelo apoio, amizade e admiração.

Ao meu orientador, Ronaldo Perez, por todos ensinamentos desde os tempos da graduação. Por ter me preparado profissionalmente, me ensinado a ser diferente da maioria e ter visão. Pelos puxões de orelha que me fizeram fixar ainda mais os aprendizados. Por ter acreditado em mim e ter me dado todo o apoio que precisei durante estes últimos anos. Suas orientações foram, sem dúvidas, essenciais. Muito obrigada, Ronaldo.

Ao coorientador, José Ivo Ribeiro Júnior, por todas orientações e ensinamentos, principalmente na estatística do projeto. Por ter me orientado tão bem, sempre com muita educação e sabedoria. Suas críticas e ensinamentos foram fundamentais. Muito obrigada, José Ivo.

Ao José Benício Chaves, pelas sugestões no projeto e por ter sido um professor tão presente em minha vida.

Ao meu amigo, Vinícius Rodrigues Arruda, pelo companheirismo, por todas horas de estudo, pelos trabalhos e artigos que fizemos, pelas disciplinas que vencemos juntos, por toda ajuda na estatística deste projeto, pela amizade que foi e é muito importante para mim.

A empresa por ter disponibilizado os dados e informações. Aos colaboradores e amigos da empresa, Jonathan, Elvys, Isabela, Laís que auxiliaram muito para a execução desse projeto e aos demais pelo ótimo trabalho realizado diariamente.

A Capes por ter me dado essa oportunidade enriquecedora e por acreditar que a educação é sempre o melhor caminho.

Obrigada a todos que vibram com minhas conquistas.

BIOGRAFIA

WANESSA APARECIDA DOS SANTOS SOARES, filha de Fernando Antônio Soares e Maria Tomaz dos Santos Soares, nasceu em Ubá, Minas Gerais, em 17 de outubro de 1989.

Em março de 2009, iniciou sua graduação em Engenharia de Alimentos, na Universidade Federal de Viçosa, concluída em julho de 2014. Durante sua graduação estudou por um ano na *Agrocampus Ouest*, Rennes, França, pelo programa Brafragri.

Em fevereiro de 2015, ingressou no Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, na UFV, submetendo-se à defesa de sua dissertação em abril de 2017.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo Geral	3
2.2. Objetivos Específicos	3
3. REFERENCIAL TEÓRICO	4
3.1. Qualidade de Processos	4
3.1.1. Método Seis Sigma	4
3.2. Processamento de batata pré-frita congelada	5
3.2.1. Processamento Geral	5
3.2.2. Processamento Específico	8
4. METODOLOGIA DE PESQUISA	8
4.1. Caracterização da rotina da empresa	8
4.2. Fonte de Dados	9
4.2.1. Informações Gerais	9
4.2.2. Características do Produto Final	10
4.2.3. Valores de Processos	11
4.2.4. Tamanho da Amostra	11
4.3. DMAIC	12
4.3.1. Definir	12
4.3.2. Medir	12
4.3.3. Analisar	13
4.3.4. Melhorar	15
4.3.5. Controlar	15
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
5.1. Definir e Medir	16
5.2. Analisar	20
5.2.1. Análise exploratória dos dados	20
5.2.2. Análise de regressão	27
5.2.3. Redução de Custos e Aumento da Capacidade Produtiva	27
5.3. Melhorar	29
5.3.1. Recomendações	29
5.4. Controlar	30
6. CONCLUSÃO	32
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
ANEXO	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Layout processamento de batatas pré-fritas congeladas	7
Figura 2: Esquema de um túnel de congelamento visto por fora	8
Figura 3: Gráfico de Pareto para as características de batatas pré-fritas congeladas fora dos limites de especificação (Total de 2880 lotes, 31680 observações)	16
Figura 4: Importância de controlar a temperatura, 5W-1H	18
Figura 5: Diagrama de Ishikawa	19
Figura 6: Faixas estudadas das variáveis a) teor de sólidos (%), b) temperatura do branqueador 1 (°C), c) tempo do branqueador 1 (min), d) temperatura do branqueador 2 (°C), e) tempo no branqueador 2 (min) e f) temperatura do secador na seção 1 (°C)	21
Figura 7: Faixas estudadas das variáveis g) temperatura do secador seção 2 (°C), h) tempo do secador seções 1 e 2 (min), i) temperatura do secador seção 3 (°C), j) temperatura do secador seção 4 (°C), k) tempo do secador nas seções 3 e 4 (min) e l) tempo do fritador (min)	22
Figura 8: Faixas estudadas das variáveis m) temperatura do fritador n) temperatura do túnel de congelamento seção 2, o) tempo nas seções 1 e 2, p) temperatura túnel de congelamento seção 3, q) tempo do túnel de congelamento na seção 3 e r) temperatura do túnel de congelamento seção 1 (°C)	23
Figura 9: Dispersão dos tempos nas seções do secador	28
Figura 10: Gráfico de controle do tempo do fritador referente a 48 horas de produção	31
Figura 11: Gráfico de controle da temperatura do branqueador referente a 48 horas de produção	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Limites inferior e superior de especificação das características mensuráveis na empresa de batatas pré-fritas congeladas.....	13
Tabela 2: Análise exploratória dos dados analisados.	24
Tabela 3: Coeficientes de variação das observações de cada variável para cada tipo de corte.....	25
Tabela 4: Coeficientes de variação das observações de cada variável para cada variedade.....	26

RESUMO

SOARES, Wanessa Aparecida dos Santos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2017. **Seis sigma como estratégia para redução de retrabalho na indústria de alimentos: estudo de caso batatas pré-fritas congeladas.** Orientador: Ronaldo Perez. Coorientador: José Ivo Ribeiro Júnior.

A variabilidade de processos é algo, de certa forma, comum em agroindústrias fruto da alta variabilidade e complexidade das matérias primas utilizadas. Esta situação em alguns casos apresenta, de forma não computada, alto retrabalho no processamento. Na agroindústria deste estudo, o retrabalho eleva os custos e para tentar reduzi-lo foi aplicada a metodologia Seis Sigma, a qual visou identificar as variáveis mais impactantes com objetivo de estabelecer valores alvo de processos e controlar a variabilidade. Foram avaliadas 31 variáveis provenientes de 120 dias de produção (2880 lotes totalizando 51860 observações). Por meio do gráfico de Pareto, identificou-se a temperatura do produto final como a principal variável responsável pelo retrabalho e suas possíveis causas foram determinadas pelo gráfico de Ishikawa (variedade de batata, teor de sólidos, tipo de corte, valores de processos dos branqueadores, do secador, do fritador e do túnel de congelamento). Análises de regressão para todos os lotes, e categorizando por tipo de corte e variedade, foram realizadas a fim de encontrar alguma relação das variáveis de processo com a temperatura do produto, com interessante poder explicativo. Como resultado, a influência das variáveis estudadas sobre a temperatura do produto final, quando houve, foi muito baixa. Assim, as causas responsáveis pela variação da temperatura no produto final que acarreta em retrabalho são no momento desconhecidas e provavelmente podem estar vinculadas a matéria prima. Isso, vai exigir uma investigação mais aprofundada sobre variáveis da matéria prima que podem estar gerando este comportamento, o qual necessita de mais estudos e investimento por parte da empresa. Como resultado vinculado, e contribuição deste estudo, analisou-se os tempos nas seções do secador e observou-se que além desses tempos não influenciarem na temperatura do produto final, estes apresentaram alta correlação entre si. Tal resultado permitiu recomendar menores tempos de operação do secador, o que pôde gerar um aumento de 20% na produção total da empresa. Esse aumento irá amenizar o custo do retrabalho, ainda sem solução.

ABSTRACT

SOARES, Wanessa Aparecida dos Santos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, April, 2017. **Six sigma as strategy for reducing rework in the food industry: case study of frozen pre-fried potatoes.** Adviser: Ronaldo Perez. Co-adviser: José Ivo Ribeiro Júnior.

Processes variability is somewhat common in agribusinesses due to the high variability and complexity of the raw materials used. This situation, in some cases, represents high processing additional work. In the agroindustry of this study, the additional work raises the costs and to try to reduce it was applied the methodology Six Sigma, which aimed to identify the most impacting variables with the objective of establishing target values of processes and controlling the variability. We evaluated 31 variables from 120 days of production (2880 lots totaling 51860 observations). By means of the Pareto graph, the temperature of the final product was identified as the main variable responsible for additional work and its possible causes were determined by Ishikawa's graph (potato variety, solids content, cut type, bleach process values, dryer, fryer and freezing tunnel). Regression analyzes for all batches, and categorizing by type of cut and variety, were performed in order to find some relation of the process variables with the temperature of the product, with interesting explanatory power. As a result, the influence of the studied variables on the temperature of the final product, when there was, was very low. Thus, the causes responsible for the temperature variation in the final product that leads to additional work are, at this moment, unknown and probably can be linked to the raw material. This will require a more in-depth investigation of raw material variables that may be generating this behavior, which requires more studies and investment by the company. As a linked result, and contribution of this study, it was analyzed the time in the sections of the dryer and it was observed that besides the time did not influence the temperature of the final product, it had a high correlation with each other. This result allowed to recommend shorter operating times of the dryer, which could generate a 20% increase in the total production of the company. This increase will soften the additional work cost, still unresolved.

1. INTRODUÇÃO

A qualidade de produtos alimentícios é um fator alvo para as indústrias, pois, além de ser um indicativo da aceitação dos consumidores e estar diretamente associada à segurança destes, é um fator de competitividade. Algumas indústrias possuem sistemas de monitoramento dentro de suas unidades fabris, mas nem sempre apresentam um controle eficiente ao longo do processo produtivo. Assim, o uso de metodologias de qualidade com o objetivo de auxiliar no controle passou a ser uma medida essencial para aumentar a produtividade das empresas, priorizando a qualidade do produto final e, ao mesmo tempo, maximizando os recursos disponíveis, sendo esta uma questão de sobrevivência para elas (ROLDAN, 2013; CAMARGO; PACHECO, 2013).

Segundo Juran e Godfrey (1999), as empresas devem atuar de modo a fidelizar clientes, reduzir custos ocorridos com retrabalho e absorver custos de devoluções, reclamações, publicidades desfavoráveis e ações judiciais. Em busca de vantagem competitiva, a adoção de uma Gestão da Qualidade nos processos foi defendida pelos estudiosos Joseph Moses Juran, William Edwards Deming, Philip Crosby e Kaoru Ishikawa, com foco na melhoria contínua e desempenho organizacional (NADARAJAH; KADIR, 2014). Dessa maneira, nas últimas décadas, tem sido uma tendência as empresas implantarem sistemas de gestão da qualidade como Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC), International Organisation for Standardisation (ISO), British Retail Consortium (BRP), European Retail Good Agricultural Practices (EUREP-GAP), Safe Quality Food e o Seis Sigma (TRIENEKENS; ZUURBIER, 2008; HUBBARD, 2003).

O programa Seis Sigma, entre os indicados para as empresas, consiste na aplicação de técnicas de qualidade, cujo objetivo é minimizar o número de erros e a variabilidade de processos. Segundo Harry e Schroeder (2000), Seis Sigma é uma estratégia que confia na sua capacidade de cumprir seus objetivos. De modo geral, o Seis Sigma é um método sistemático baseado em técnicas estatísticas, empregadas de acordo com o DMAIC (*Define-Measure-Analyze-Improve-Control*). Empresas como Motorola, AlliedSignal, 3M e General Eletric (GE) adotaram o Seis Sigma e otimizaram seus sistemas produtivos e econômicos, obtendo, no máximo, apenas 3,4 unidades defeituosas ou não conformes a cada um milhão produzidas, o que proporcionou redução dos custos e melhorias da qualidade de seus produtos (PYZDEK, 2003; SOKOVIC; PAVLETIC; FAKIN, 2005).

A adoção do Seis Sigma é uma proposta promissora, pois visa obter melhorias no produto, reduzir os níveis de variação da qualidade, melhorar o entendimento das necessidades do cliente, a produtividade empresarial, o desempenho financeiro e, conseqüentemente, aumentar a competitividade e lucratividade da empresa (DEMING, 2003; JURAN; GRZYNA, 1992; JURAN; GODFREY, 1999; TIAHJONO et al. 2010).

Além de grandes empresas, outros empreendimentos também têm tentado adotar o Seis Sigma no processo de produção, inclusive no ramo alimentício. Barrioni et al. (2015) elaborou um trabalho intitulado “Utilização do método DMAIC para melhoria de desempenho em indústria de panificação e confeitaria”, no qual, por meio de realização de um estudo de caso, utilizou as etapas D (*define*) e M (*measure*) do método DMAIC, para conhecimento e entendimento do processo de produção no ramo de panificação e confeitaria. Outro estudo realizado por Mazzuchetti, Opazo e Gimenes (2010) intitulado “Aplicação do programa Seis Sigma em uma indústria de abate de frangos” mostra a utilização do programa Seis Sigma em um abatedouro de frangos com o objetivo de demonstrar as melhores práticas para a definição e condução de um projeto centrado na melhoria da qualidade dos processos.

O retrabalho observado em indústrias de diferentes setores gera custos que não deveriam existir ou precisariam ser minimizados. Indústrias de batatas pré-fritas congeladas convivem com retrabalhos em seus processos produtivos devido a características que afetam a qualidade intrínseca do produto apresentarem alta variabilidade e ultrapassarem os limites de especificação estabelecidos. Em face disso, a adoção da metodologia Seis Sigma foi utilizada estrategicamente para auxiliar na redução do retrabalho observado na empresa em estudo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Este estudo teve como objetivo reduzir o retrabalho observado em uma empresa de processamento de batatas pré-fritas congeladas por meio da implantação da metodologia Seis Sigma.

2.2. Objetivos Específicos

Outros objetivos deste estudo foram:

- Quantificar as frequências de não atendimento às especificações das características do produto final;
- Identificar a(s) característica(s) do produto final que necessitava(m) de maior controle;
- Identificar a principal característica do produto responsável pelo alto retrabalho e suas possíveis variáveis de causa;
- Identificar e implantar melhoria em etapa(s) do(s) processos(s) com potencial de redução de custos.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Qualidade de Processos

As raízes da qualidade de processos podem ser traçadas a partir, primeiramente, do desenvolvimento do conceito da curva de distribuição normal, desenvolvida no século XVIII por Carl Frederick Gauss. Essa curva possibilitou ver a distribuição dos processos industriais e, conseqüentemente, como se desviavam da média central desejada. Posteriormente, na década de 1920, Walter Andrew Shewhart mostrou que a partir de um desvio de 3 sigma, um processo já deve ser corrigido. Com o passar dos anos, diferentes padrões de medição de desvio surgiram, como Cpk e Zero Defects (CRATHORNE; SHEWHART, 1933; SIX SIGMA ONLINE, 2016; BHOTE, 2002).

Na década de 1940, o doutor Kaoru Ishikawa demonstrou o diagrama de causa e efeito, ou também conhecido como diagrama da espinha de peixe. Nesse diagrama simples é possível mostrar de forma gráfica a relação entre as entradas e saídas de um processo, facilitando assim a identificação de causas e efeitos. Desta forma, esse diagrama facilitou a localização das etapas que podem estar levando à ocorrência da perda de qualidade do produto (SILVERSTEIN; SAMUEL; DECARLO, 2009).

Ao fim da década de 1940, Joseph Moses Juran expande o uso do diagrama de Pareto para a esfera organizacional. Por esse diagrama, 80% dos resultados obtidos são devido a apenas 20% dos fatores, ou em termos da melhoria da qualidade, 80% dos defeitos são causados por 20% dos processos. Dessa maneira é possível focar nos principais processos e resolver a maioria dos problemas, economizando tempo e dinheiro (JURAN; GODFREY, 1999).

3.1.1. Método Seis Sigma

Na década de 1970, uma firma japonesa assumiu uma fábrica de televisores da Motorola nos Estados Unidos e rapidamente implantou um novo modelo de gerenciamento. Sob este conceito, a fábrica de televisores reduziu em 95% a quantidade de produtos defeituosos, quando comparada à quantidade produzida sob a antiga gerência, mostrando claramente que o problema estava no modo de gerenciar, fato que despertou o interesse da busca pela qualidade nos executivos da Motorola. Assim, em meados dos anos 1980, Bob Galvin, CEO da Motorola, iniciou um processo para colocar a empresa no caminho da qualidade, o que culminou no desenvolvimento do 6 σ (Seis Sigma) (PYZDEK, 2003).

O Seis Sigma é um conjunto de princípios e técnicas de qualidade que incorpora elementos do trabalho de vários pesquisadores, objetivando zerar, virtualmente, o número de erros em processos (3,4 partes por milhão). Segundo Linderman et al. (2006), Seis Sigma é um método organizado e sistemático para o aperfeiçoamento de processos e o desenvolvimento de novos produtos e serviços, baseados em estatísticas e técnicas científicas com o propósito de reduzir defeitos definidos por clientes. Inicialmente, o foco do Seis Sigma era a manufatura e os processos industriais. Hoje, a abordagem mudou e visa sua aplicação também em outras áreas como alimentação, serviço e saúde (PACHECO, 2014).

A estrutura do modelo Seis Sigma é baseada no DMAIC, *Define-Measure-Analyze-Improve-Control*, que pode ser descrita como: definir os objetivos do aprimoramento (*Define*), medir o sistema atual (*Measure*), analisar o sistema para identificar maneiras de eliminar a lacuna entre o sistema atual e o desejado (*Analyze*), melhorar o sistema (*Improve*) e controlar o novo sistema (*Control*) (PYZDEK, 2003; SOKOVIC; PAVLETIC; FAKIN, 2005).

Atualmente, o Seis Sigma é adotado por diversas empresas multinacionais, como a própria Motorola, a AlliedSignal, 3M e GE. Somente na GE, é estimado que a transferência do processo normal de 3 ou 4 sigma para o de 6 sigma reduziu entre 8 e 12 bilhões de dólares em custos, o que mostra o quanto um sistema eficiente economiza para uma grande empresa (PYZDEK, 2003). Em 2007, a metodologia estava sendo utilizada por 53 das 500 maiores empresas da Fortune e 82% das 100 maiores empresas, com um ganho estimado de 427 bilhões de dólares em vinte anos (MARX, 2007; JESUS, 2015).

3.2. Processamento de batata pré-frita congelada

Batata pré-frita congelada é batata sem pele cortada em palitos, pré-cozida por processo de branqueamento, pré-frita em gordura vegetal. Congelada e conservada a baixas temperaturas.

A tecnologia utilizada no processamento de batatas pré-fritas congeladas é mundialmente semelhante, ou seja, os processos brasileiros, europeus, americanos e outros, seguem basicamente as mesmas etapas.

3.2.1. Processamento Geral

O fluxograma esquemático do processamento para produção de batata pré-frita congelada pode ser visto na Figura 1. Primeiramente, as batatas são

descarregadas e seguem para a área de recebimento onde são analisadas e o teor de sólidos é quantificado (a batata é constituída por cerca de 20% de sólidos, 80% destes são amido). Em seguida, retira-se a casca, por um processo físico (vapor e abrasamento). A etapa de pré-aquecimento (opcional) é utilizada quando é preciso facilitar a etapa de corte em que a enzima Pectina Metil Esterase (PME) é ativada a 50 °C. Terminada esta etapa, as batatas são lavadas e selecionadas seguindo para a tubulação de transporte com ajuda de água. Na parte interna da fábrica, ainda na tubulação de transporte, as batatas passam por uma seção de lâminas estacionárias, onde são cortadas no formato desejado, passando a uma velocidade de cerca de 190 km/h. Feito isso, as fatias seguem para plataformas vibradoras, para remover a água de transporte e serem classificadas por tamanho. O seletor óptico seleciona os palitos por coloração e tamanho. Os palitos então, seguem rumo ao branqueamento (GLOBAL AGRISYSTEM, 2005; GOULD, 1999).

O branqueamento é uma parte muito importante, pois há a desnaturação de enzimas que poderiam causar a descoloração, perda de textura e formação de sabor desagradável. Esse processo também auxilia na redução da absorção de óleo, durante a fritura, e desenvolvimento da textura, pois o amido da superfície das fatias da batata é gelatinizado formando capilares, retirando o ar preso isolante e facilitando o transporte de água do interior para o exterior do tubérculo, conseqüentemente, fazendo com que os processos de secagem, fritura e congelamento ocorram corretamente. Além disso, no branqueamento, pode-se controlar o teor de açúcares redutores da batata (GLOBAL AGRISYSTEM, 2005). Segundo Gökmen (2015), estes açúcares são importantes na cor final do produto devido à ocorrência de reação de Maillard durante a fritura, o que pode, inclusive, gerar acrilamida, uma neurotoxina, genotoxina com provável ação cancerígena. Assim, como os açúcares redutores são solúveis em água durante o branqueamento, pode-se alterar a razão de reciclo de água no equipamento para aumentar ou diminuir o seu teor, garantindo o produto final com sua cor característica, livre de acrilamida (SINGH; KAUR, 2016). Após o branqueamento, os palitos seguem para um túnel de secagem, onde ar aquecido é forçado sobre elas (GOULD, 1999).

Em seguida, ocorre a pré-fritura. Nesse estágio, as batatas são parcialmente fritas através de uma esteira que as mergulha em óleo quente no interior do fritador. Elas seguem para plataformas vibradoras para remoção do óleo em excesso e resfriamento com ar, diminuindo sua temperatura (GLOBAL AGRISYSTEM, 2005; GOULD, 1999).

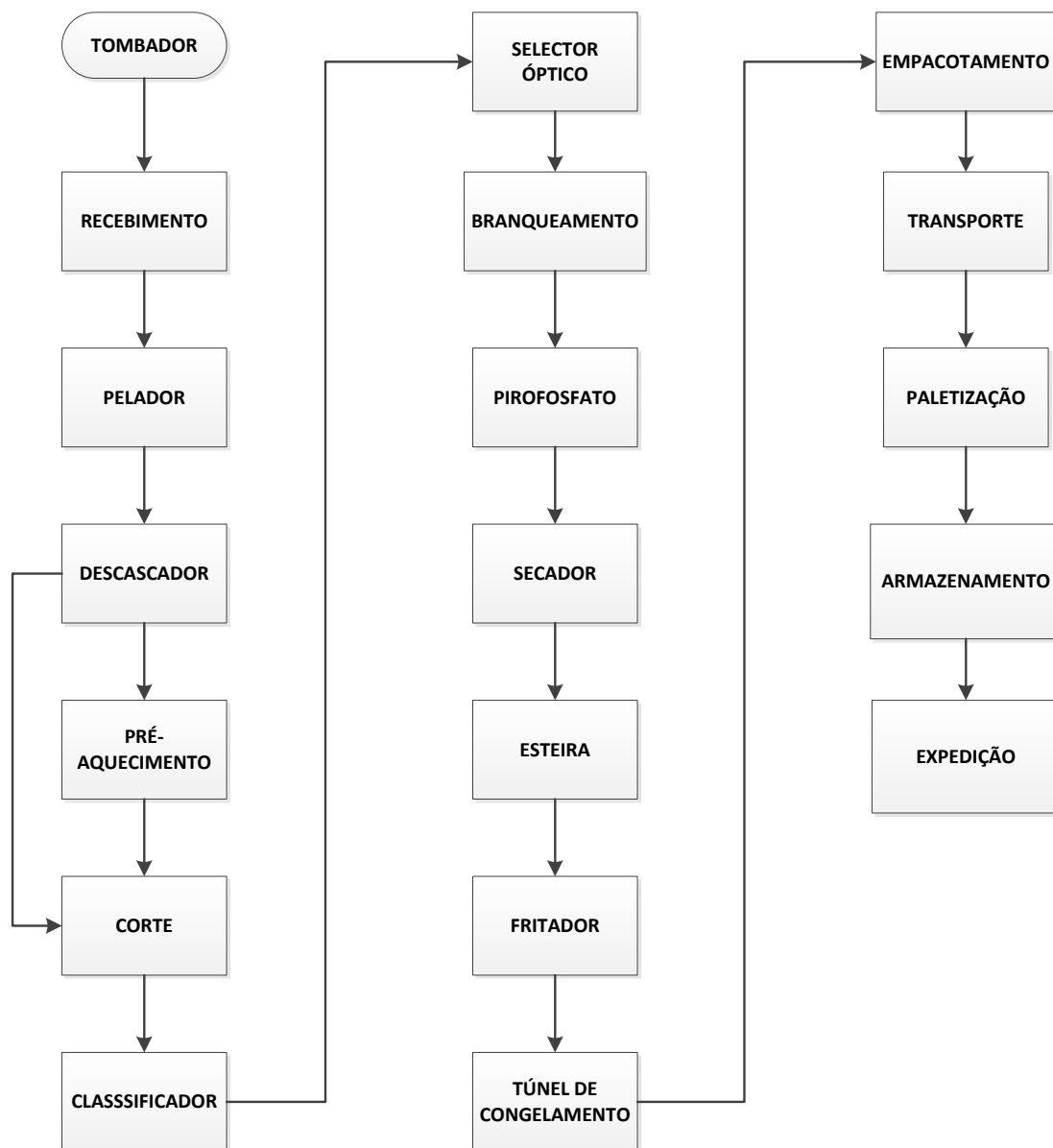


Figura 1: Layout processamento de batatas pré-fritas congeladas

Após o resfriamento, os palitos de batatas seguem para o túnel de congelamento (Figura 2). O produto deve ser resfriado até atingir temperatura entre -14 e -18 °C. Isso ocorre, pois abaixo de -14 °C, virtualmente, não há mais crescimento microbiano, além de reduzir, quase por completo, o metabolismo celular e as reações químicas no produto, aumentando assim sua vida de prateleira. Não é adequado resfriar o produto abaixo de -18 °C, pois o processo se torna excessivamente custoso quando comparado aos benefícios obtidos em relação à

conservação das batatas (HUI, 2006; GLOBAL AGRISYSTEM, 2005; GOULD 1999). Em seguida, são empacotadas, transportadas, paletizadas e direcionadas para o armazenamento final em câmaras frias para posterior distribuição.

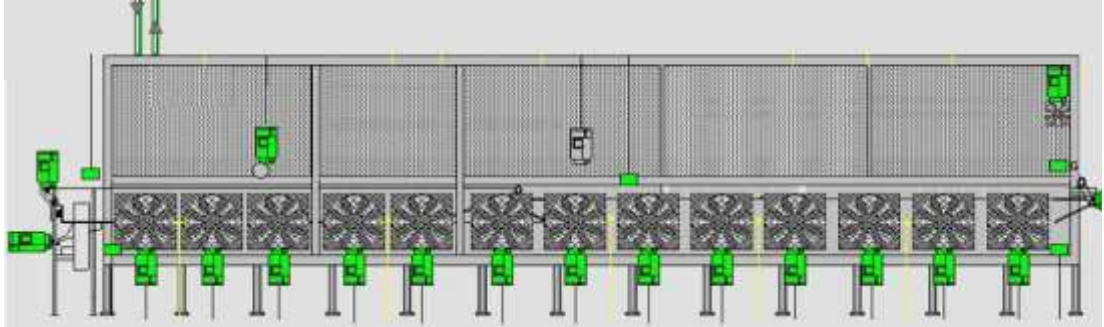


Figura 2: Esquema de um túnel de congelamento visto por fora

Fonte: Cedida pela empresa em estudo

3.2.2. Processamento Específico

O processamento descrito no item anterior é utilizado na empresa pesquisada. Os parâmetros de processos que são específicos devido as características da matéria prima que podem variar.

Caso o produto final esteja com temperatura adequada (máximo -14 °C), este é liberado imediatamente para comercialização. Praticamente tudo que a empresa produz é vendido rapidamente, logo não há custos de gerenciamento de estoque.

4. METODOLOGIA DE PESQUISA

4.1. Caracterização da rotina da empresa

Os colaboradores trabalham com base em “chutes” decorrentes do tempo de experiência na empresa. Não há especificações de processos determinadas, assim, eles modificam, em tempo real, os valores alvo de processos para as batatas segundo o que observam na linha e de acordo com as análises realizadas no laboratório de físico-química do produto final. A implantação do Seis Sigma, além de reduzir o retrabalho, poderia facilitar o dia a dia dos trabalhadores, reduzindo estresse, fadiga e aumentando a assertividade.

4.2. Fonte de Dados

4.2.1. Informações Gerais

O ciclo completo de tempo para que um tubérculo *in natura* se transforme em palitos pré-fritos congelados é, em média, 60 minutos, sendo este o intervalo de tempo para a coleta de dados, nas várias etapas do processamento.

Os dados analisados foram referentes a quatro meses de produção (120 dias, aproximadamente), sendo eles maio, junho, julho e agosto de 2016. Normalmente, as batatas colhidas em maio e junho apresentam teores de sólidos mais baixos, pois foram plantadas em períodos quentes e chuvosos (verão). Já as colhidas em julho e agosto possuem maiores teores de sólidos, pois foram plantadas no inverno. Assim, foi possível estudar uma ampla faixa de teores de sólidos que desconfiava-se ser essencial e suficiente para definir os valores de processos e assim reduzir o retrabalho.

Quando uma carga de batata entra na linha de produção, os colaboradores já tem conhecimento do teor de sólidos, de açúcar redutor, da variedade e do corte que será realizado. Assim, começam a regular os valores de processos dos equipamentos. A medida que as batatas vão passando pelas etapas, colaboradores vão analisando-as, antes de chegarem ao final do processamento. Por exemplo, ao término do pelador, verifica-se se restou casca nas batatas (avaliação de qualidade) e a dimensão do anel de cozimento (início da avaliação de rendimento). No final do secador, mede-se a temperatura e avalia-se se está conforme. Esse tipo de análise é verificado ao longo de toda etapa e, simultaneamente, alterações vão sendo realizadas nos valores de processos através de painéis de controle. Assim que os palitos começam a chegar na etapa de empacotamento, analistas de laboratório retiram amostras e analisam diversas características. Os resultados destas análises também são essenciais para tomadas de decisões nos valores de processos. Por exemplo, se as analistas observarem que a textura externa não está conforme as especificações, provavelmente, os colaboradores de produção farão alterações nos parâmetros do secador. Se a textura interna estiver não conforme, modificarão valores de branqueamento e assim ocorre para todas as características, logo é possível fazer com que o produto atenda as especificações de qualidade para todas características. A única característica que impossibilita fazer alterações instantâneas de modo a obter melhoras, é a temperatura. Quando a temperatura do produto se encontra acima de -14 °C, a produção daquela hora é destinada a *octobins* que são

armazenados em câmaras frias por cerca de 3 dias até atingirem a temperatura necessária para posterior reprocesso.

No período escolhido para coleta de dados, nove diferentes variedades foram analisadas, sendo elas Asterix, Markies, Cupido, Challenger, Russet Burbank, Innovator, Dayse, Ludmilla e Spunta.

A empresa realiza três tipos de corte, 8,5 milímetros por 8,5 milímetros, 10 milímetros por 10 milímetros e 9 milímetros por 18 milímetros, majoritariamente.

Em face disso, as nove variedades de batata e os três tipos de corte foram avaliados, ou seja, variedade de batata e tipo de corte foram duas variáveis consideradas em todo estudo. Elas foram utilizadas para definir grupos, ou seja, testou-se para cada variedade e para todas em conjunto, assim como para cada corte e para todos os tipos de corte.

4.2.2. Características do Produto Final

O laboratório de físico química da empresa realiza todos os registros de resultados das características do produto final em uma planilha dinâmica de Excel. As características do produto consideradas neste estudo foram temperatura, umidade, palitos quebrados, *slivers* (palitos com espessura inferior a 50% do corte realizado), palitos com casca, absorção de gordura, palitos verdes, textura interna, palitos oxidados, textura externa e cor da fritura. No total, 11 variáveis foram obtidas por meio da planilha.

A empresa também mensura defeitos no produto, entretanto não há registros que evidenciem quando certo lote foi ou não retido por estar fora dos limites especificados, pois decisões assim, muitas vezes dependem da necessidade comercial, logo levar tal característica em consideração não seria confiável.

As observações destas variáveis foram utilizadas para construir um gráfico de Pareto. Cada variável possui limites de especificação, assim avaliou-se a frequência que estas não atenderam seus limites. Desta forma, foi possível identificar quais características do produto final necessitavam de maior controle e se eram responsáveis pelo alto retrabalho com base no histórico vivenciado na empresa. Na rotina dos colaboradores, observava-se que várias vezes havia reprocesso pelo fato da temperatura estar alta (acima de -14 °C), mas nunca antes esta frequência havia sido quantificada.

4.2.3. Valores de Processos

Os valores de processos realizados ao longo da linha de produção foram exportados do sistema utilizado na empresa, o ERP Sênior versão 5.8.7.76.

As variáveis estudadas nesta fase foram variedade de batata, teor de sólidos, tipo de corte, temperatura do branqueador 1, tempo do branqueador 1, temperatura do branqueador 2, tempo do branqueador 2, temperatura do secador na seção 1, temperatura do secador na seção 2, tempo do secador nas seções 1 e 2, temperatura do secador na seção 3, temperatura do secador na seção 4, tempo do secador nas seções 3 e 4, temperatura do fritador, tempo do fritador, temperatura do túnel de congelamento na seção 1, temperatura do túnel de congelamento na seção 2, tempo do túnel de congelamento nas seções 1 e 2, temperatura do túnel de congelamento na seção 3 e tempo do túnel de congelamento na seção 3. Total de vinte variáveis.

Essas variáveis de processo foram relacionadas com a característica do produto cuja frequência de estar fora de seus limites de especificação era a maior. Tentou-se verificar por regressões se a característica poderia ser explicada pelas variáveis de processo, pois assim seria possível definir os valores de processos de forma que a característica estivesse dentro dos limites a cada lote produzido. Conseqüentemente, o retrabalho seria reduzido.

4.2.4. Tamanho da Amostra

A cada hora de produção, vinte e nove variáveis de controle tem seus valores registrados (variáveis dos processos e do produto). Neste estudo, consideraremos que um lote é formado a cada hora. A empresa funciona 24 horas por dia, logo 24 lotes são formados.

Em um primeiro momento, em que apenas as características do produto foram estudadas, ao longo dos 120 dias pesquisados, 2880 lotes foram formados (120 dias \times 24 horas de produção), totalizando 31680 observações (2880 lotes \times 11 variáveis).

Em um segundo momento, relacionou-se a principal característica do produto (cuja frequência de não atendimento às especificações era a maior) com as variáveis de processos. Era esperado encontrar 2880 lotes, totalizando 60480 observações (2880 lotes \times 20 variáveis de processo + 2880 \times 1 variável do produto). Entretanto, ao relacionar as variáveis, observou-se que vários lotes apresentaram variáveis sem valor, então optou-se por eliminá-los do estudo para não prejudicarem a confiabilidade dos resultados da pesquisa. Desta forma, 1009 lotes foram analisados

nesta etapa, logo 21189 observações (1009 lotes × 20 variáveis de processo + 1009 × 1 variável do produto).

4.3. DMAIC

O retrabalho na empresa pesquisada era observado, mas nunca antes quantificado. Inicialmente, a metodologia Seis Sigma foi utilizada com a finalidade de identificar características do produto com alta variabilidade e diminuí-la. Desta forma, garantiria a qualidade do produto final a longo prazo, atendendo as expectativas do cliente e da própria empresa, bem como redução de custos, minimização de tempos de tomadas de decisões e otimização do processo produtivo de batatas pré-fritas congeladas.

4.3.1. Definir

O sistema foi medido e analisado a fim de quantificar a distância entre os sistemas atual e o almejado. A empresa almejava um sistema que reduzisse a variabilidade atual. Após identificar as causas dos principais efeitos indesejados no produto final, estudos foram realizados com o intuito de entender, agir, melhorar tais efeitos e, por fim, controlar o sistema alcançado (PYZDEK, 2003; SOKOVIC; PAVLETIC; FAKIN, 2005). Nessa etapa de identificação, foram utilizados o gráfico de Pareto e o Diagrama de Ishikawa.

O gráfico de Pareto permitiu identificar as principais não-conformidades do produto (JURAN; GODFREY, 1999). Para isso fez-se um levantamento dos registros e resultados de análises realizados ao longo de quatro meses de produção. A partir do número de ocorrências das não atendimento às especificações, um gráfico de Pareto foi aplicado para ordenar por frequência as ocorrências, ou seja, identificar os principais efeitos (RIBEIRO JÚNIOR, 2013).

O diagrama de Ishikawa foi utilizado para identificar as possíveis causas responsáveis pela principal característica do produto não estar dentro dos limites especificados, ou seja, localizar as etapas que poderiam estar acarretando na sua alta variabilidade (SILVERSTEIN; SAMUEL; DECARLO, 2009). As causas foram definidas com a ajuda dos colaboradores de produção da empresa.

4.3.2. Medir

Inicialmente, foram identificadas e medidas todas as características de qualidade do produto final mensuráveis na empresa, sendo elas: temperatura, umidade, palitos quebrados, *slivers* (palito com menos de 50% da espessura

adequada ao corte realizado), palitos com casca, teor de gordura absorvido, palitos verdes, palitos oxidados, cor e texturas interna e externa. Algumas características como cor e texturas interna e externa são medidas de forma subjetiva através de comparações visuais com tabelas da USDA (*United States Department of Agriculture*) (USDA, 1988). Na Tabela 1 foram evidenciadas as características citadas com os seus respectivos limites inferior e superior de especificação.

Tabela 1: Limites inferior e superior de especificação das características mensuráveis na empresa de batatas pré-fritas congeladas

Características de Batatas Pré-Fritas Congeladas (11 variáveis)	LIE (Limite Inferior de Especificação)	LSE (Limite Superior de Especificação)
Temperatura (°C)	-	-14
Umidade (%)	63	72
Palitos quebrados (%)	-	5
Slivers (unidades/kg)	-	10
Palitos com casca (unidades/kg)	-	4
Absorção de gordura (%)	2	6
Palitos verdes (unidades/kg)	-	1
Palitos oxidados (unidades/kg)	-	5
Textura externa (tabela USDA)	-	“Conforme”
Cor (tabela USDA)	-	“1”
Textura interna (tabela USDA)	-	“D-E”

Fonte: Cedida pela empresa em estudo

4.3.3. Analisar

Por meio do uso de diferentes métodos, o processo foi analisado e as principais causas responsáveis pela característica do produto apresentar maior variabilidade indesejável foram identificadas. Com tal informação, foi possível desenvolver rotas para o aprimoramento do processo na etapa de melhoramento.

A análise de regressão é uma das análises mais utilizadas no meio estatístico. Consiste de uma análise para investigar e modelar a relação entre variáveis usando uma equação matemática. A análise de regressão é aplicada em diversos campos, como: engenharia, física, química, economia, administração, ciências biológicas e

sociais (MONTGOMERY; PECK; VINING, 2012). É uma técnica que consiste em modelar probabilisticamente o valor esperado de uma variável Y, a partir dos valores de duas ou mais preditoras (SALINAS; SILVA, 2007).

A regressão linear múltipla é similar à regressão linear simples (TAUCHER, 1997; POLIT; HUNGLER, 2000). Testou-se então a análise de regressão a fim de verificar se a variação na característica do produto final (cuja frequência de não atendimento às especificações foi a maior) poderia ser explicada pelas variáveis independentes analisadas (possíveis causas).

O maior modelo de regressão linear múltipla adotado foi definido por:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \beta_7 X_7 + \beta_8 X_8 + \beta_9 X_9 + \beta_{10} X_{10} + \beta_{11} X_{11} + \beta_{12} X_{12} + \beta_{13} X_{13} + \beta_{14} X_{14} + \beta_{15} X_{15} + \beta_{16} X_{16} + \beta_{17} X_{17} + \beta_{18} X_{18} + \varepsilon \quad (1)$$

Em que:

Y é a característica do produto com maior frequência de não atendimento aos limites de especificação (variável-resposta);

β_0 é o intercepto;

X_1 é o teor de sólidos; β_1 , coeficiente de X_1 ;

X_2 é a temperatura do branqueador 1; β_2 , coeficiente de X_2 ;

X_3 é o tempo do branqueador 1; β_3 , coeficiente de X_3 ;

X_4 é a temperatura do branqueador 2; β_4 , coeficiente de X_4 ;

X_5 é o tempo do branqueador 2; β_5 , coeficiente de X_5 ;

X_6 é a temperatura na seção 1 do secador; β_6 , coeficiente de X_6 ;

X_7 é a temperatura na seção 2 do secador; β_7 , coeficiente de X_7 ;

X_8 é o tempo nas seções 1 e 2 do secador; β_8 , coeficiente de X_8 ;

X_9 é a temperatura na seção 3 do secador; β_9 , coeficiente de X_9 ;

X_{10} é a temperatura na seção 4 do secador; β_{10} , coeficiente de X_{10} ;

X_{11} é o tempo nas seções 3 e 4 do secador; β_{11} , coeficiente de X_{11} ;

X_{12} é a temperatura do fritador; β_{12} , coeficiente de X_{12} ;

X_{13} é o tempo do fritador; β_{13} , coeficiente de X_{13} ;

X_{14} é a temperatura na seção 1 do túnel de congelamento; β_{14} , coeficiente de X_{14} ;

X_{15} é a temperatura na seção 2 do túnel de congelamento; β_{15} , coeficiente de X_{15} ;

X_{16} é o tempo nas seções 1 e 2 do túnel de congelamento; β_{16} , coeficiente de X_{16} ;

X_{17} é a temperatura na seção 3 do túnel de congelamento; β_{17} , coeficiente de X_{17} ;
 X_{18} é o tempo na seção 3 do túnel de congelamento; β_{18} , coeficiente de X_{18} .

Parte da variabilidade da resposta correspondente a um perfil dado dos preditores não explicada pelo conjunto dos distintos preditores é a parte aleatória do modelo de regressão múltipla, sendo ε -normal $(0, \sigma^2)$.

As variedades de batata foram estudadas em conjunto e em grupos, ou seja, testou-se a regressão com o modelo acima por variedade e para todas. O mesmo foi realizado com o tipo de corte. Logo, as variáveis variedade e tipo de corte foram utilizadas de forma categórica, na definição de grupos de análise.

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio dos programas *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) e Minitab® 17.1.0 (utilizados durante o período de avaliação). O nível de probabilidade (α) utilizado foi de cinco por cento.

Avaliou-se a correlação entre as variáveis e para isso, adotou-se o Coeficiente de Correlação Linear de Pearson, também conhecido como Coeficiente de Correlação do Produto- Momento que é um dos métodos mais utilizados para medir a correlação entre variáveis. Este foi o primeiro método de correlação, estudado por Francis Galton e seu aluno Karl Pearson, em 1870 (SCHULTZ; SCHULTZ, 1992).

4.3.4. Melhorar

A avaliação do projeto imposto foi realizada através da comparação do padrão atual com os resultados experimentais e, posteriormente, com os resultados alcançados. Os custos energéticos da empresa também foram comparados. Essa comparação ocorreu pelas métricas e também pela posição da gerência e alta direção. Para isso, reuniões foram realizadas.

Com as melhorias determinadas, os colaboradores diretamente envolvidos foram treinados para terem conhecimento e tentarem implantar os resultados experimentais no dia a dia da produção.

4.3.5. Controlar

Para manter as melhorias após a implantação dos Seis Sigma, sustentar os ganhos alcançados e consolidá-los, o processo foi monitorado ao longo do tempo por meio da aplicação e utilização de planilhas de controle.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Definir e Medir

De acordo com o gráfico de Pareto (Figura 3), as duas principais características do produto que apresentaram maior frequência de não atendimento às especificações, e que se deu prioridade para tentar solucionar, a princípio foram a temperatura e umidade do produto final.

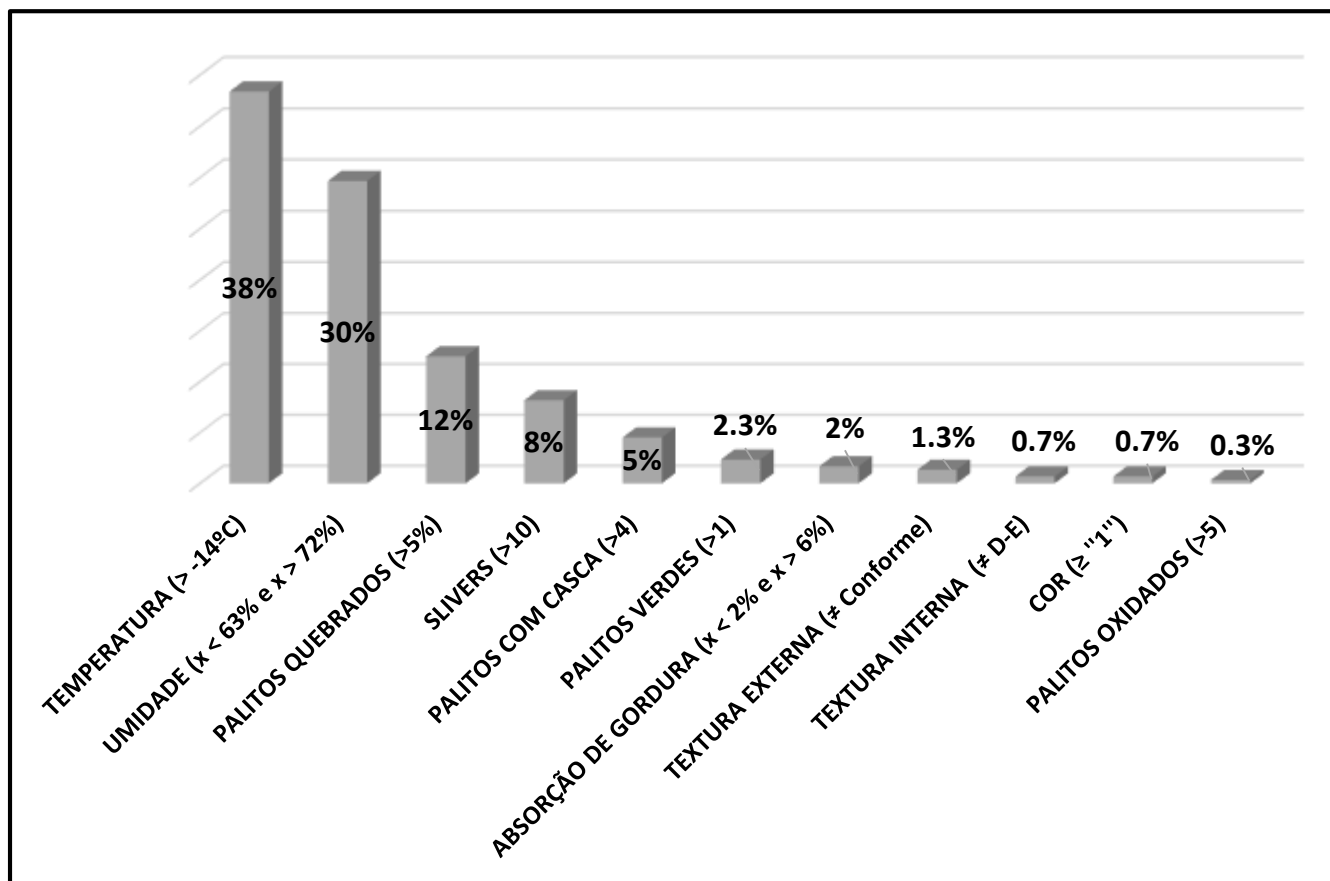


Figura 3: Gráfico de Pareto para as características de batatas pré-fritas congeladas fora dos limites de especificação (Total de 2880 lotes, 31680 observações)

É de extrema importância medir essas características de modo a garantir a qualidade do produto, satisfação do cliente e imagem da empresa.

É possível observar que 38% (1094 lotes) dos lotes produzidos ficaram fora de conformidade devido a temperatura ter ultrapassado seu limite de especificação superior, ou seja, foi maior que -14 °C. Outros 30% dos lotes foram devido aos valores de umidade que ficaram fora da faixa de 63% a 72%. Além disso, o número de palitos quebrados e de *slivers* (espessura do palito inferior a 50% do que deveria) representaram juntos 20% dos lotes que ficaram fora de conformidade. Dentre esses

quatro efeitos, o único que leva a retenção do produto final é a temperatura. Quando uma análise é realizada e verifica-se que o número de *slivers* superou o permitido, analistas registram o valor encontrado e entram em contato com colaboradores da produção para trocarem os parâmetros do classificador de tamanho imediatamente. O mesmo acontece quanto ao número de palitos quebrados, que quando estão fora do limite estabelecido, contata-se colaboradores e os mesmos modificam parâmetros referentes ao secador. Em face disso, entende-se a necessidade de atuar principalmente nas causas responsáveis pelos efeitos na temperatura do produto.

Na Figura 4, retratou-se a importância da temperatura do produto final ser controlada por meio da metodologia 5W-1H: qual, onde, por quê, como, quando e quem.

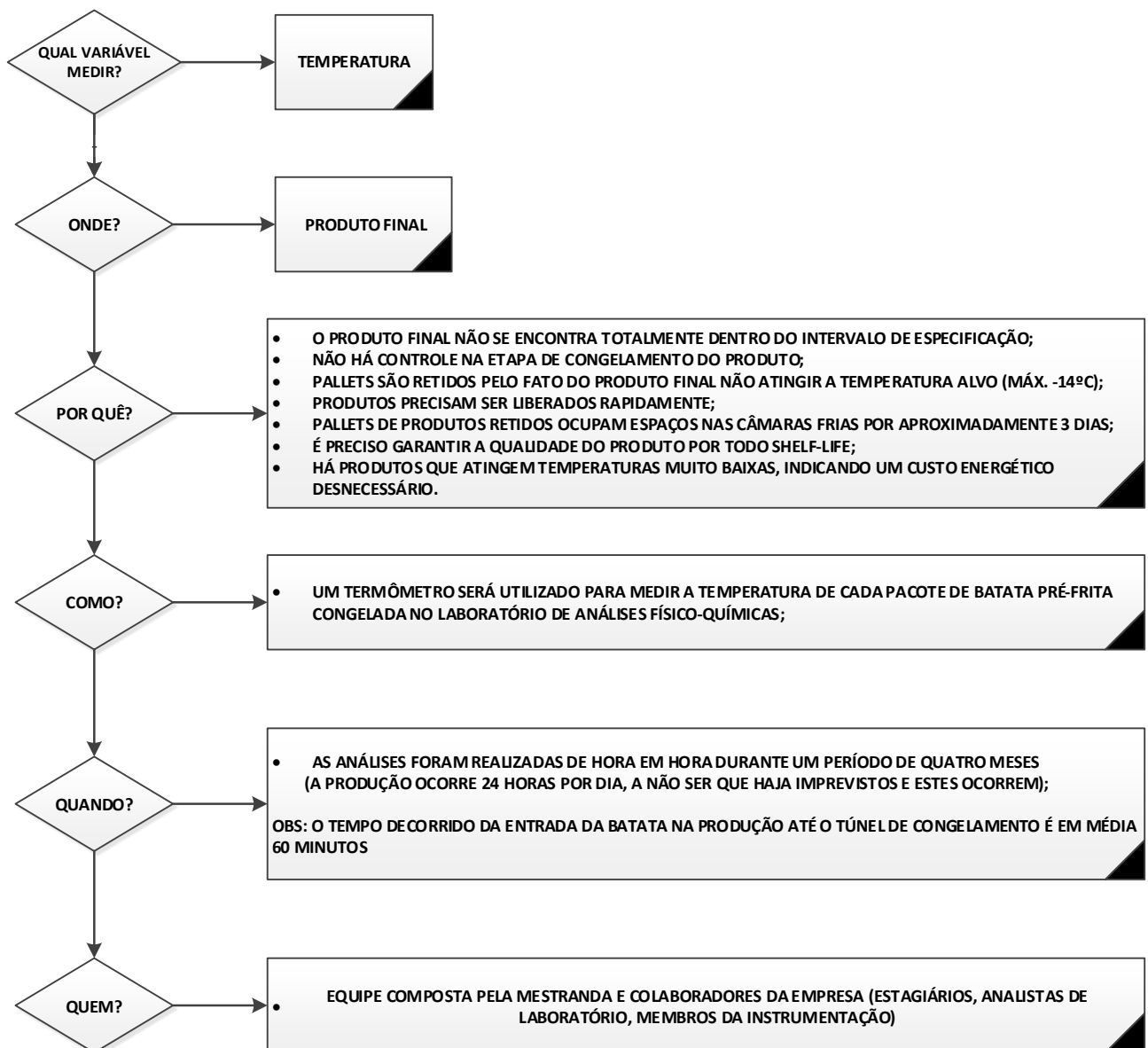


Figura 4: Importância de controlar a temperatura, 5W-1H

Pelo diagrama de Ishikawa (Figura 5) foram propostas as possíveis causas, após ter definido a temperatura do produto final como a característica que apresentava a maior variabilidade e que poderia interromper a liberação do produto, inclusive ocasionando retrabalho com conseqüente aumento de custo e tempo de processamento. Como não se conhecia a principal causa, inicialmente, decidiu-se testar praticamente todas que a empresa aferia e que tinha relação com os processos. Conversou-se com coordenadores e supervisores de produção, analistas e gerentes de qualidade para que nenhuma variável fosse esquecida ou utilizada sem necessidade.

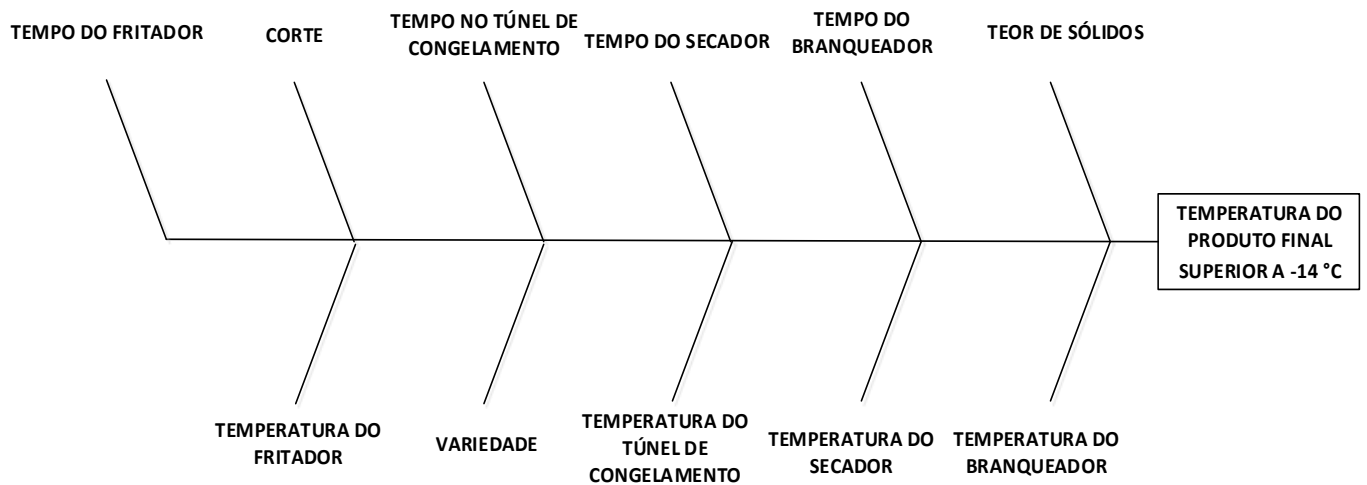


Figura 5: Diagrama de Ishikawa

Em que:

- Temperatura do branqueador se refere as variáveis temperatura do branqueador 1 e temperatura do branqueador 2;
- Tempo do branqueador se refere as variáveis tempo do branqueador 1 e tempo do branqueador 2;
- Temperatura do secador se refere a temperatura do secador na seção 1, temperatura do secador na seção 2, temperatura do secador na seção 3 e temperatura do secador na seção 4;
- Tempo do secador engloba as variáveis tempo do secador nas seções 1 e 2 e tempo do secador nas seções 3 e 4;
- Temperatura e tempo do fritador;
- Temperatura do túnel de congelamento se refere as variáveis temperatura do túnel de congelamento na seção 1, temperatura do túnel de congelamento na seção 2 e temperatura do túnel de congelamento na seção 3;
- Tempo do túnel de congelamento se refere as variáveis tempo do túnel de congelamento nas seções 1 e 2 e tempo do túnel de congelamento na seção 3;
- Corte se refere aos três tipos de cortes realizados pela empresa (8,5x8,5; 10x10; 9x18 milímetros);
- Variedade se refere as nove variedades (Asterix, Markies, Ludmilla, Innovator, Challenger, Cupido, Dayse, Spunta e Russet).

5.2. Analisar

5.2.1. Análise exploratória dos dados

É importante ressaltar que os dados mostrados abaixo são resultantes da combinação dos dados referentes ao produto final obtidos por meio de planilhas utilizadas pelo laboratório de físico-química (temperatura do produto final) com os dados de especificações de processos exportados do sistema utilizado na empresa, o ERP Sênior versão 5.8.7.76.

As Figuras 6, 7 e 8 evidenciam gráficos de *boxplot* das variáveis de processo estudadas.

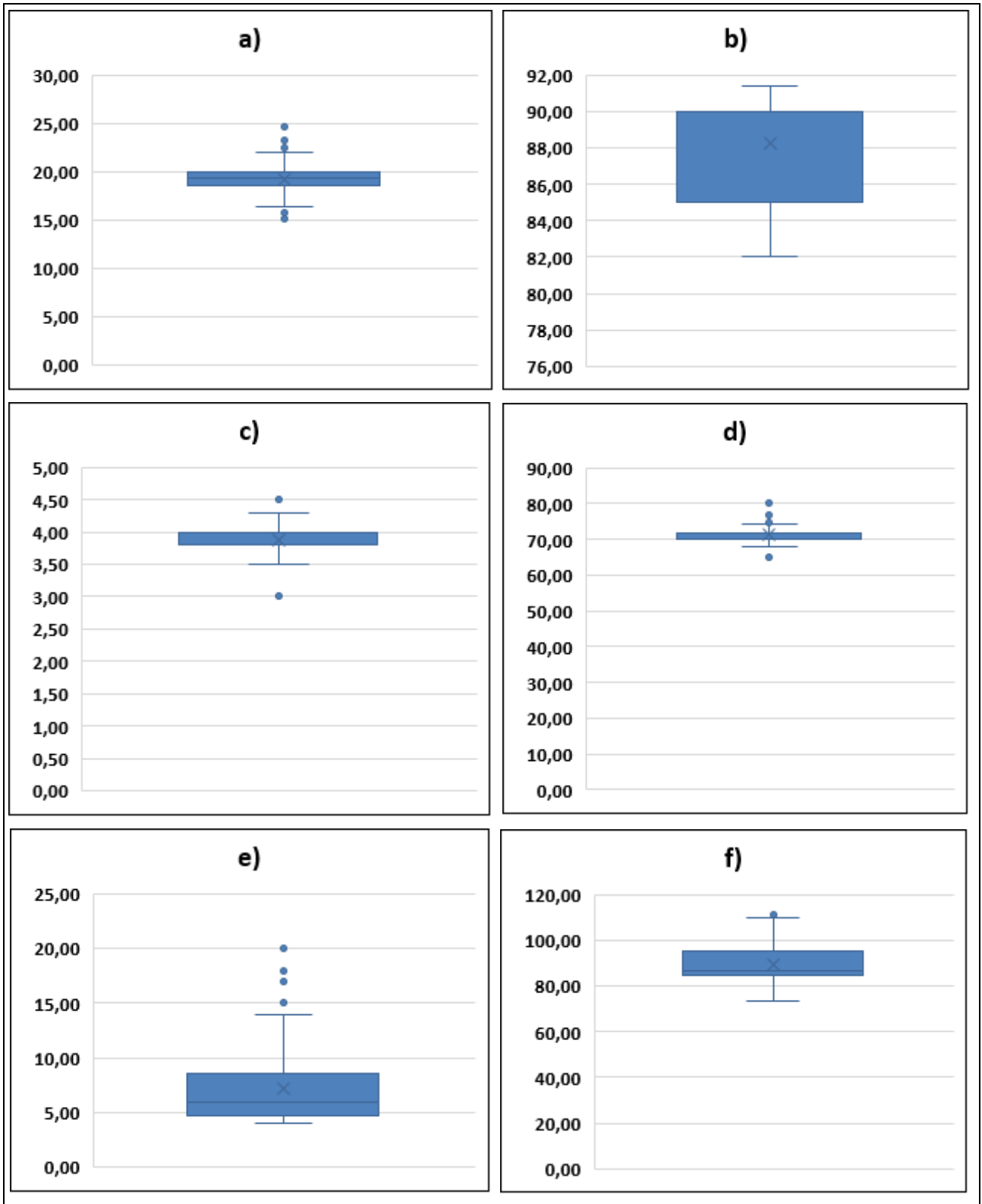


Figura 6: Faixas estudadas das variáveis a) teor de sólidos (%), b) temperatura do branqueador 1 (°C), c) tempo do branqueador 1 (min), d) temperatura do branqueador 2 (°C), e) tempo no branqueador 2 (min) e f) temperatura do secador na seção 1 (°C).

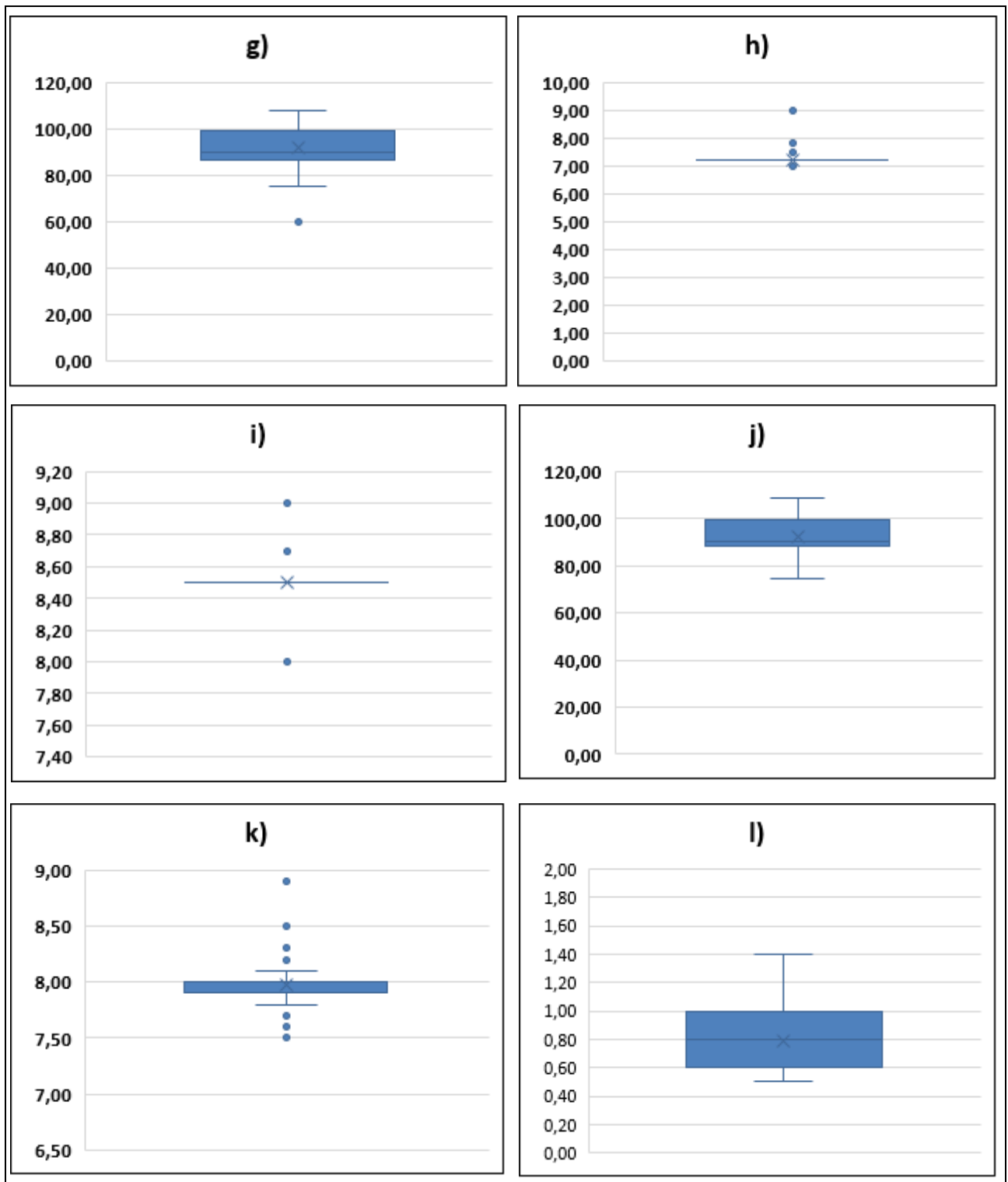


Figura 7: Faixas estudadas das variáveis g) temperatura do secador seção 2 (°C), h) tempo do secador seções 1 e 2 (min), i) temperatura do secador seção 3 (°C), j) temperatura do secador seção 4 (°C), k) tempo do secador nas seções 3 e 4 (min) e l) tempo do fritador (min).

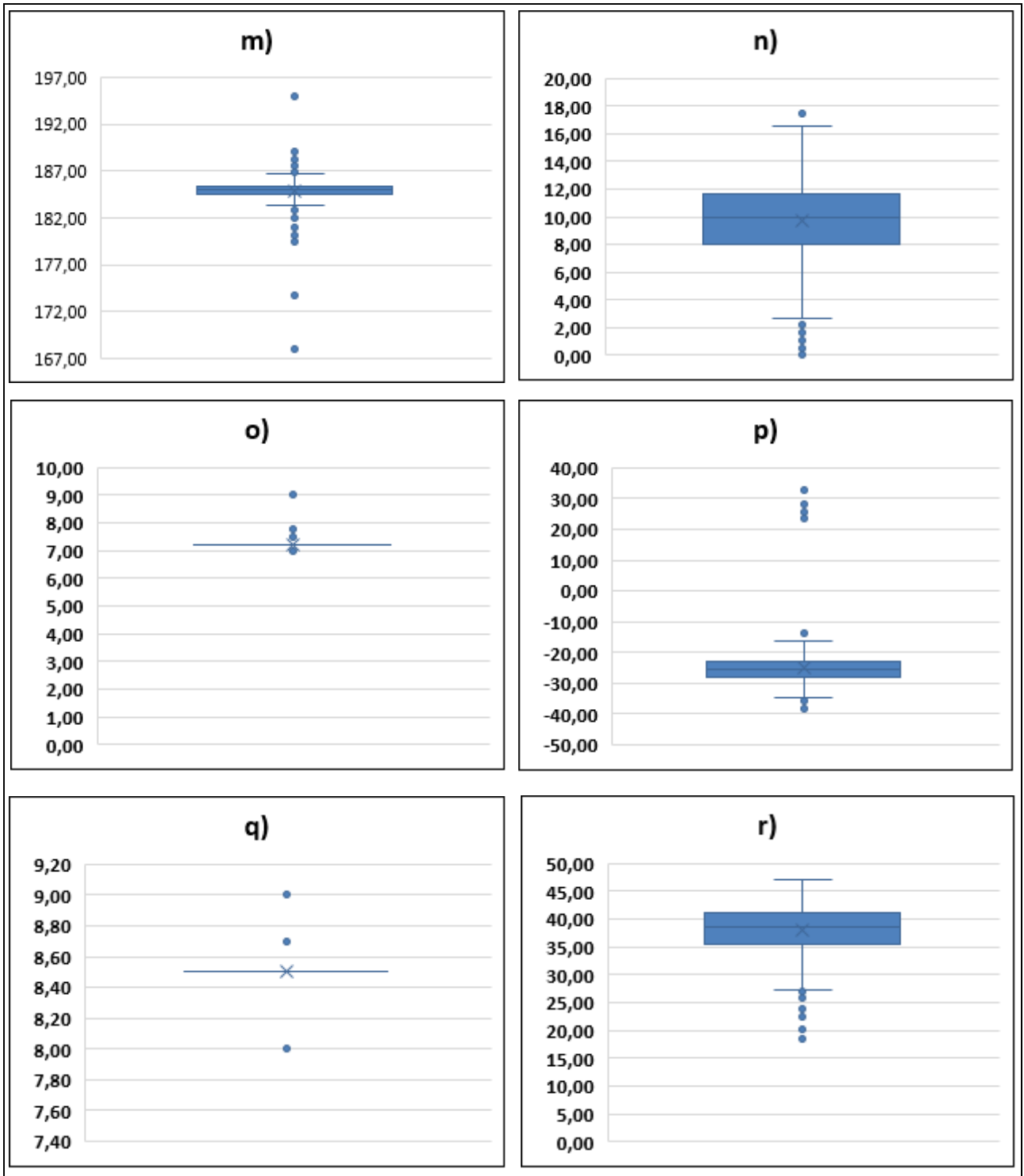


Figura 8: Faixas estudadas das variáveis m) temperatura do fritador n) temperatura do túnel de congelamento seção 2, o) tempo nas seções 1 e 2, p) temperatura túnel de congelamento seção 3, q) tempo do túnel de congelamento na seção 3 e r) temperatura do túnel de congelamento seção 1 (°C).

Por meio da Tabela 2, é possível obter informações de média, coeficiente de variação, valor mínimo e valor máximo das observações das variáveis de processo e da temperatura do produto. Todas observações foram consideradas, sem categorizar por corte e variedade.

Tabela 2: Análise exploratória dos dados analisados.

VARIÁVEL	Média	Coeficiente de Variação (%)	Valor Mínimo	Valor Máximo
Teor de sólidos (%)	19,20	6,99	15,18	24,60
Temperatura do branqueador 1 (°C)	88,22	2,53	82,00	91,40
Tempo do branqueador 1 (min)	3,87	6,47	3,00	4,50
Temperatura do branqueador 2 (°C)	71,22	2,22	64,90	80,00
Tempo do branqueador 2 (min)	7,14	40,41	4	20
Temperatura do secador na seção 1 (°C)	89,12	7,39	73,30	112,30
Temperatura do secador na seção 2 (°C)	92,02	7,04	60,10	107,80
Tempo do secador nas seções 1 e 2 (min)	2,94	6,07	2,40	3,5
Temperatura do secador na seção 3 (°C)	90,98	7,03	67,00	105,20
Temperatura do secador na seção 4 (°C)	92,34	7,14	74,60	108,70
Tempo do secador nas seções 3 e 4 (min)	7,98	1,91	7,50	8,90
Temperatura do fritador (°C)	184,92	0,63	168	195
Tempo do fritador (min)	0,79	22,83	0,50	1,40
Temperatura do túnel de congelamento na seção 1 (°C)	38,00	11,48	18,50	47,00
Temperatura do túnel de congelamento na seção 2 (°C)	9,67	29,26	0,00	17,50
Tempo do túnel de congelamento nas seções 1 e 2 (min)	7,24	2,39	7,00	9,00
Temperatura do túnel de congelamento na seção 3 (°C)	-25,01	25,37	-38,10	34,20
Tempo do túnel de congelamento na seção 3 (min)	8,50	0,50	8,00	9,00
Temperatura do Produto (°C)	-13,76	28,22	-25,00	-1,50

As variáveis temperatura do branqueador 1, temperatura do branqueador 2, tempo nas seções 3 e 4 do secador, temperatura do fritador e tempo nas seções 1 e 2 do túnel de congelamento apresentaram baixos coeficientes de variação, próximos de zero mostrando que a variabilidade em relação à média é muito baixa. Já as variáveis tempo do branqueador 2, tempo do fritador, temperatura na seção 2 do túnel de congelamento, temperatura na seção 3 do túnel de congelamento e temperatura do produto final apresentaram os maiores valores de coeficiente de variação, estando estas com variabilidade maior em relação à média. O tempo do

branqueador 2 apresentou o maior coeficiente de variação devido ao fato da matéria prima em algumas épocas do ano possuírem alto teor de açúcar redutor, assim ela precisa permanecer por um tempo maior no branqueador para que este teor diminua e a coloração do produto final esteja dentro do especificado. As demais variáveis apresentaram coeficientes de variação baixos que é interessante para a empresa.

A alta variabilidade das observações do tempo do branqueador 2 em relação à média possui uma explicação. Se acompanharmos a sequência dos processos, observa-se que a variabilidade começa a aumentar mais na etapa da fritura (tempo do fritador), pressupondo que algo nesta etapa começa a ficar fora de controle acarretando em alta variabilidade nas etapas seguintes. Em face disso, analisou-se as variáveis de maior variabilidade para cada tipo de corte e variedade, a fim de encontrar uma explicação.

Por meio da Tabela 3 é possível obter informações dos coeficientes de variação das observações de cada variável para cada tipo de corte.

Tabela 3: Coeficientes de variação das observações de cada variável para cada tipo de corte

VARIÁVEL	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)		
	Corte 10x10	Corte 8,5x8,5	Corte 9x18
Teor de sólidos	7,22	4,59	4,56
Temperatura do branqueador 1	2,40	1,82	1,45
Tempo do branqueador 1	6,52	6,94	1,46
Temperatura do branqueador 2	3,26	1,74	2,42
Tempo do branqueador 2	41,65	15,82	24,79
Temperatura do secador na seção 1	7,23	7,41	8,33
Temperatura do secador na seção 2	7,13	5,78	5,56
Tempo do secador nas seções 1 e 2	5,91	6,76	4,93
Temperatura do secador na seção 3	6,97	6,19	7,01
Temperatura do secador na seção 4	7,15	5,87	5,56
Tempo do secador nas seções 3 e 4	1,82	2,27	1,56
Temperatura do fritador	0,65	0,72	0,41
Tempo do fritador	22,80	23,27	21,71
Temperatura do túnel de congelamento na seção 1	11,35	28,14	27,56
Temperatura do túnel de congelamento na seção 2	28,14	27,03	35,33
Temperatura do túnel de congelamento na seção 3	27,56	9,61	14,23
Tempo do túnel de congelamento nas seções 1 e 2	1,49	0,83	5,64
Temperatura do produto	27,88	30,55	28,80

O coeficiente de variação da variável tempo do fritador foi alto e semelhante em todos os tipos de corte. Ao comparar os coeficientes de variação da temperatura do túnel de congelamento na seção 1, observa-se que é menor para o corte 10x10, maior e semelhante para os cortes 8,5x8,5 e 9x18. A variável temperatura do túnel de congelamento na seção 2 apresentou altos coeficientes de variação para os três cortes, sendo o do corte 9x18 maior. O coeficiente de variação da variável temperatura do túnel de congelamento na seção 3 apresentou maior coeficiente de variação para o corte 10x10.

O coeficiente de variação da variável temperatura do produto foi alto e semelhante em todos os tipos de corte. Assim, não é possível afirmar que o tipo de corte influencia os processos acarretando em altas temperaturas no produto.

Por meio da Tabela 4, é possível obter informações dos coeficientes de variação das observações das variáveis para cada variedade

Tabela 4: Coeficientes de variação das observações de cada variável para cada variedade

Variedade	Coeficiente de Variação (%)					
	Tempo do Branqueador 2	Tempo do Fritador	Temperatura do túnel de congelamento na seção 1	Temperatura do túnel de congelamento na seção 2	Temperatura do túnel de congelamento na seção 3	Temperatura do Produto
Asterix	35,17	21,72	10,32	27,97	20,51	28,60
Challenger	37,58	23,95	10,65	24,87	40,69	23,62
Cupido	31,05	22,84	10,83	25,94	14,84	23,65
Dayse	33,05	15,90	15,36	38,07	12,65	23,19
Innovator	38,86	21,14	13,21	35,81	12,74	29,87
Ludmilla	23,18	19,25	8,72	45,98	11,75	12,73
Markies	31,56	23,35	10,76	23,96	31,03	29,85
Russet	21,66	13,96	20,50	51,29	12,44	28,02
Spunta	34,22	20,85	9,79	26,18	12,04	20,80

Ao comparar as nove variedades de batata, observou-se que apenas a Ludmilla apresentou menor coeficiente de variação para a temperatura do produto. As demais apresentaram variabilidade semelhante. Nenhum comportamento foi verificado ao longo das etapas de forma a concluir que a variedade influenciasse na variabilidade da temperatura do produto.

A variabilidade no tempo do fritador é alta e não controlada, conseqüentemente o processo de congelamento é prejudicado e acarreta em produtos com alta variabilidade em sua temperatura (cerca de 50% dos lotes produzidos com temperaturas superiores a -14 °C) gerando retrabalho.

5.2.2. Análise de regressão

A variável tempo do túnel de congelamento na seção 3 apresentou o menor coeficiente de variação, por esse motivo, o programa estatístico não a considerou em nenhuma análise, pois não houve variação quantitativa, ou seja, em 99,10% de suas observações o valor foi o mesmo, 8,5 minutos. Logo, ao invés de dezoito, o máximo de variáveis independentes consideradas na análise de regressão foram 17 mais as variáveis corte e variedade como variáveis categóricas. Ao categorizar as observações por corte e variedade, em algumas análises, algumas variáveis não apresentaram variação, ou seja, eram praticamente constantes, logo não foram consideradas pelo programa também.

O estudo de regressão foi realizado para todas as variáveis juntas e categorizando por corte e em seguida, por variedade. A seleção por *stepwise* foi utilizada a fim de aumentar o poder explicativo dos modelos. Por meio do Anexo, foi possível observar que em algumas análises, a temperatura foi influenciada por algumas variáveis, mas os poderes explicativos dos modelos foram muito baixos.

Uma ampla faixa de teor de sólidos foi observada (15,18% a 24,6%). Era esperado que essa variável influenciasse a temperatura por estar diretamente associada ao teor de amido contido no tubérculo e pelo fato da gelatinização do amido ser uma etapa crucial do processamento. Entretanto, não foram obtidos resultados que indicassem tal influência de forma interessante (baixa influência).

Os valores da temperatura final estudados, considerando todos os lotes (Tabela 2), variaram de -25 °C a -1,5 °C. A média da temperatura do produto final foi de -13,76 °C. O segundo quartil foi calculado e o valor foi de -14,10 °C, ou seja, 50% dos lotes estavam acima de -14,10 °C e os outros 50%, abaixo. O valor do segundo quartil foi bem próximo do limite superior de especificação (-14 °C) o que mostra que metade da produção estava sendo retida por não atingir a temperatura alvo, acarretando em retrabalho com consequente perda financeira para a empresa.

5.2.3. Redução de Custos e Aumento da Capacidade Produtiva

A avaliação da redução de custos e aumento da capacidade produtiva foi realizada através da medição da correlação de Pearson. Observou-se que algumas variáveis possuíam coeficientes de variação muito pequenos como os tempos nas seções do secador, por exemplo. Recomendou-se utilizar valores aproximando para o mais econômico, ou seja, diminuição das faixas de valores utilizados.

O teste de correlação de Pearson foi realizado com as variáveis tempo no secador nas seções 1 e 2 e tempo no secador nas seções 3 e 4. O p-valor = 0,000 obtido leva a rejeição da hipótese nula concluindo que havia correlação entre as variáveis (Correlação de Pearson = 0,74).

Em face disso, foi possível entender que havia correlação entre os tempos nas seções do secador, ou seja, quando o tempo na seção 1 e 2 do secador era alto, nas outras duas seções também era e vice-versa (Figura 9). Os resultados das análises estatísticas mostraram que estas variáveis não influenciavam na temperatura do produto final, assim recomendou-se utilizar os menores tempos com o intuito de reduzir custos.

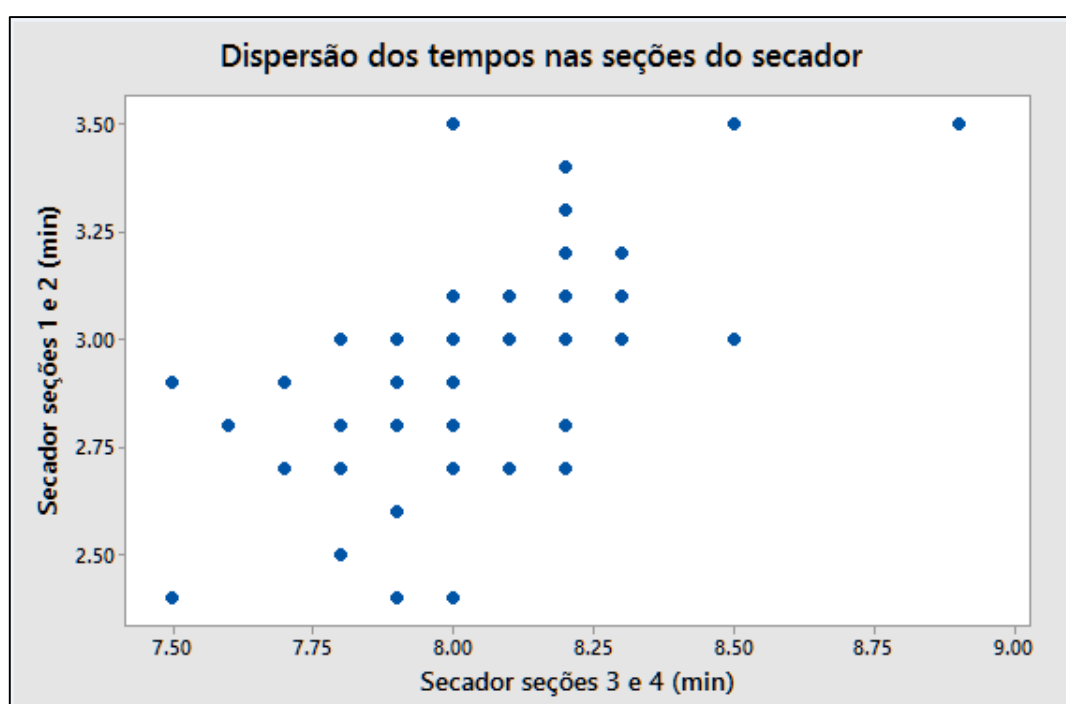


Figura 9: Dispersão dos tempos nas seções do secador

Os equipamentos na empresa recebem vapor proveniente de uma caldeira aquatubular (68 kgf/cm^2), movida a cavaco e bagaço de cana com custo médio de produção de vapor de 48 reais por tonelada (valor cedido pela empresa em estudo). Cerca de 2,5 toneladas de vapor por hora eram destinadas ao secador. O primeiro cenário seria os palitos permanecerem por 12,4 minutos e o segundo seria permanecerem por 9,9 minutos, ou seja, o tempo da entrada do palito no secador até a saída do mesmo (soma dos valores mínimos e máximos das variáveis tempo nas seções 1 e 2 e tempo nas seções 3 e 4 ao longo do secador). A produção é contínua, assim, se passassem a utilizar os menores tempos, ao longo de uma hora de produção, economizariam cerca de 12 minutos (se utilizassem 12,4 minutos, ao longo

de uma hora é como se houvesse cerca de 4,84 passagens pelo secador, 60 minutos ÷ 12,4 minutos). Ao utilizar essas mesmas 4,84 passagens que é equivalente ao total de batatas processadas por hora com o tempo de 9,9 minutos, seria necessário 48 minutos (4,84 x 9,9 minutos), aproximadamente. Logo, a produção de batatas in natura durava 60 minutos, duraria 48 minutos. Assim, no lugar de duas toneladas e meia de vapor por hora, utilizar-se-ia duas toneladas no secador. Isso representaria 48 toneladas de vapor por dia (2 toneladas x 24 horas), ao invés de 60 toneladas de vapor (2,5 toneladas x 24 horas), para se obter a mesma produção. Uma economia de 20% que resultaria em mais de 17 mil reais economizados ao longo de um mês [(2,5 toneladas – 2 toneladas) x 24 horas x 30 dias x 48 reais] ou mais de 200 mil reais, em um ano (17 mil x 12 meses).

Ficar ociosa não era uma opção para a empresa, logo o mais interessante seria aumentar a produção. Testes foram realizados e observou-se, um aumento de cerca de 20% na produção.

Alterar padrões pode trazer benefícios como no estudo de Chua et al. (2001) que realizaram ensaios num secador de duas fases onde reduziu a temperatura de 35 °C, por 120 minutos, para 20 °C por 180 minutos. A modificação do padrão de tempo e temperatura de secagem de fatias de bananas proporcionou um impacto favorável na cinética de secagem, na cor dos produtos secos, bem como nos aspectos financeiros.

5.3. Melhorar

Comparou-se o padrão utilizado na empresa antes e após os resultados experimentais. Assim, os valores alvo do processo de secagem foram alterados em testes, proporcionando aumento de, aproximadamente, 20% na produção.

Os resultados foram apresentados à gerência e diretoria para que os ganhos fossem alcançados e melhorados cada vez mais.

5.3.1. Recomendações

Como as variáveis de entrada não são capazes de explicar a variável de saída (baixa explicação), foi possível entender, que mesmo antes, o processo já estava padronizado. Assim, as causas de variação da temperatura do produto final são causas não conhecidas, causas não comuns, não especiais, inerentes ao processo.

Em face disso, por mais que esforços sejam realizados, este estudo não conseguiria reduzir o retrabalho em consequência da alta temperatura nas batatas

pré-fritas congeladas, pois o processo está padronizado. Não foi possível propor uma solução para reduzir o retrabalho. Assim, duas colocações devem ser consideradas:

- **1ª Colocação:** Sugere-se modificar os padrões, ou seja, mudar as faixas das variáveis de controle dos equipamentos, usar especificações nunca utilizadas na empresa. Realizar testes com algumas produções e analisar se houve efeito direto na temperatura do produto de modo que ela atinja no máximo -14 °C.
- **2ª Colocação:** O padrão está correto, mas as variáveis aleatórias são tão fortes que fazem 50% dos produtos que estão acima de -14 °C fazerem parte do padrão interno da empresa.

Os processos estão sendo bem conduzidos. Essas variáveis aleatórias provavelmente são referentes a matéria prima, algo intrínseco que a empresa desconhece, mas que tem grande influência nos processos. A matéria prima apresenta alta variação, pois é influenciada a todo momento por diferentes fatores como incidência de sol, chuva, ventos, sua nutrição, o solo onde é plantada, seu manejo, a forma como é colhida, dentre outros. Faz-se necessário conhecer a proporção de amilose e amilopectina assim como sua distribuição que possivelmente podem influenciar as variáveis de controle, por exemplo. Estudos intrínsecos na batata devem ser realizados para se obter mais informações e tentar entender quais são essas variáveis não comuns e como podem estar influenciando na temperatura do produto final, se é que podem.

5.4. Controlar

Para manter os ganhos alcançados e consolidá-los, o processo foi monitorado ao longo do tempo por meio da aplicação e utilização de planilhas de controle.

Os processos tem sido controlados através de painéis de controle de um sistema de qualidade implantado na empresa em 2017. Como exemplo, as figuras 10 e 11 são referentes ao tempo do fritador e temperatura do branqueador 1 de 48 horas de produção.

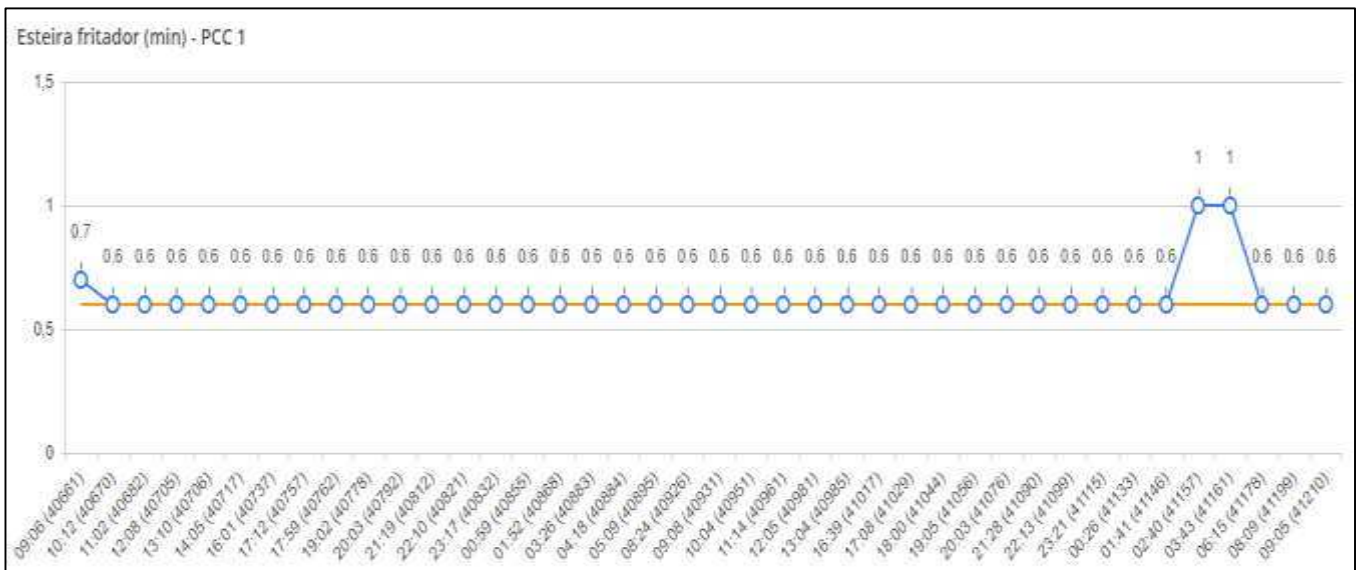


Figura 10: Gráfico de controle do tempo do fritador referente a 48 horas de produção

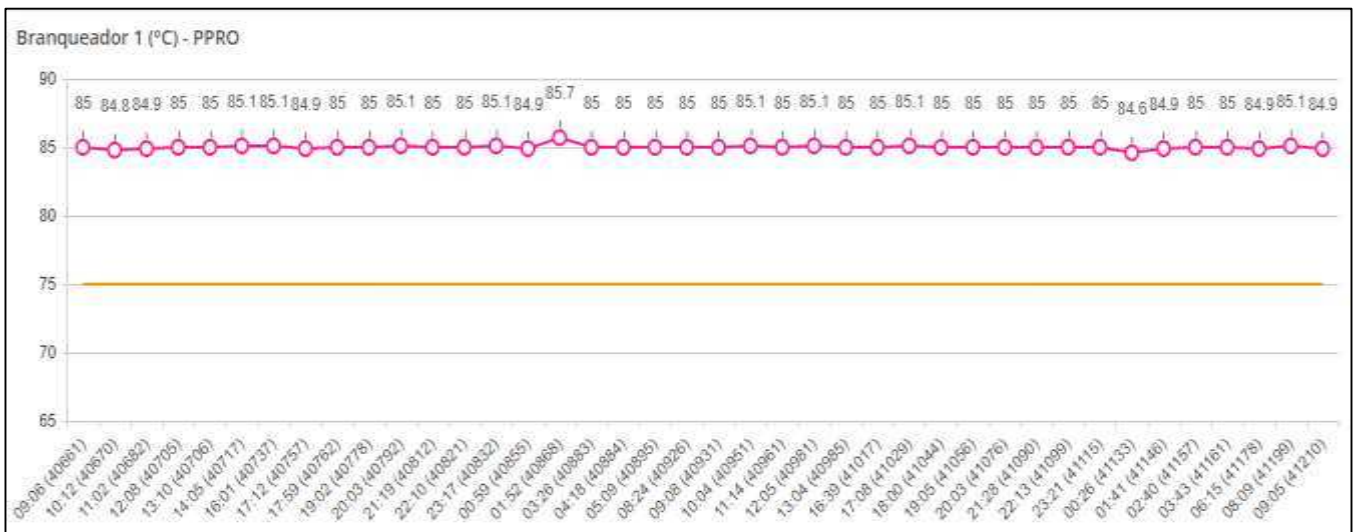


Figura 11: Gráfico de controle da temperatura do branqueador referente a 48 horas de produção

6. CONCLUSÃO

O retrabalho observado na empresa de processamento de batatas pré-fritas congeladas em estudo não pôde ser reduzido com implantação da metodologia Seis Sigma.

As frequências de não atendimento às especificações das características do produto final foram quantificadas e a temperatura do produto foi identificada como a que necessitava de maior controle e a principal responsável pelo alto retrabalho (50% dos lotes).

A temperatura do produto final não foi influenciada, com alto poder explicativo, por nenhuma das variáveis estudadas nos intervalos analisados. Provavelmente, causas desconhecidas, inerentes ao processo, são as principais responsáveis pela variação da temperatura no produto final.

Seria interessante modificar os padrões, ou seja, utilizar especificações de processos jamais utilizados e avaliar os resultados na temperatura do produto final. Outra recomendação seria realizar estudos para tentar identificar quais são as variáveis aleatórias que influenciam tanto na temperatura do produto final e, assim, poder agir melhor sobre as variáveis de forma a obter os resultados esperados.

O reprocesso está dentro do processo. A empresa é Seis Sigma, pois os lotes de produção podem até apresentar temperaturas fora dos limites de especificação, mas apenas produtos com temperatura dentro dos limites saem da empresa para comercialização. Assim, pode-se afirmar que nenhum lote de produto não conforme é liberado estando conforme com a ideologia dos Seis Sigma, máximo 3,4 unidades não conformes a cada 1000000 produzidas.

Mesmo com a ausência de resultados satisfatórios para a redução do retrabalho, a adoção dos Seis Sigma foi essencial para definir, medir e analisar os processos. Graças a sua aplicação, foi possível identificar melhorias como aumento em 20% na produção por meio da adoção de parâmetros de processos mais econômicos e, dessa forma, diluir os custos de retrabalho.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRIONI, Fernanda Dib; SANTOS, Gabriela Tereza; ROCHA, Lucas Diniz;
- FERREIRA, Paulo Fernando; KOMATSUZAKI, Flávia. 2015. “Utilização Do Método Dmaic Para Melhoria De Desempenho Em Indústria De Panificação E Confeitaria.” In *V Congresso Brasileiro De Engenharia De Produção*, 10. Ponta Grossa.
- BHOTE, Keki R. 2002. “The Ultimate Six Sigma Beyond Quality Excellence To Total Business Excellence.” Amacom/American Management Association,.
- CAMARGO, E.; PACHECO, D.A.J. 2013. “Aplicando O Balanceamento De Operações Para Melhorar O Desempenho Da Indústria.” *Espacios* 34 (1–15).
- CHAVES, B.P. 2004. “Princípios Básicos De Pesquisa Em Ciência/Tecnologia/Engenharia De Alimentos.” Viçosa.
- CHUA, K.J. et al. 2001. Batch drying of banana pieces — effect of stepwise change in drying air temperature on drying kinetics and product colour. *Food Research International*, v. 34, n. 8, p.721-731.
- CRATHORNE, A. R.; SHEWHART, W.A. 1933. “Economic Control Of Quality Of Manufactured Product.” *The American Mathematical Monthly* 40 (6). Asq Quality Press: 353. Doi:10.2307/2301530.
- DEMING, William Edwards. 2003. *Saia Da Crise*. São Paulo: Futura.
- GLOBAL AGRISYSTEM. 2005. “Potato Frozen French Fries.”
- GÖKMEN, V. 2015. *Acrylamide In Food*. Academic Press.
- GOULD, Wilbur A. 1999. *Potato Production, Processing And Technology*. *Potato Production, Processing And Technology*. Woodhead Publishing.
- HARRY, M.; SCHROEDER, R. 2000. *Six Sigma: The New Breakthrough Management Strategy Revolutionizing The World’s Top Corporation*. New York: Currency Doubleday.
- HUBBARD, M.R. 2003. *No Statistical Quality Control For Food Industry*. 3rded. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- HUI, Y.H. 2006. *Handbook Of Food Science, Technology And Engineering*. 4thed. Crc Press.

JESUS, Abel Ribeiro de. 2015. "Seis Sigma Em Grandes Indústrias No Brasil: Problemas De Implementação E Fatores Críticos De Sucesso." Universidade Federal Da Bahia.

JURAN, J.M.; GODFREY, A.B. 1999. *Quality Handbook*. 5thed. Mcgraw-Hill.

JURAN, J.M.; GRZYNA, F.M. 1992. *Controle Da Qualidade*. São Paulo: Makron Books.

LINDERMAN, Kevin; SCHROEDER, Roger G.; CHOO, Adrian S. 2006. "Six Sigma: The Role Of Goals In Improvement Teams." *Journal Of Operations Management* 24 (6): 779–90. Doi:10.1016/J.Jom.2005.08.005.

MARX, M. 2007. "Six Sigma Saves The Fortune 500 \$427 Billion." *Isixsigma Newsletter*. <http://www.isixsigma.com/community/blogs/six-sigma-saves-fortune-500427-billion/>.

MAZZUCHETTI, Roselis Natalina; OPAZO, Miguel Angel Uribe; GIMENES, Regio Marcio Toesca. 2010. "Aplicação Do Programa Seis Sigma Em Uma Indústria De Abate De Frangos." *Acta Scientiarum. Technology* 32 (2). Doi:10.4025/Actascitechnol.V32i2.527.

MONTGOMERY, Douglas C.; PECK, Elizabeth A.; VINING, G. Geoffrey. 2012. *Introduction To Linear Regression Analysis*. Wiley.

NADARAJAH, D.; KADIR, S.L.S.A. 2014. "A Review Of The Importance Of Business Process Management In Achieving Sustainable Competitive Advantage." *The Tqm Journal* 16 (5).

PACHECO, D.A.J. 2014. "Teoria Das Restrições, Lean Manufacturing E Seis Sigma: Limites E Possibilidades De Integração." *Production* 24 (4): 940–56.

POLIT, D.; HUNGLER, B. 2000. "Procedimientos Estadísticos Multivariados." *Investigación Científica En Ciencias De La Salud* 6: 485–520.

PYZDEK, Thomas. 2003. *The Six Sigma Handbook - A Complete Guide For Green Belts, Black Belts, And Managers At All Levels*. Search. Doi:10.1036/0071415963.

RIBEIRO JÚNIOR, J.I. 2012. *Métodos Estatísticos Aplicados À Melhoria Da Qualidade*. Viçosa: Editora Ufv.

RIBEIRO JÚNIOR, J.I. 2013. *Métodos Estatísticos Aplicados Ao Controle Da Qualidade*. Viçosa: Editora Ufv.

- ROLDAN, V.P.S. et al. 2013. "Inovação Em Serviços: Análise Do Caso De Uma Empresa De Médio Porte No Nordeste Brasileiro." *Revista Gestão Industrial* 9 (1): 1–23.
- SALINAS, M.; SILVA, C. 2007. "Modelos De Regresión Y Correlación Ii. Regresión Lineal Múltiple." *Ciencia & Trabajo* 9 (23): 39–41.
- SCHULTZ, Duane P.; SCHULTZ, Sydney Ellen. *História Da Psicologia Moderna*. 16. Ed. São Paulo: Cultrix, 1992. 439 P.
- SILVERSTEIN, David; SAMUEL, Philip; DECARLO, Neil. 2009. *The Innovators Toolkit*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- SINGH, Jaspreet; KAUR, Lovedeep. 2016. *Advances In Potato Chemistry And Technology, 2nd Edition*. Academic Press.
- SIX SIGMA ONLINE. 2016. "The History And Development Of Six Sigma." [Http://Www.Sixsigmaonline.Org/Six-Sigma-Training-Certification-Information/The-History-And-Development-Of-Six-Sigma/](http://www.sixsigmaonline.org/six-sigma-training-certification-information/the-history-and-development-of-six-sigma/).
- SOKOVIC, M.; Pavletic, D.; FAKIN, S. 2005. "Application Of Six Sigma Methodology For Process Design." *Journal Of Materials Processing Technology* 162–163 (May): 777–83. Doi:10.1016/J.Jmatprotec.2005.02.231.
- TAUCHER, E. 1997. *Bioestadística*. 1sted. Santiago: Editorial Universitaria.
- TJAHJONO, B. et al. 2010. "Six Sigma: A Literature Review." *International Journal Of Lean Six Sigma* 1 (3): 216–33.
- TRIENEKENS, Jacques; ZUURBIER, Peter. 2008. "Quality And Safety Standards In The Food Industry, Developments And Challenges." *International Journal Of Production Economics* 113 (1): 107–22. Doi:10.1016/J.Ijpe.2007.02.050.
- USDA. 1988. "Color Standards For Frozen French Fried Potatoes."

ANEXO

Ao categorizar as observações por corte e variedade, em algumas análises, algumas variáveis não apresentaram variação, ou seja, eram praticamente constantes, logo não foram consideradas pelo programa.

1. RESULTADOS ESTATÍSTICOS

1.1. Todas variáveis (sem categorizar corte e variedade)

O maior modelo, utilizando as 17 variáveis, foi significativo ao nível de 5% de probabilidade. Entretanto, o poder explicativo do modelo foi baixo, $R^2=14,4\%$ (Tabela A1).

Ao fazer por *stepwise*, alguns modelos foram significativos, mas seus poderes explicativos foram baixos (o maior R^2 dentre os modelos foi 12%).

Tabela A1: Análise de variância da regressão para todas variáveis

Modelo	Graus de Liberdade	F	p-valor	R	R ²
Regressão	17	1,831	0,027 ^b	0,380 ^a	0,144
Resíduo	185				
Total	202				

- a. Variável dependente: Temperatura do produto
- b. Preditores: Constante, teor de sólidos (%), temperatura do branqueador 1 (°C), tempo do branqueador 1 (min), temperatura do branqueador 2 (°C), tempo do branqueador 2 (min), temperatura do secador na seção 1 (°C), temperatura do secador na seção 2 (°C), tempo do secador nas seções 1 e 2 (min), temperatura do secador na seção 3 (°C), temperatura do secador na seção 4 (°C), tempo do secador nas seções 3 e 4 (min), temperatura do fritador (°C), tempo do fritador (min), temperatura do túnel de congelamento na seção 1 (°C), temperatura do túnel de congelamento na seção 2 (°C), tempo do túnel de congelamento nas seções 1 e 2 (min), temperatura do túnel de congelamento na seção 3 (°C).

1.2. Categorizando por corte

1.2.1. Corte 10x10

Considerando apenas o corte 10x10, observou-se que o modelo foi significativo, mas o poder explicativo foi baixo, $R^2=17,2\%$ (Tabela A2).

Ao fazer por *stepwise*, alguns modelos foram significativos, mas seus poderes explicativos foram baixos (o maior R^2 dentre os modelos foi 11%).

Tabela A2: Análise de variância da regressão para o corte 10x10

Modelo	Graus de Liberdade	F	p-valor	R	R^2
Regressão	17	1,737	0,043 ^b	0,415 ^a	0,172
Resíduo	142				
Total	159				

- a. Variável dependente: Temperatura do produto
- b. Preditores: Constante, teor de sólidos (%), temperatura do branqueador 1 (°C), tempo do branqueador 1 (min), temperatura do branqueador 2 (°C), tempo do branqueador 2 (min), temperatura do secador na seção 1 (°C), temperatura do secador na seção 2 (°C), tempo do secador nas seções 1 e 2 (min), temperatura do secador na seção 3 (°C), temperatura do secador na seção 4 (°C), tempo do secador nas seções 3 e 4 (min), temperatura do fritador (°C), tempo do fritador (min), temperatura do túnel de congelamento na seção 1 (°C), temperatura do túnel de congelamento na seção 2 (°C), tempo do túnel de congelamento nas seções 1 e 2 (min), temperatura do túnel de congelamento na seção 3 (°C).

1.2.2. Corte 9x18

O modelo para o corte 9x18 não foi significativo ao nível de 5% de probabilidade (Tabela A3).

Ao fazer por *stepwise*, alguns modelos foram significativos, mas seus poderes explicativos foram baixos (o maior R^2 dentre os modelos foi 4,9%).

Tabela A3: Análise de variância da regressão para o corte 9x18

Modelo	Graus de Liberdade	F	p-valor
Regressão	17	1,358	0,177 ^b
Resíduo	91		
Total	108		

- a. Variável dependente: Temperatura do produto
- b. Preditores: Constante, teor de sólidos (%), temperatura do branqueador 1 (°C), tempo do branqueador 1 (min), temperatura do branqueador 2 (°C), tempo do branqueador 2 (min), temperatura do secador na seção 1 (°C), temperatura do secador na seção 2 (°C), tempo do secador nas seções 1 e 2 (min), temperatura do secador na seção 3 (°C), temperatura do secador na seção 4 (°C), tempo do secador nas seções 3 e 4 (min), temperatura do fritador (°C), tempo do fritador (min), temperatura do túnel de congelamento na seção 1 (°C), temperatura do túnel de congelamento na seção 2 (°C), tempo do túnel de congelamento nas seções 1 e 2 (min), temperatura do túnel de congelamento na seção 3 (°C).

1.2.3. Corte 8,5x8,5

O modelo para o corte 8,5x8,5 não foi significativo ao nível de 5% de probabilidade (Tabela A4).

Ao fazer por *stepwise*, alguns modelos foram significativos, mas seus poderes explicativos foram baixos (o maior R² dentre os modelos foi 9,7%).

Tabela A4: Análise de variância da regressão para o corte 8,5x8,5

Modelo	Graus de Liberdade	F	p-valor
Regressão	17	1,613	0,080 ^b
Resíduo	80		
Total	97		

- a. Variável dependente: Temperatura do produto

- b. Preditores: Constante, teor de sólidos (%), temperatura do branqueador 1 (°C), tempo do branqueador 1 (min), temperatura do branqueador 2 (°C), tempo do branqueador 2 (min), temperatura do secador na seção 1 (°C), temperatura do secador na seção 2 (°C), tempo do secador nas seções 1 e 2 (min), temperatura do secador na seção 3 (°C), temperatura do secador na seção 4 (°C), tempo do secador nas seções 3 e 4 (min), temperatura do fritador (°C), tempo do fritador (min), temperatura do túnel de congelamento na seção 1 (°C), temperatura do túnel de congelamento na seção 2 (°C), tempo do túnel de congelamento nas seções 1 e 2 (min), temperatura do túnel de congelamento na seção 3 (°C).

1.3. Categorizando por variedade

1.3.1. Asterix

O modelo para Asterix foi significativo ao nível de 5% de probabilidade. Entretanto, seu poder explicativo foi baixo, $R^2 = 9,8\%$ (Tabela A5).

Ao fazer por *stepwise*, alguns modelos foram significativos, mas seus poderes explicativos foram baixos (o maior R^2 dentre os modelos foi 5,7%).

Tabela A5: Análise de variância da regressão para a variedade Asterix

Modelo	Graus de Liberdade	F	p-valor	R	R^2
Regressão	17	2,559	0,001 ^b	0,312 ^a	0,098
Resíduo	402				
Total	419				

- a. Variável dependente: Temperatura do produto
- b. Preditores: Constante, teor de sólidos (%), temperatura do branqueador 1 (°C), tempo do branqueador 1 (min), temperatura do branqueador 2 (°C), tempo do branqueador 2 (min), temperatura do secador na seção 1 (°C), temperatura do secador na seção 2 (°C), tempo do secador nas seções 1 e 2 (min), temperatura do secador na seção 3 (°C), temperatura do secador na seção 4 (°C), tempo do secador nas seções 3 e 4 (min), temperatura do fritador (°C), tempo do fritador (min), temperatura do túnel de congelamento na seção 1 (°C), temperatura do túnel de congelamento na seção 2 (°C),

tempo do túnel de congelamento nas seções 1 e 2 (min), temperatura do túnel de congelamento na seção 3 (°C).

1.3.2. Markies

O modelo para Markies não foi significativo ao nível de 5% de probabilidade, considerando todas variáveis e por *stepwise* (Tabela A6).

Tabela A6: Análise de variância da regressão para a variedade Markies

Modelo	Graus de Liberdade	F	p-valor
Regressão	17	0,785	0,701 ^b
Resíduo	47		
Total	64		

- a. Variável dependente: Temperatura do produto
- b. Preditores: Constante, teor de sólidos (%), temperatura do branqueador 1 (°C), tempo do branqueador 1 (min), temperatura do branqueador 2 (°C), tempo do branqueador 2 (min), temperatura do secador na seção 1 (°C), temperatura do secador na seção 2 (°C), tempo do secador nas seções 1 e 2 (min), temperatura do secador na seção 3 (°C), temperatura do secador na seção 4 (°C), tempo do secador nas seções 3 e 4 (min), temperatura do fritador (°C), tempo do fritador (min), temperatura do túnel de congelamento na seção 1 (°C), temperatura do túnel de congelamento na seção 2 (°C), tempo do túnel de congelamento nas seções 1 e 2 (min), temperatura do túnel de congelamento na seção 3 (°C).

1.3.3. Ludmilla

Não foi possível obter modelo estatístico, pois havia poucas observações para essa variedade.

1.3.4. Dayse

O modelo para Dayse não foi significativo ao nível de 5% de probabilidade (Tabela A7).

Ao fazer por *stepwise*, alguns modelos foram significativos, mas seus poderes explicativos foram baixos (o maior R² dentre os modelos foi 6,7%).

Tabela A7: Análise de variância da regressão para a variedade Dayse

Modelo	Graus de Liberdade	F	p-valor
Regressão	13	16,101	0,193 ^b
Resíduo	1		
Total	14		

- a. Variável dependente: Temperatura do produto
- b. Preditores: Constante, teor de sólidos (%), temperatura do branqueador 1 (°C), tempo do branqueador 1 (min), temperatura do branqueador 2 (°C), tempo do branqueador 2 (min), temperatura do secador na seção 1 (°C), temperatura do secador na seção 2 (°C), temperatura do secador na seção 3 (°C), tempo do secador nas seções 3 e 4 (min), temperatura do fritador (°C), tempo do fritador (min), temperatura do túnel de congelamento na seção 2 (°C), temperatura do túnel de congelamento na seção 3 (°C).

1.3.5. Challenger

O modelo para Challenger não foi significativo ao nível de 5% de probabilidade (Tabela A8).

Ao fazer por *stepwise*, alguns modelos foram significativos, mas seus poderes explicativos foram baixos (o maior R² dentre os modelos foi 6,4%).

Tabela A7: Análise de variância da regressão para a variedade Challenger

Modelo	Graus de Liberdade	F	p-valor
Regressão	16	1,048	0,425 ^b
Resíduo	55		
Total	71		

- a. Variável dependente: Temperatura do produto
- b. Preditores: Constante, teor de sólidos (%), temperatura do branqueador 1 (°C), tempo do branqueador 1 (min), temperatura do branqueador 2 (°C),

tempo do branqueador 2 (min), temperatura do secador na seção 1 (°C), temperatura do secador na seção 2 (°C), tempo do secador nas seções 1 e 2 (min), temperatura do secador na seção 3 (°C), temperatura do secador na seção 4 (°C), tempo do secador nas seções 3 e 4 (min), temperatura do fritador (°C), tempo do fritador (min), temperatura do túnel de congelamento na seção 1 (°C), temperatura do túnel de congelamento na seção 2 (°C), temperatura do túnel de congelamento na seção 3 (°C).

1.3.6. Innovator

O modelo para Innovator não foi significativo ao nível de 5% de probabilidade (Tabela A8).

Ao fazer por *stepwise*, alguns modelos foram significativos, mas seus poderes explicativos foram baixos (o maior R² dentre os modelos foi 6,1%).

Tabela A8: Análise de variância da regressão para a variedade Innovator

Modelo	Graus de Liberdade	F	p-valor
Regressão	16	1,679	0,083 ^b
Resíduo	49		
Total	65		

- a. Variável dependente: Temperatura do produto
- b. Preditores: Constante, teor de sólidos (%), temperatura do branqueador 1 (°C), tempo do branqueador 1 (min), temperatura do branqueador 2 (°C), tempo do branqueador 2 (min), temperatura do secador na seção 1 (°C), temperatura do secador na seção 2 (°C), tempo do secador nas seções 1 e 2 (min), temperatura do secador na seção 3 (°C), temperatura do secador na seção 4 (°C), tempo do secador nas seções 3 e 4 (min), temperatura do fritador (°C), tempo do fritador (min), temperatura do túnel de congelamento na seção 1 (°C), temperatura do túnel de congelamento na seção 2 (°C), temperatura do túnel de congelamento na seção 3 (°C).

1.3.7. Cupido

O modelo para Cupido não foi significativo ao nível de 5% de probabilidade, considerando todas variáveis (Tabela A9) e por *stepwise*.

Tabela A9: Análise de variância da regressão para a variedade Cupido

Modelo	Graus de Liberdade	F	p-valor
Regressão	14	0,822	0,642 ^b
Resíduo	32		
Total	46		

- a. Variável dependente: Temperatura do produto
- b. Preditores: Constante, teor de sólidos (%), temperatura do branqueador 1 (°C), tempo do branqueador 1 (min), temperatura do branqueador 2 (°C), tempo do branqueador 2 (min), temperatura do secador na seção 1 (°C), tempo do secador nas seções 1 e 2 (min), temperatura do secador na seção 4 (°C), tempo do secador nas seções 3 e 4 (min), temperatura do fritador (°C), tempo do fritador (min), temperatura do túnel de congelamento na seção 1 (°C), temperatura do túnel de congelamento na seção 2 (°C), temperatura do túnel de congelamento na seção 3 (°C).

1.3.8. Spunta

O modelo para Spunta não foi significativo ao nível de 5% de probabilidade, considerando todas variáveis (Tabela A10) e por *stepwise*.

Tabela A10: Análise de variância da regressão para a variedade Spunta

Modelo	Graus de Liberdade	F	p-valor
Regressão	16	1,073	0,455 ^b
Resíduo	13		
Total	29		

- a. Variável dependente: Temperatura do produto
- b. Preditores: Constante, teor de sólidos (%), temperatura do branqueador 1 (°C), tempo do branqueador 1 (min), temperatura do branqueador 2 (°C),

tempo do branqueador 2 (min), temperatura do secador na seção 1 (°C), temperatura do secador na seção 2 (°C), tempo do secador nas seções 1 e 2 (min), temperatura do secador na seção 3 (°C), temperatura do secador na seção 4 (°C), tempo do secador nas seções 3 e 4 (min), temperatura do fritador (°C), tempo do fritador (min), temperatura do túnel de congelamento na seção 1 (°C), temperatura do túnel de congelamento na seção 2 (°C), temperatura do túnel de congelamento na seção 3 (°C).

1.3.9. Russet

O modelo para Russet não foi significativo ao nível de 5% de probabilidade, considerando todas variáveis (Tabela A11) e por *stepwise*.

Tabela A11: Análise de variância da regressão para a variedade Russet

Modelo	Graus de Liberdade	F	p-valor
Regressão	11	1,406	0,310 ^b
Resíduo	9		
Total	20		

- a. Variável dependente: Temperatura do produto
- b. Preditores: Constante, teor de sólidos (%), temperatura do branqueador 2 (°C), tempo do branqueador 2 (min), tempo do secador nas seções 1 e 2 (min), temperatura do secador na seção 4 (°C), tempo do secador nas seções 3 e 4 (min), temperatura do fritador (°C), tempo do fritador (min), temperatura do túnel de congelamento na seção 1 (°C), temperatura do túnel de congelamento na seção 2 (°C), temperatura do túnel de congelamento na seção 3 (°C).