

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE  
CURSO DE ENGENHARIA MECATRÔNICA

LUCAS ERICKIS HAMES

APLICAÇÃO DO MÉTODO SIX SIGMA NO GERENCIAMENTO DE POTÊNCIA DE  
UMA FONTE DE CORRENTE CONTÍNUA APLICADA A UM REFRIGERADOR  
DOMÉSTICO

Joinville

2021

LUCAS ERICKIS HAMES

APLICAÇÃO DO MÉTODO SIX SIGMA NO GERENCIAMENTO DE POTÊNCIA DE  
UMA FONTE DE CORRENTE CONTÍNUA APLICADA A UM REFRIGERADOR  
DOMÉSTICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecatrônica no curso de Engenharia Mecatrônica, da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Orientador: Dr. Diego Santos Greff

Coorientador: Ivan Xavier Zanatta, Eng.

Joinville

2021

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus em primeiro lugar pelo dom da minha vida e por ter permitido que eu passasse por essa experiência.

Aos meus pais, Terezinha e Danilo e minhas irmãs Deisi e Neila, por terem me dado todo o suporte que precisei durante essa caminhada.

A minha namorada, que está sempre comigo nos momentos felizes e me incentiva nos momentos de dúvidas.

Ao meu gestor de estágio e coorientador desse trabalho, Ivan Zanatta, que me ajudou a amadurecer como profissional.

A todos os meus professores pelo conhecimento adquirido, em especial ao professor e diretor do CTJ, Diego Santos Greff, que aceitou me orientar nesse trabalho e ao Marcelo Machado Fernandes, instrutor do meu treinamento em Lean Six Sigma.

Aos coordenadores do curso de Engenharia Mecatrônica, Tatiana Renata Garcia, Milton Evangelista de Oliveira Filho e Aline Durrer Patelli Juliani, que acompanharam minha formação acadêmica e estiveram sempre presentes nos momentos de dificuldades.

Aos meus amigos, pelo companheirismo, apoio e momentos de descontração.

A empresa que fiz meu estágio, por me permitir trabalhar nesse projeto e fornecer os recursos e conhecimento necessários. Também por me proporcionar desafios que me fizeram crescer como profissional e como pessoa.

## RESUMO

De modo que possam obter a preferência do consumidor, empresas que competem em mercado local ou global necessitam garantir que seus produtos sejam confiáveis e que satisfaçam a necessidade de seus clientes. Porém, de nada adianta lançar um produto robusto no mercado se a opção da concorrência for vendida por um preço mais atrativo. Essa necessidade incita a busca por ferramentas de engenharia e de gerenciamento de projetos que facilitam a melhoria de processos e redução de custos. Neste cenário, o Six Sigma se destaca por ser um método científico que permite realizar o uso de ferramentas estatísticas para organizar dados, encontrar as fontes de variação em processos e reduzir a variabilidade. Este trabalho apresenta um uso do método Six Sigma para identificar as fontes de variação de potência elétrica drenada por componentes como motor ventilador e resistências de aquecimento, com o objetivo tomar iniciativas para garantir que não ocorra o desligamento indesejado de um refrigerador. Utilizando teste de normalidade, análise de capacidade e matriz de impacto e esforço foi possível resolver o problema de desligamento ao alterar as cargas elétricas ativas em um dos cenários de operação do produto.

**Palavras-chave:** Six sigma. DMAIC. Gerenciamento de potência.

## **ABSTRACT**

In order to meet the consumer preference, companies that compete for local or global markets need to ensure that their products are reliable and meet the needs of their customers. But there is no point in launching a robust product on the market if the competitor's option is sold at a more attractive price. This need encourages the search for project management and engineering tools that makes the process improvement easier and also cheaper. In this scenario, Six Sigma stands out for being a scientific method that allows the use of statistical tools to organize data, find variations in processes and reduce variability. This paper presents a use of the Six Sigma method to identify sources of variation in electrical power drained by components such as fan motor and heaters, with the aim of taking initiatives to prevent unwanted shutdown of a refrigerator. The issue was solved applying normality tests, capability analysis and impact and effort matrix, wich leded the action of changing the active electrical loads in one of the product's operation scenarios.

**Keywords:** Six Sigma. DMAIC. Power Management.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Six sigma representado pelo desvio padrão .....	15
Figura 2 – Exemplo de diagrama de Impacto x Esforço .....	18
Figura 3 – Carta X barra R .....	20
Figura 4 – Carta X barra R fora dos limites de controle .....	22
Figura 5 – Carta I-AM construída com as médias dos subgrupos .....	23
Figura 6: Teste de normalidade.....	24
Figura 7 – Diagrama Kano .....	26
Figura 8 – Gerenciamento de potência .....	29
Figura 9 – Diagrama Funcionalidade x Satisfação .....	32
Figura 10 – Vista expandida da resistência de aquecimento. ....	33
Figura 11 – Resistência do duto de ar gelado .....	34
Figura 12 – Resistência do dispensador .....	34
Figura 13 – Amostras da resistência do tubo de enchimento .....	35
Figura 14 – Batente móvel .....	36
Figura 15 – Condensação de água no batente móvel.....	36
Figura 16 – Válvula de entrada de água .....	37
Figura 17 – Ice maker .....	37
Figura 18 – Motor ventilador.....	38
Figura 19 – Medição de resistência em temperatura ambiente.....	40
Figura 20 – Preparação para medição em temperatura negativa. ....	40
Figura 21 – Configuração de medição em sobretensão .....	49
Figura 22 – Diagrama de relação de fatores .....	49
Figura 23 – Medições Ice maker .....	54
Figura 24 – Corrente elétrica do ice maker durante ciclo de colheita de gelo .....	55
Figura 25 – Corrente elétrica do ice maker durante o homing.....	55
Figura 26 – Carta X barra R da resistência do duto de porta T+ .....	56
Figura 27 – Carta X barra R da resistência do duto de porta T-.....	57
Figura 28 – Carta X barra R da resistência do tubo de enchimento T+.....	57
Figura 29 – Carta X barra R da resistência do tubo de enchimento T- .....	58
Figura 30 – Carta X barra R da resistência do dispensador T+ .....	58
Figura 31 – Carta X barra R da resistência do dispensador T- .....	59
Figura 32 – Carta X barra R da resistência do batente móvel T+ .....	59

Figura 33 – Carta X barra R da resistência do batente móvel T- .....	60
Figura 34 – Carta I-AM da resistência do duto de porta .....	61
Figura 35 – Carta I-AM da resistência do tubo de enchimento.....	62
Figura 36 – Carta I-AM da resistência do dispensador .....	62
Figura 37 – Carta I-AM da resistência do tubo de enchimento T- .....	63
Figura 38 – Teste de normalidade da resistência do duto de porta T+ .....	64
Figura 39 – Teste de normalidade da resistência do duto de porta T- .....	64
Figura 40 – Teste de normalidade da resistência do tubo de enchimento T+ .....	65
Figura 41 – Teste de normalidade da resistência do tubo de enchimento T-.....	65
Figura 42 – Teste de normalidade da resistência do dispensador T+ .....	66
Figura 43 – Teste de normalidade da resistência do dispensador T-.....	66
Figura 44 – Teste de normalidade da resistência do batente móvel T+ .....	67
Figura 45 – Teste de normalidade da resistência do batente móvel T-.....	67
Figura 46 – Relatório de capacidade da resistência do duto de porta.....	68
Figura 47 – Relatório de capacidade da resistência do tubo de enchimento .....	69
Figura 48 – Relatório de capacidade para a resistência do dispensador .....	70
Figura 49 – Relatório de capacidade da resistência do batente móvel .....	71
Figura 50 – Carta I-AM da válvula de entrada de água.....	72
Figura 51 – Teste de normalidade da válvula de entrada de água.....	72
Figura 52 – Relatório de capacidade da válvula de entrada de água.....	73
Figura 53 – Carta I-AM do motor ventilador do ice maker .....	74
Figura 54 – Teste de normalidade do motor ventilador do ice maker.....	74
Figura 55 – Relatório de capacidade do motor ventilador do ice maker.....	75
Figura 56 – Gerenciamento de potência após medição das cargas.....	76
Figura 57 – Diagrama Impacto x Esforço para impedir o desligamento automático..	77

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – DPMO por nível sigma .....	15
Tabela 2 - Dados para a construção da Carta X barra R .....	19
Tabela 3 - Dados para a construção da carta X barra R .....	21
Tabela 4 – Time de projeto.....	31
Tabela 5 – Medições da resistência do duto de ar gelado T+ .....	41
Tabela 6 – Medições da resistência do duto de ar gelado T- .....	42
Tabela 7 – Medições da resistência do tubo de enchimento T+ .....	43
Tabela 8 – Medições da resistência do tubo de enchimento T- .....	44
Tabela 9 – Medições da resistência do dispensador T+ .....	45
Tabela 10 – Medições da resistência do dispensador T- .....	46
Tabela 11 – Medições da resistência do batente móvel T+ .....	47
Tabela 12 – Medições da resistência do batente móvel T- .....	48
Tabela 13 – Medições da válvula de entrada de água T+ .....	50
Tabela 14 – Medições da válvula de entrada de água T-.....	51
Tabela 15 – Medições do motor ventilador do ice maker T+ .....	52
Tabela 16 – Medições do motor ventilador do ice maker T-.....	53



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

NC – Não conforme

OS – Ordem de serviço

DMAIC – *Define - Measure - Analyze – Improve - Control*

CI – Circuito Integrado

LIE – Limite inferior de especificação

LSE – Limite superior de especificação

LIC – Limite inferior de controle

LSC – Limite superior de controle

VCE – Variação de causa especial

VCC – Variação de causa comum

Vcc – Volts, corrente contínua

CC – Corrente contínua

W - Watts

AM – Amplitude móvel

R – *Range*

T+ – Configuração de temperatura positiva

T- – Configuração de temperatura negativa

V+ – Configuração de tensão elétrica em 12,7V + 10%

V- – Configuração de tensão elétrica em 12,7V - 10%

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\sigma$  – Sigma

$\Omega$  – Ohm

$\mu$  – micro

% – Porcentagem

$^{\circ}\text{C}$  – Graus Celsius

$\bar{R}$  – Média das amplitudes dentro dos subgrupos

$\bar{X}$  – Média

$\bar{\bar{X}}$  – Média das médias

$C_{pk}$  – Índice de capacidade

$\overline{AM}$  – Média das amplitudes móveis

$D_3$  – Constante de ajuste de LIC da carta R

$D_4$  – Constante de ajuste de LSC da carta R

$A_2$  – Constante de ajuste dos limites de controle da carta X barra

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1. OBJETIVOS .....	13
1.1.1. Objetivo Geral .....	13
1.1.2. Objetivos Específicos .....	13
<b>2 MÉTODO SIX SIGMA</b> .....	<b>14</b>
2.1 HISTÓRICO .....	14
2.2 PROFISSIONAIS SIX SIGMA .....	16
2.3 FERRAMENTAS DA QUALIDADE .....	17
2.3.1 Brainstorm .....	17
2.3.2 Diagrama de Impacto x Esforço .....	17
2.3.3 Cartas de controle de variáveis .....	18
2.3.4 Teste de normalidade de Anderson-Darling .....	23
2.3.5 Análise de capacidade .....	24
2.3.6 Planejamento de experimentos .....	25
2.4 DMAIC .....	25
2.4.1 D - Define .....	26
2.4.2 M - Measure .....	27
2.4.3 A - Analyze .....	27
2.4.4 I – Improve .....	28
2.4.5 C – Control .....	28
<b>3 IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO</b> .....	<b>29</b>
3.1 DEFINE .....	31
3.1.1 Cargas elétricas do refrigerador .....	31
3.1.1.1 Resistências de aquecimento .....	32
3.1.1.1.1 Resistência do duto de ar gelado .....	33
3.1.1.1.2 Resistência do dispensador .....	34
3.1.1.1.3 Resistência do tubo de enchimento .....	35
3.1.1.1.4 Resistência do batente móvel .....	35
3.1.1.2 Válvula de entrada de água .....	36
3.1.1.3 Ice maker .....	37
3.2 MEASURE .....	38
3.2.1 Medições das resistências de aquecimento .....	39

3.2.2	Medições da válvula e motor ventilador .....	48
3.2.3	Medições do ice maker.....	53
3.2.4	Análise de capacidade .....	56
3.2.4.1	Análise das resistências de aquecimento.....	56
3.2.4.2	Análise da válvula de entrada de água e motor ventilador .....	71
3.2.4.3	Análise do ice maker .....	75
3.3	ANALYZE .....	75
3.4	IMPROVE.....	77
3.5	CONTROL.....	79
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>80</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>81</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Empresas líderes no mercado de bens de consumo necessitam manter um ritmo de crescimento em inovação e qualidade, esses valores permitem que a marca continue sendo a preferência do consumidor. De acordo com Costa, Epprecht e Carpinetti (2005), existe a possibilidade de garantir melhorias de qualidade sem investir na aquisição de novas tecnologias de produção. Para isso, basta conhecer os fatores que interferem no resultado final de um produto para então manipula-los. A aquisição desse conhecimento pode ser dirigida pelos métodos Seis Sigmas.

O Six Sigma é um método científico que aplica conceitos de estatística e conhecimento técnico com o objetivo de identificar os parâmetros causadores de variação que podem provocar problemas de qualidade (ALLEN, 2006). Para Santos e Martins (2008), o Six Sigma foi consolidado como um modelo de grande importância para uma organização manter-se competitiva no mercado através da melhoria de processos e redução de custos de desenvolvimento e produção. As empresas também escolhem o método devido à redução de complexidade, pois o profissional passa a realizar o uso de ferramentas estatísticas mesmo não sendo um especialista na área (SLEEPER, 2006).

A tendência de inovação de produtos de linha branca é utilizar tecnologia embarcada para atribuir maior número de funcionalidades, como ter acesso a cubos de gelo sem abrir a porta de um refrigerador. Os componentes elétricos e eletrônicos que realizam essas funcionalidades são comandados por uma unidade de controle anexada a uma placa eletrônica. Esses componentes embora estejam submetidos a um mesmo processo de produção, ainda podem sofrer variações significativas no consumo de energia elétrica.

Variações de consumo de energia muito altas podem causar comportamentos indesejados ou até danos permanentes a um produto. Este trabalho apresenta as ferramentas da metodologia Six Sigma combinadas a um estudo das causas que podem levar uma placa eletrônica a apresentar falhas de sobrecarga. Em seguida, o conhecimento obtido é utilizado para tomar decisões seguras para coibir ocorrência do problema, evitando gastos de troca de produtos em garantia e visitas técnicas.

## 1.1. OBJETIVOS

Para resolver a problemática de coibir o desligamento indesejado de um refrigerador, propõe-se neste trabalho os seguintes objetivos.

### 1.1.1. Objetivo Geral

Utilizar o método Six Sigma para conhecer a fonte da variação de potência das cargas elétricas, como válvulas e resistências, a fim de validar o gerenciamento de potência, garantindo o fornecimento de corrente contínua sem que o produto sofra desligamentos indesejados.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

- Identificar quais fenômenos físicos podem alterar a impedância elétrica e realizar medições de potência nessas condições;
- Realizar a análise de capacidade utilizando dados que se aproximam de uma distribuição normal;
- Substituir os valores nominais da tabela de gerenciamento de potência por valores medidos nas configurações de maior consumo de energia elétrica;
- Identificar e resolver problemas de desligamento automático relacionados a itens fora de especificação utilizando soluções de baixo custo e que não atrasem o andamento do projeto.

## 2 MÉTODO SIX SIGMA

Este capítulo apresenta um breve histórico da origem do Six Sigma e sua interação com a indústria. Em seguida, são apresentadas as ferramentas da qualidade utilizadas para medir, analisar e tomar decisões. Por fim, introduz a metodologia de projeto DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve e Control – em português: Definir, Medir, Analizar, Melhorar e controlar).

### 2.1 HISTÓRICO

Segundo Allen (2006), o movimento que deu origem ao Six Sigma iniciou no final da década de 70, enquanto a Motorola enfrentava um problema de alta rejeição de produtos devido a problemas de qualidade de CIs (circuitos integrados). Nos anos oitenta, a Motorola utilizou métodos formais e técnicas de solução de problemas para diminuir a quantidade de falhas em seus produtos, essa ação gerou impacto positivo devido à redução de custo na ordem de milhões de dólares.

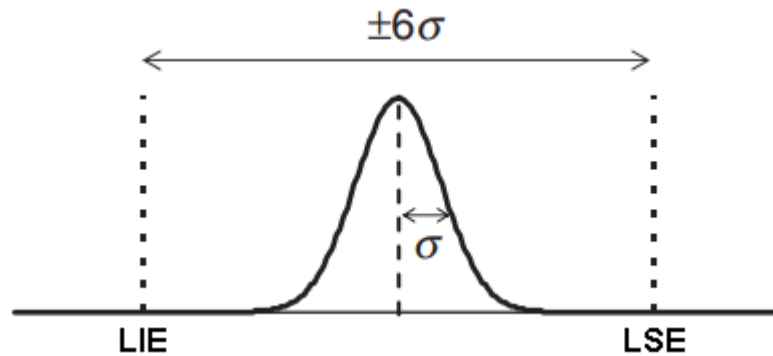
O Six Sigma foi popularizado como uma filosofia de melhoria de negócios, visto que o conhecimento inicialmente gerava impactos por melhoria de qualidade (MARINS; SOUZA; TERRA, 2009). Para Santos e Martins (2008), níveis altos de qualidade reduzem desperdícios de dinheiro e tempo, que podem ser ocasionados por peças NC (não conformes) que serão descartadas, número de OS (ordens de serviço) de manutenção, retrabalho ou trocas de produtos que apresentaram defeito durante o prazo de garantia.

De acordo com Kwak (2006), o Six Sigma é uma abordagem baseada em projetos que promove melhoria contínua dos processos e produtos de uma organização por meio da redução de desperdícios e da variação no processo de produção, implicando na afirmativa de que quanto maior a qualidade desejada, maior a necessidade de diminuir a variação do processo.

A origem do nome do método vem da letra grega sigma ( $\sigma$ ), usada na estatística como símbolo para o desvio padrão. O nível sigma é atribuído de acordo com o número de desvios padrão entre a média das medições e o limite máximo desejado para a medida de uma determinada grandeza (ver figura 1). Para cada desvio padrão, um nível sigma. Quanto maior o nível sigma, menor a probabilidade de medições

futuras ultrapassem os limites desejados, conhecidos como LSE (Limite Superior de Especificação) e LIE (Limite Inferior de Especificação) (SLEEPER, 2006).

Figura 1 – Six sigma representado pelo desvio padrão



Fonte: Adaptado de Sleeper (2006)

A Motorola levantou dados organizacionais como número de OS e peças não conformes e comparou com demais empresas do mercado americano reconhecidas de acordo com o nível de satisfação dos clientes. Ao atribuir um nível de sigma para esses valores, foi constatado que empresas consideradas médias possuíam um indicador defeitos por milhão de oportunidades (DPMO) entre 3000 e 10000, o que equivale a um nível de sigma entre 3 e 4. As empresas consideradas como as melhores do mercado possuem um DPMO de 3,4, o que indica um desempenho de nível seis sigmas (MARINS et al., 2009).

A Tabela 1 mostra o nível de sigma e seu impacto em qualidade em DPMO, também pode ser representado como porcentagem de itens defeituosos.

Tabela 1 – DPMO por nível sigma

Nível Sigma	DPMO	Rendimento (%)
3 $\sigma$	66 807	93,32%
4 $\sigma$	6 210	99,38%
5 $\sigma$	233	99,97%
6 $\sigma$	3,44	99,99966%

Fonte: Coutinho (2020, p. 1)



## 2.2 PROFISSIONAIS SIX SIGMA

Segundo Kubiak e Benbow (2009), aquele que conduz o processo de encontrar a solução de um problema é visto como um líder dentro do Six Sigma. O líder é encarregado de montar um time de projeto, alocar recursos humanos para auxiliar na análise dos dados e requisitar recursos materiais para realizar as medições (KUBIAK; BENBOW, 2009).

Em 1995, o diretor executivo da General Electric, Jack Welch, contratou a Six Sigma Academy para auxiliar em seus treinamentos de resolução de problemas. Welch percebeu que o Six Sigma seria melhor aproveitado como um pilar cultural da empresa, onde os envolvidos no processo realizassem seus trabalhos pensando em como colaborar com a implementação da ferramenta em suas rotinas de trabalho. Em função disso, funcionários de todos os níveis da companhia receberam treinamento da metodologia (ALLEN, 2006).

De acordo com Kubiak e Benbow (2009), o profissional Six Sigma possui um título Belt baseado em seu nível de treinamento, assim como os atletas de karatê, também há nomenclaturas para aqueles que contribuem com a implementação do processo e para os próprios donos do processo:

- **Yellow Belt:** Possui conhecimento superficial sobre o método e pode participar de projetos Six Sigma.
- **Green Belt:** Profissional que mantém sua função principal na empresa, mas possui conhecimentos aprofundados sobre o método, sendo capaz de conduzir projetos seguindo a ferramenta quando necessário.
- **Black Belt:** Profissional que possui conhecimento aprofundado do método, preparado para trabalhar com projetos Six Sigma em tempo integral, priorizando projetos com maior impacto financeiro. É recomendado que aproximadamente 1% dos empregados de uma empresa tenham esse título e exerçam essa função.
- **Master Black Belt:** Especialista em estatística e no uso do método, além de ter grande conhecimento em demais áreas. Alinha o portfólio de projetos Six Sigma com a estratégia de negócio. Realiza o treinamento dos demais Belts e emitem suas certificações.

- **Champion:** Profissional, geralmente um gestor, que apoia e facilita o uso do método durante os projetos, fornece recursos para aqueles que estão trabalhando em projetos que utilizam a ferramenta.
- **Process Owner:** Aqueles que estão envolvidos na tomada de decisão referente as melhorias sugeridas pelo time de projeto. Em geral, são abertos a mudanças, mas precisam estar seguros e serem convencidos com evidências claras de que a mudança terá impacto positivo pois assim como a tradução do nome sugere, são os donos do processo e respondem diretamente por ele.

## 2.3 FERRAMENTAS DA QUALIDADE

Nesta seção são apresentadas as ferramentas utilizadas na fase de planejamento e aplicação do projeto.

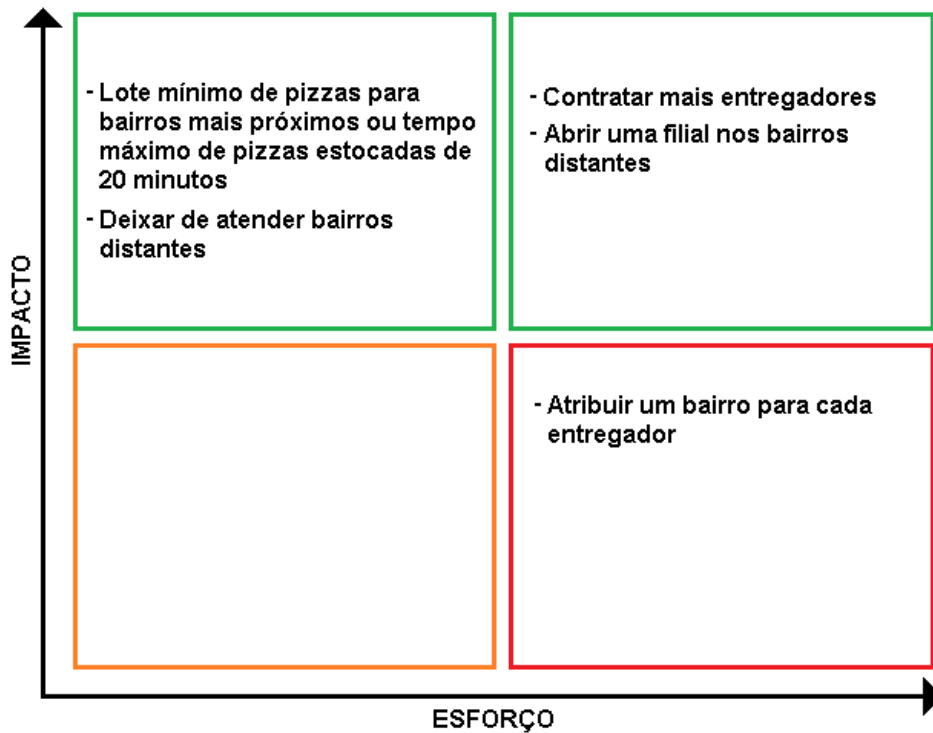
### 2.3.1 Brainstorm

Feito junto do time de projeto, os integrantes são convidados a listar as possíveis causas de um defeito, pontos a serem estudados ou possíveis soluções. Inicialmente, todas as ideias são bem vindas e não é avaliada a viabilidade ou qualidade de um palpite. Finalizada a etapa de coleta de ideias, os itens levantados são avaliados e é levado em consideração os mais promissores (NOGUEIRA, 2020). Os itens selecionados durante o Brainstorm são utilizados para alimentar o diagrama de impacto/esforço.

### 2.3.2 Diagrama de Impacto x Esforço

Segundo Antony, Vinodh e Gijo (2016), é um diagrama utilizado para classificar as possíveis soluções para um problema de acordo com a dificuldade de implementação e o quão significativo será seu impacto. Utilizado quando o Brainstorm fornece várias soluções possíveis e o time de projeto busca refinar ainda mais essas ideias. O ideal é buscar por soluções de alto impacto que demandam o menor esforço, em segundo lugar, soluções de alto impacto e alto esforço. As soluções de elevada complexidade e baixo retorno devem ser evitadas.

Figura 2 – Exemplo de diagrama de Impacto x Esforço



Fonte: Autor (2021)

Para montar a matriz é necessário um plano com dois eixos, um para impacto e outro para esforço, e alocar cada ideia em uma posição escolhida pelos integrantes do time. Como exemplo, a figura 2 mostra um de diagrama de impacto x esforço para organizar as propostas para a melhoria de tempo de entrega de um delivery de pizzas fictício, onde não há implementado nenhum tipo de medida de otimização de tempo.

### 2.3.3 Cartas de controle de variáveis

As cartas de controle, segundo Antony, Vinodh e Gijo (2016), foram introduzidas por Walter Shewart nos anos 1920, trata-se de uma ferramenta utilizada para verificar se os dados do processo estão em controle estatístico, ou seja, se os dados representam uma mesma distribuição de probabilidade ao longo do tempo, com dados colhidos em uma frequência de amostragem capaz de observar as variações do processo. Também são utilizados para identificar se a variação do processo é de causa comum (VCC) ou de causa especial (VCE), também conhecidas, respectivamente, como ruídos de processo e desvio de processo. Nessa ferramenta, não é levado em consideração os limites de especificação do processo. Para

classificar um conjunto de medições quanto a estabilidade, os dados medidos devem estar dentro dos limites de controle, que correspondem a seis sigmas de variação.

Uma das cartas de controle é a X barra R, utilizada quando é possível fazer mais de uma medição por amostra. A carta R (Range) examina a variação dentro do subgrupo. É formada plotando os valores das diferenças entre maior e menor valor medidos em cada amostra e possui limites superiores e inferiores de controle (LSC e LIC) definidos pelas equações 1 e 2 abaixo, onde  $D_3$  e  $D_4$  são constantes tabeladas de ajuste baseadas no número de medições por amostra ou tamanho de subgrupo e  $\bar{R}$  é a média das amplitudes (MCNEESE, 2011).

$$LIC_R = D_3 \bar{R} \quad (1)$$

$$LSC_R = D_4 \bar{R} \quad (2)$$

A carta X barra (média) examina a variação entre os subgrupos e é construída com a média das medições das amostras. O LIC e o LSC são diretamente proporcionais a média das amplitudes e são calculados pela formula 3, onde  $A_2$  é uma constante tabelada de acordo com o tamanho do subgrupo,  $\bar{X}$  é a média das medições e  $\bar{\bar{X}}$  é a média das médias das medições (MCNEESE, 2011).

$$LC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} \pm A_2 \bar{R} \quad (3)$$

Tabela 2 - Dados para a construção da Carta X barra R

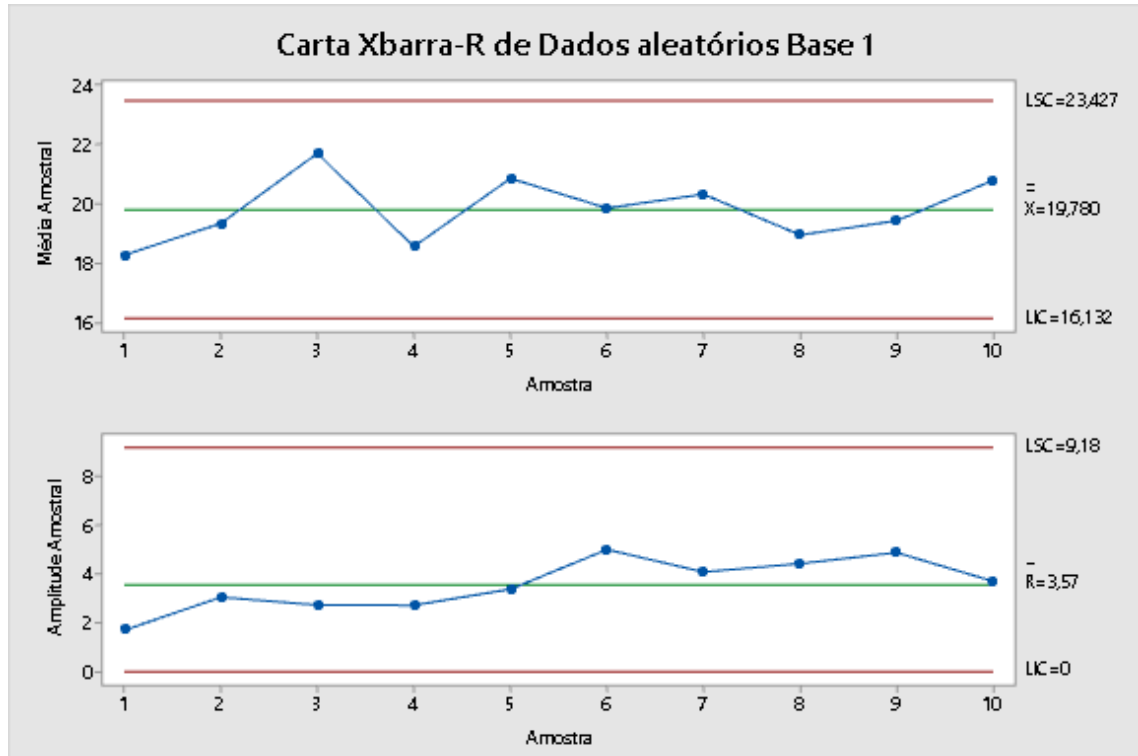
Subgrupo	Medida	Medida	Medida	Subgrupo	Medida	Medida	Medida
	1	2	3		1	2	3
1	17,19	18,69	18,88	6	20,04	22,21	17,21
2	17,84	19,20	20,89	7	22,62	19,70	18,54
3	20,43	21,37	23,16	8	19,78	20,71	16,28
4	18,42	17,24	19,96	9	21,69	19,69	16,81
5	22,23	18,85	21,36	10	23,06	19,84	19,36

Fonte: Autor (2021)

A figura 3 mostra uma carta de controle X barra R construída no software de análise estatística Minitab utilizando dados aleatórios (tabela 2), com tamanho de

subgrupo igual a três. Para esse tamanho de subgrupo, os valores de  $A_2$ ,  $D_3$  e  $D_4$  segundo Howard (2003) são, respectivamente, 1,023, 0 e 2,574.

Figura 3 – Carta X barra R



Fonte: Autor (2021)

Em ensaios de natureza destrutiva ou quando é difícil realizar mais de uma medida em cada amostra, é utilizada a carta para dados individuais I-AM. A carta AM mede a variação de curto prazo, é construída utilizando a amplitude entre dados consecutivos, possui LSC calculado pela fórmula 4 (para dois dados consecutivos), onde  $\overline{AM}$  é a média das amplitudes móveis (MCNEESE, 2011).

$$LSC_{AM} = 3,267(\overline{AM}) \quad (4)$$

A carta I examina a variação do processo a longo prazo, onde cada valor da carta I é o próprio valor da medição da amostra. Os limites de controle (LC) para dois dados consecutivos são calculados pela fórmula 5 (MCNEESE, 2011).

$$LC_X = \bar{X} \pm 3 \left( \frac{\overline{AM}}{1,128} \right) \quad (5)$$

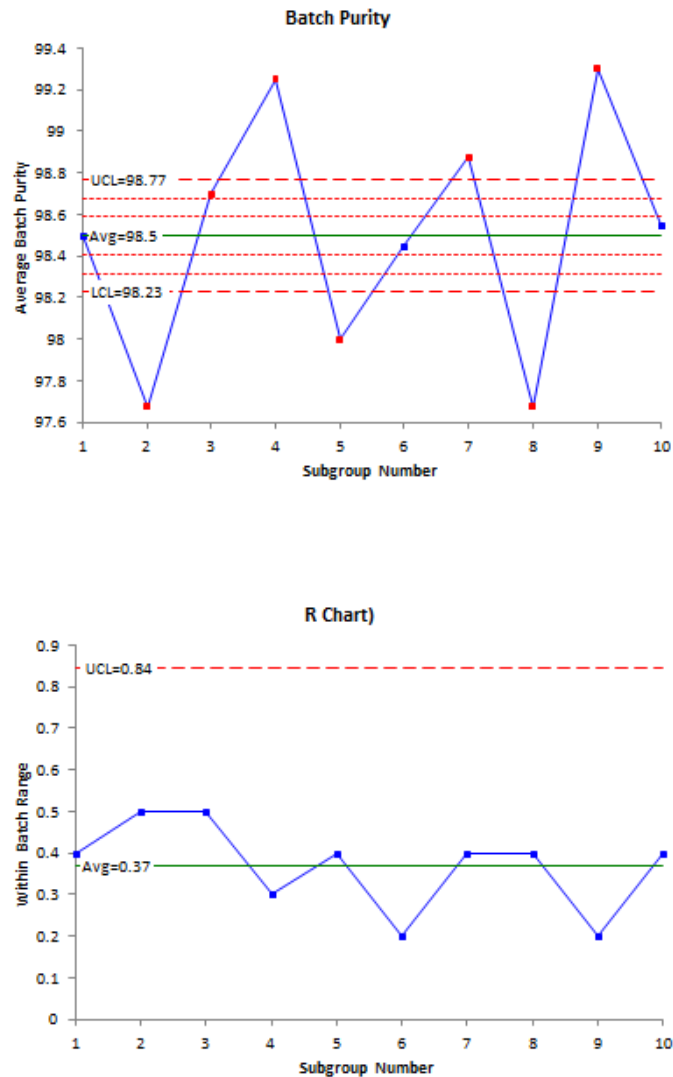
Como é possível observar na fórmula 3, os limites de controle da carta X barra são diretamente proporcionais a média das variações dentro dos subgrupos ( $\bar{R}$ ), isso significa que se a variação das medidas das amostras for muito baixa em comparação com a variação entre as amostras, os limites de controle da carta X barra ficarão muito pequenos e quase todos os dados serão encontrados fora dos limites de controle, acusando que o processo está fora de controle estatístico, conforme figura 4, que mostra a construção da carta de controle X barra R com os dados da tabela 3.

Tabela 3 - Dados para a construção da carta X barra R

Subgrupo	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	$\bar{X}$	R
1	98.4	98.6	98.3	98.7	98.5	0.4
2	97.5	97.6	98.0	97.6	97.7	0.5
3	98.8	98.9	98.4	98.7	98.7	0.5
4	99.1	99.3	99.4	99.2	99.3	0.3
5	97.8	98.0	98.2	98.0	98.0	0.4
6	98.3	98.5	98.5	98.5	98.5	0.2
7	98.9	99.0	98.6	99.0	98.9	0.4
8	97.5	97.7	97.6	97.9	97.7	0.4
9	99.3	99.3	99.2	99.4	99.3	0.2
10	98.5	98.7	98.7	98.3	98.6	0.4

Fonte: Adaptado de McNeese (2011)

Figura 4 – Carta X barra R fora dos limites de controle

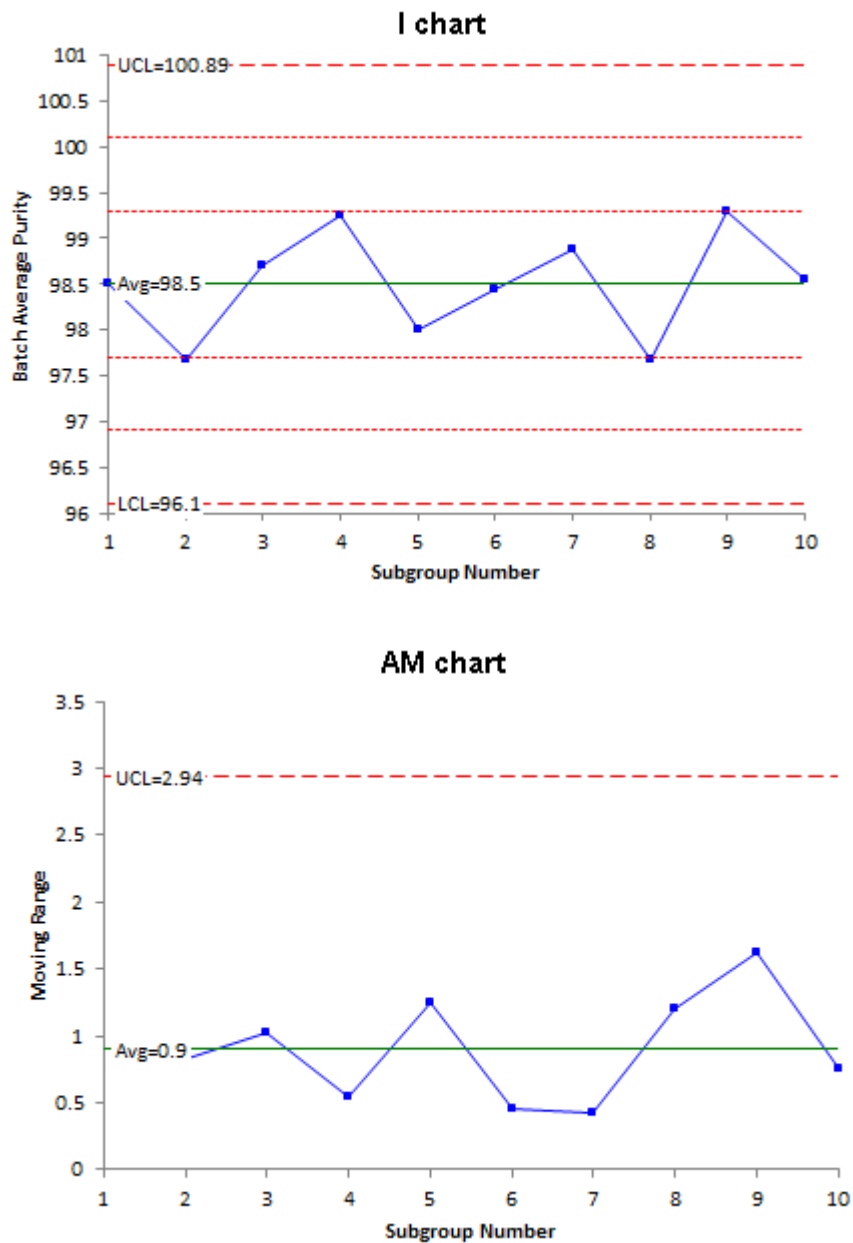


Fonte: McNeese (2011, p. 1)

Ainda segundo McNeese (2011), em situações onde a carta X barra R conclui apenas que a variação está entre as amostras, a melhor abordagem é avaliar a variação dentro da amostra, mantendo a carta R, a variação do processo, calculada pela carta I tendo como entrada de dados individuais as médias das amostras e a variação entre as amostras, calculada pela carta AM.

A figura 5 mostra a carta I-AM calculada com as médias das amostras. Nela é possível perceber que o processo é estável.

Figura 5 – Carta I-AM construída com as médias dos subgrupos



Fonte: Adaptado de McNeese (2011)

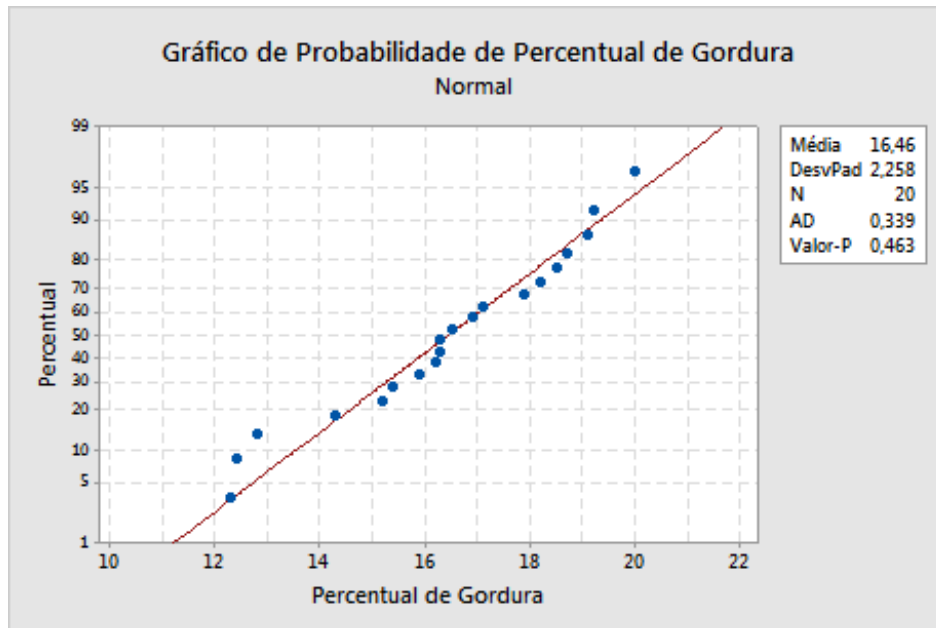
### 2.3.4 Teste de normalidade de Anderson-Darling

Ferramenta utilizada para verificar se os dados seguem uma distribuição normal. O teste compara os dados medidos com os valores esperados para uma distribuição normal. Em um teste de normalidade, as hipóteses são:  $H_0$ , os dados seguem uma distribuição normal e  $H_1$ , os dados não seguem uma distribuição normal. Os dados utilizados devem ser aleatórios e ter no mínimo 20 amostras para aumentar o poder do teste, evitando o erro do tipo 2, onde  $H_1$  é verdadeira, porém é rejeitada.



Para considerar  $H_0$ , o indicador Valor-P deve ser maior que 0,05 (VISÃO GERAL, 2020). A figura 6 mostra o exemplo de um teste de normalidade para 20 dados feito no Minitab.

Figura 6: Teste de normalidade



Fonte: Visão geral (2020, p.1)

### 2.3.5 Análise de capacidade

Embora os dados estejam sob controle estatístico após os testes das cartas de controle, não necessariamente o processo está em conformidade. Em outras palavras, o processo pode variar pouco, mas sua média pode estar fora dos limites de especificação. (MORGAN; JONES, 2011).

O estudo da capacidade do processo, também conhecido como análise de capacidade (do inglês, capability), é considerada como uma das mais importantes análises do método Six Sigma, pois mede a capacidade do processo se adequar aos limites de especificação. Diferente dos limites das cartas de controle, que são calculados, os limites de especificação são definidos durante o projeto do produto Costa, Eprecht e Carpinetti (2005).

Werkema (2012) afirma que além de ser necessário que os dados estejam sob controle estatístico, a análise assume que os dados possam ser aproximados por uma distribuição normal. Os índices de capacidade são medidos com base na

centralização entre os limites de especificação e no desvio padrão. Uma avaliação pode ser feita com base no número de desvios padrão entre a média e os limites de especificação (nível sigma) ou com base no índice  $C_{pk}$  (fórmula 6) onde  $\mu$  é a média do processo e  $\sigma$ , o desvio padrão. Um processo considerado razoável possui  $C_{pk}$  maior que 1 e acima de 1,33, o processo é considerado como capaz.

$$C_{pk} = \min\left(\frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LIE}{3\sigma}\right) \quad (6)$$

A análise de capacidade pode ser observada por indicadores globais e indicadores potenciais. Os indicadores globais representam o comportamento real do processo ao longo do tempo, enquanto que os indicadores potenciais ignoram as diferenças entre subgrupos, ilustrando um cenário ideal, onde não houvesse desvios e deslocamentos entre grupos (UMA COMPARAÇÃO, 2021).

### 2.3.6 Planejamento de experimentos

A aplicação do DOE (Design of Experiments – Planejamento de Experimento) é utilizada para definir o plano de testes (diagrama de relações dos fatores) baseado nos fatores que são candidatos a influenciar diretamente a variação de um processo ou produto. O conhecimento adquirido permite implementar soluções para diminuir a variação e aumentar a qualidade do produto manipulando os fatores mais significativos. Não necessariamente precisa ser utilizado quando há um problema recorrente e se for aplicado durante um novo projeto, pode reduzir o tempo e custo de execução (IWANKIO, 2019).

## 2.4 DMAIC

Para Sleeper (2006), o foco principal de um processo produtivo é garantir equilíbrio entre qualidade de peças produzidas e custo de operação. Ferramentas estatísticas permitem um bom uso de informações disponíveis para obter as respostas que levam o time de projeto na direção desse objetivo. O uso dessas ferramentas é guiado pela metodologia DMAIC, sigla para as fases Define (definir), Measure (medir), Analyze (analisar), Improve (melhorar) e Control (controlar).

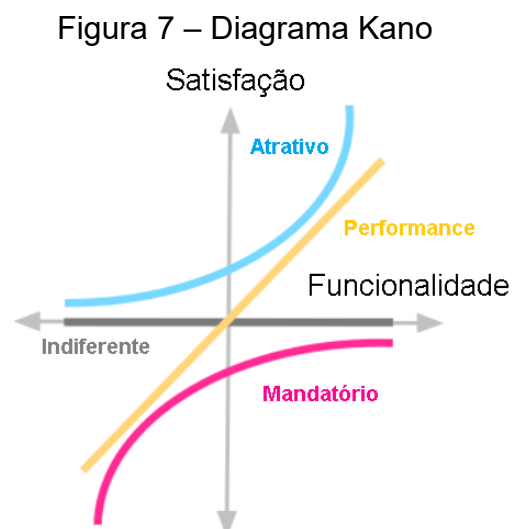
### 2.4.1 D - Define

Segundo Werkema (2012), essa etapa busca montar o time de projeto, composto por profissionais Belt, definir o escopo do projeto a ser trabalhado, o problema que será resolvido, quais processos estão relacionados ao problema e seu impacto.

Uma vez definido o time e escopo de projeto, na sequência são atribuídas as tarefas a cada membro, prazo e as entregas esperadas, formalizados por um documento chamado Project charter, também conhecido como Termo de Abertura de Projeto (ALLEN, 2006).

Apesar de ser muito difundido nas literaturas, o Project charter tem a prioridade de ajudar o time de projeto, não a de atrapalhar, implicando que o documento deve conter apenas o que for julgado como necessário por quem o elaborou.

É importante que o projeto esteja de acordo com as expectativas do cliente, que pode ser definido como o consumidor de um produto ou um subsistema de uma empresa. Na perspectiva de Pande, Neuman e Cavanagh (2000), o projeto deve começar pensando no sucesso do cliente em primeiro lugar. Uma boa maneira de alinhar essas expectativas é utilizando o diagrama de Kano ou diagrama de Satisfação e Funcionalidade onde, segundo Zacarias (2020), o cliente ficará extremamente satisfeito ao ser surpreendido com uma novidade positiva não prevista e extremamente frustrado se um atributo padrão não estiver presente. O Diagrama Kano é observado na figura 7.



Fonte: Adaptado de Zacarias (2020)

### 2.4.2 M - Measure

De acordo com Antony, Vinodh e Gijo (2016), é importante fazer um levantamento das entradas, saídas e etapas de um processo. Não necessariamente um fornecedor, matéria prima, mão de obra ou máquina é o culpado por uma falha no processo, mas ter essas informações em evidência auxilia o time de projeto na análise preliminar e permite que definam um plano de testes com base nos fatores candidatos a serem causas de variações significativas.

A coleta dos dados deve ser feita de forma que seja possível garantir que as medidas obtidas representem a realidade, pois os melhores métodos de análise são inúteis se os dados não forem suficientemente precisos e exatos comparados a seus valores reais. Medidas que evitam esse tipo de problema envolvem ter um bom plano de testes, podendo utilizar uma árvore de amostragem ou um diagrama de relação de fatores, manter o equipamento de medição calibrado através de comparação com medidas padrão, ter um procedimento de medição bem definido, dados estatisticamente significativos, entre outros (KUBIAK; BENBOW, 2009).

A integridade dos dados obtidos quanto a sua significância estatística para futuras análises são garantidos ao aplicar os métodos vistos anteriormente: cartas de controle, teste de normalidade e análise de capacidade.

### 2.4.3 A - Analyze

Uma solução robusta deve se manter longe de medidas paliativas. Para Werkema (2012), o objetivo desta etapa é identificar a causa raiz do problema que foi identificado na fase Define, não os sintomas. Isso é feito examinando os dados coletados na etapa Measure buscando pistas sobre quais são os fatores (x) introduzem variações que causam o problema (Y).

Algumas das ferramentas que podem ser utilizadas na fase de análise, segundo Chiarini (2012) são:

- Gráfico de Pareto
- Regressão linear
- Diagrama de causa e efeito
- Teste de hipótese

Neste trabalho, a análise dos dados será feita em combinação com a planilha de gerenciamento de potência, ferramenta específica utilizada nesse projeto que identifica possíveis falhas por sobrecarga de uma fonte CC (corrente contínua) com base nos valores nominais de consumo de potência dos componentes.

#### **2.4.4 I – Improve**

Tendo conhecimento das causas potenciais do problema, a próxima etapa é gerar ideias de soluções em potencial, iniciando pela ferramenta Brainstorm, em seguida, filtrá-las e classificá-las para preencher a matriz de impacto x esforço, testar as modificações em um teste piloto e, se a mudança for significativa, implementar a mudança em larga escala (WERKEMA, 2012).

#### **2.4.5 C – Control**

Após implementar e validar a mudança, é necessário avaliar o impacto financeiro e garantir que o problema não volte a acontecer. Segundo Werkema (2012), algumas ações a serem tomadas na etapa control são:

- Padronizar as alterações realizadas no processo;
- Difundir a informação entre os envolvidos;
- Realizar treinamentos para operar o novo processo;
- Definir como os resultados da melhoria serão monitorados;
- Manter o conhecimento documentado;
- Definir os possíveis trabalhos futuros.

Chiarini (2012) ainda acrescenta que é importante celebrar os resultados positivos ao finalizar o projeto.

### 3 IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO

Durante a fase de projeto do refrigerador, foram definidas suas funcionalidades e em seguida especificadas as cargas elétricas necessárias que as atendem. Após a definição das cargas elétricas a serem utilizadas e a escolha da fonte de alimentação para as cargas CC, é necessário verificar se a mesma é capaz de fornecer a potência necessária em todas as condições de operação do refrigerador. As condições de operação são os momentos em que, por exemplo, as luzes LED estão ligadas, a forma de gelo automática está em operação, o compressor está ligado, entre outros.

O gerenciamento de potência, conforme introduzido na fundamentação teórica, é uma ferramenta interna da organização utilizada em cada eletrodoméstico que possui uma fonte CC, onde são listadas todas as cargas elétricas ativadas em cada uma das condições de operação do refrigerador e em seguida é feita a soma da potência nominal individual de cada carga com o objetivo de verificar se a fonte CC de 12,7V e 30W é capaz de acionar as cargas elétricas sem sofrer danos ou comportamentos indesejados, como desligamento automático. A figura 8 mostra o gerenciamento de potência considerando os cenários que consomem mais energia.

Figura 8 – Gerenciamento de potência

NOME DA CARGA	POTÊNCIA	Refrigeração normal, resistências DC ligadas	Colheita de gelo	Enchimento do ice maker	Dispensamento de gelo	Dispensamento de água
RELES		2.25	2.90	4.45	4.45	2.50
CARGAS DC		9.94	13.23	13.23	13.23	5.77
RC LIGHT	1.097	0	2	2	2	0
FC LIGHT	1.097	0	1	1	1	1
FC EVAP FAN	4.672	1	1	1	1	1
MOTOR VENTILADOR ICE MAKER	5.264	1	1	1	1	0
		18.96	15.06	9.57	9.57	20.54
CIRCUITO INTERNO	0.026	1	1	1	1	1
MICROCONTROLADOR	0.241	1	1	1	1	1
BUZZER	0.070	1	1	1	1	1
CIRCUITO INTERNO	0.000	1	1	1	1	1
CIRCUITO INTERNO	0.020	1	1	1	1	1
SENSOR	0.000	1	1	1	1	1
CIRCUITO INTERNO	0.009	1	1	1	1	1
SENSOR	0.032	1	1	1	1	1
LED	0.826	1	1	1	1	1
LED	0.765	1	1	1	1	1
R. BATENTE MÓVEL	8.192	1	0	0	0	0
R. DUTO DE PORTA	2.095	1	0	0	0	0
R. TUBO DE ENCHIMENTO	3.334	1	1	1	1	1
VÁLVULA ENTRADA DE ÁGUA	10.967	0	0	0	0	1
R. DISPENSADOR	3.345	1	0	0	0	0
ICE MAKER	5.484	0	1	0	0	0
MOTOR DE PASSO PORTA GELO	4.251	0	1	1	1	1
<b>POTÊNCIA TOTAL</b>		<b>31.15</b>	<b>33.38</b>	<b>29.45</b>	<b>29.45</b>	<b>28.81</b>

Fonte: Autor (2021)

Com o objetivo de assegurar que a fonte seja robusta em termos de fornecimento, o engenheiro responsável por realizar o gerenciamento de potência seguiu o procedimento comum da ferramenta e fez os cálculos de potência considerando a variação de potência de acordo com o LSE informado pelo fabricante de cada componente e acrescentou 10% como fator de segurança.

Ao analisar o gerenciamento de potência, é observado que há dois cenários cuja soma de potência das cargas ativas ultrapassam 30W e os demais cenários chegam muito próximos a esse valor. Em situações que a soma das potências fica abaixo de 95% (28,5W) da potência nominal não é necessária nenhuma ação corretiva durante o projeto. Quando a soma de potência se encontra entre 95% e 99,99% esses cenários são observados com atenção e entre 100% e 110% surgem questionamentos em torno do fator de segurança utilizado. Acima de 110% são estudadas mudanças imediatas nos modos de operação do produto. Se essa mudança não for possível, é necessário realizar trocas de componentes ou até mesmo da fonte. Por gerar retrabalho no projeto essa solução é evitada sempre que possível.

Para saber se o fator de segurança utilizado está indicando um problema que na prática não existe ou se realmente há um problema em potencial, é necessário medir as cargas para ter conhecimento da variação do consumo de potência elétrica, a fim de confirmar se os valores informados pelo fabricante estão em conformidade. Como procedimento padrão da empresa, quando o andamento das atividades depende de análises que envolvem medições e estatística, o gerenciamento de potência é combinado com o método Six Sigma.

O estudo será realizado de acordo com as etapas do DMAIC. Na fase Define, serão escolhidos os integrantes do time de projeto, planejados os experimentos e os Process Owners são notificados. Na fase Measure, são realizadas as medições e verificada a qualidade dos dados. Na etapa Analyze, os dados são analisados utilizando ferramentas estatísticas. Na fase improve, são estudadas as formas de corrigir um possível problema. Por fim, na fase Control, é verificado se as melhorias propostas foram significativas e são tomadas medidas para que essas melhorias perdurem.

As ferramentas estatísticas, materiais, amostras e procedimentos de medição utilizados nesse trabalho são apresentados nas etapas do DMAIC no momento que são utilizados.

### 3.1 DEFINE

A partir da decisão de executar um projeto Six Sigma para entender o comportamento das cargas é escolhido os integrantes do time de projeto conforme a tabela 4.

Tabela 4 – Time de projeto

<b>Nível Belt</b>	<b>Formação</b>	<b>Função</b>
Black Belt	Engenheiro eletricista	Líder de projeto e Análise
Yellow Belt	Estagiário 1	Medição e Análise
Yellow Belt	Estagiário 2	Medição
Black Belt	Engenheiro mecânico	Process Owner

Fonte: Autor (2021)

O engenheiro eletricista representa os integrantes da área de sistemas elétricos e eletrônicos no projeto do refrigerador, nesse projeto lidera os Yellow belts e alinha possíveis mudanças necessárias com o engenheiro mecânico responsável pela área de refrigeração, identificada como principal afetada caso haja mudanças nas cargas ou comportamento do produto.

Em relação a recursos, como essa análise tem o objetivo de não atrasar a fase de prototipagem do projeto do refrigerador e nem gerar custos adicionais diretos, foram feitas medidas com as cargas elétricas em estoque que estavam disponíveis até a data de montagem do protótipo. O estagiário 1 era o encarregado direto pela tarefa de preparar as amostras para medição e análise e contou com o suporte do estagiário 2 na fase final das medições, quando havia pouco tempo até a montagem do protótipo ou quando o prazo para utilizar as câmaras de testes era curto.

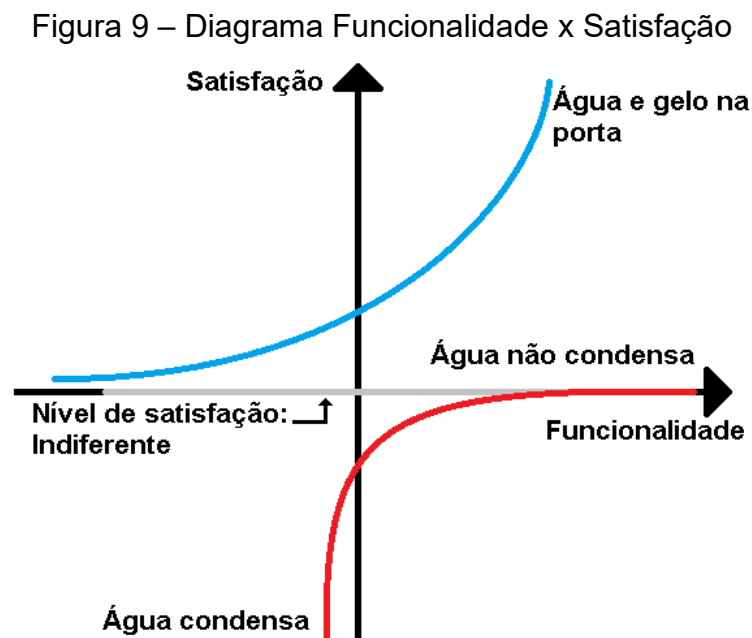
#### 3.1.1 Cargas elétricas do refrigerador

A seguir são apresentados os itens a serem medidos na fase Measure, junto com uma breve descrição de sua função e utilização no refrigerador.



### 3.1.1.1 Resistências de aquecimento

Em regiões do refrigerador onde encontra-se grandes gradientes de temperatura entre áreas adjacentes há risco de condensação, fenômeno físico indesejado devido a estética e risco de acidente causado por superfície escorregadia (chão molhado). A Figura 9 representa um diagrama de funcionalidade x Satisfação (Kano) para a função de água e gelo na porta. Apesar de o consumidor ficar muito satisfeito ao adquirir um refrigerador com essa função, ficará completamente frustrado caso presencie gotejamento de água.

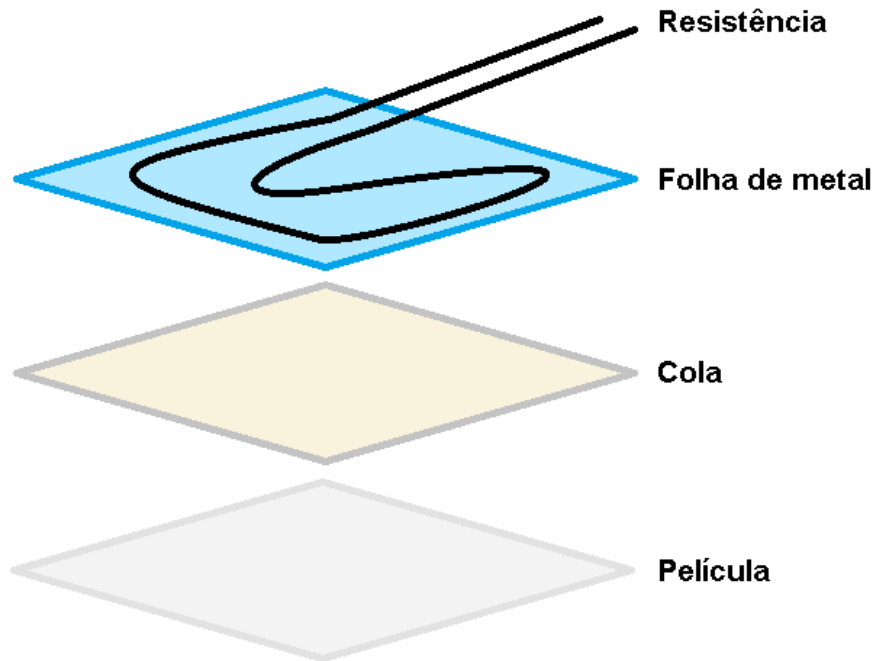


Fonte: Autor (2021)

Como forma de evitar o problema de condensação de umidade seguido por gotejamento de água são adicionadas resistências de aquecimento que são ligadas periodicamente. Também há uma resistência que impede que a água que abastece o consumidor e a forma de gelo congele.

As resistências que evitam condensação da umidade do ar são compostas por um resistor e uma folha metálica autoadesiva que auxilia na dissipação do calor. A parte colante da folha metálica é utilizada para fixar a resistência nas posições de interesse, conforme mostra a figura 10.

Figura 10 – Vista expandida da resistência de aquecimento.



Fonte: Autor (2021)

#### 3.1.1.1.1 Resistência do duto de ar gelado

A forma e depósito de gelo são localizados em um compartimento isolado dentro da porta superior esquerda do refrigerador, onde as temperaturas variam entre 1°C e 7°C. Para que a água congele na forma e para impedir a fusão do gelo do depósito, é necessário que o ar com temperatura negativa do compartimento congelador chegue até o compartimento isolado da porta. O “circuito” de ar é direcionado por um duto que é aberto no momento que a porta do refrigerador é aberta e fechado enquanto a porta do produto está fechada. No local da divisão do duto é posicionada uma resistência de aquecimento para evitar condensação seguida por congelamento de água, que poderia impedir a porta de abrir e fechar corretamente, comprometendo a qualidade do isolamento térmico e podendo resultar também em danos físicos ao produto. A figura 11 mostra a resistência do duto de ar gelado.

Figura 11 – Resistência do duto de ar gelado



Fonte: Autor (2021)

Conforme supracitado, a resistência é posicionada na união do duto de ar gelado. O valor da resistência elétrica está especificado em  $107,5 \Omega$ , com LIE de  $102,12 \Omega$  e LSE de  $112,87 \Omega$ .

#### 3.1.1.1.2 Resistência do dispensador

A resistência do dispensador, mostrada na figura 12, é posicionada entre o depósito de gelo e a parte externa do produto, a fim de evitar a condensação de água na região. A resistência está especificada em  $67,2 \Omega$ , com LIE de  $63,84 \Omega$  e LSE de  $70,56 \Omega$ .

Figura 12 – Resistência do dispensador



Fonte: Autor (2021)

### 3.1.1.1.3 Resistência do tubo de enchimento

O tubo de enchimento da forma de gelo está próximo o suficiente do duto de ar frio a ponto de congelar a água dentro do tubo e impedir o fluxo de água. A resistência é ligada periodicamente, para evitar o congelamento de água, e logo antes do enchimento programado da forma de gelo, para, de fato, garantir que não há água congelada.

Conforme mostra a figura 13, a resistência é fixada em volta do tubo em forma de espiral para garantir aquecimento uniforme ao longo do comprimento. O valor de resistência especificado é de  $67 \Omega$ , com LIE de  $64 \Omega$  e LSE de  $70 \Omega$ .

Figura 13 – Amostras da resistência do tubo de enchimento



Fonte: Autor (2021)

### 3.1.1.1.4 Resistência do batente móvel

A região do batente móvel (figura 14) devido a suas dimensões de largura e espessura reduzidas não é capaz de promover um isolamento térmico completo entre refrigerador e ambiente externo. Neste componente, a resistência está inserida dentro da peça.

Figura 14 – Batente móvel



Fonte: Autor (2021)

Removendo a conexão elétrica para desligar o resistor é possível ver na figura 15 a condensação de água na superfície.

Figura 15 – Condensação de água no batente móvel



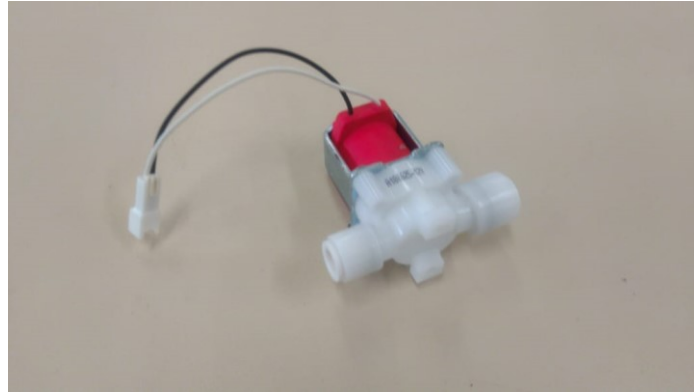
Fonte: Autor (2021)

### 3.1.1.2 Válvula de entrada de água

A válvula de entrada de água (figura 16), quando acionada, libera o fluxo de água proveniente da rede de abastecimento instalada na residência do consumidor. Pode ser acionada automaticamente ao encher a forma de gelo ou manualmente, quando o consumidor está abastecendo um recipiente com água. Essa carga deve ser sempre acionada quando solicitado pelo consumidor, exceto quando a porta do

produto está aberta. Possui potência máxima especificada de 10W quando a temperatura ambiente é 0°C e a fonte CC está em 13,97V (12,7V + 10% de variação).

Figura 16 – Válvula de entrada de água



Fonte: Autor (2021)

### 3.1.1.3 Ice maker

É composto por uma forma de gelo com uma das extremidades fixada a um motor elétrico e um sensor de temperatura. No momento que o processamento interno do microcontrolador sinaliza que há gelo pronto, o motor elétrico é acionado para girar a forma 160° de forma livre e, para completar o ciclo, mais 20° com a extremidade oposta ao eixo do motor travada, reproduzindo a torção feita em uma forma comum para desprender os cubos de gelo.

Figura 17 – Ice maker



Fonte: Autor (2021)

#### 3.1.1.4 Motor ventilador do Ice maker

Cria um fluxo de ar que é direcionado por um duto de ar até o compartimento isolado, onde está localizado o ice maker e o reservatório de gelo. Acionado sempre que o compressor está ligado, sua potência máxima especificada a  $-25^{\circ}\text{C}$  é de 5.3W.

Figura 18 – Motor ventilador



Fonte: Autor (2021)

### 3.2 MEASURE

Com o objetivo de verificar se os limites de especificação e os valores utilizados na tabela de gerenciamento de potência estão suficientemente próximos do valor real consumido pelas cargas, essas serão medidas nas condições extremas de temperatura e tensão elétrica de alimentação, fatores significativos na variação de potência de todas as cargas mencionadas nos tópicos acima. Serão medidas todas as amostras disponíveis de cada carga, provenientes de um lote único, produzido apenas para atender a montagem dos primeiros 30 protótipos. Estão disponíveis 30 unidades de cada tipo de resistência de aquecimento, 30 válvulas de entrada de água, 30 motores ventilador do ice maker e, devido a complexidade da medição que será abordada posteriormente, 1 unidade do Ice maker.

Após as medições, os dados são examinados para verificar se podem ser aproximados por uma distribuição normal, pré requisito para aplicar a análise de capacidade. Conforme supracitado, as amostras foram produzidas em lote único. Portanto, para seguir com as análises será assumido que as amostras são produzidas em um processo que está em controle estatístico e que a coleta de dados representa

o processo. De acordo com o capítulo 2.3.3, as cartas de controle medem processos ao longo do tempo, isso significa que as amostras para a medição devem ser coletadas variando turnos, lotes, etc. Portanto, as cartas de controle utilizadas neste trabalho não provam que o processo está em controle estatístico, ao invés disso, elas serão utilizadas nesse trabalho com os seguintes objetivos:

- Estimar os valores de média e desvio padrão para o processo de produção das cargas elétricas quando o refrigerador estiver em produção;
- Visualizar os efeitos das configurações de testes propostas no planejamento de experimentos nas medições de potência e resistência elétrica;
- Remover dados pontos discrepantes que podem causar ruídos na análise de capacidade.

### **3.2.1 Medições das resistências de aquecimento**

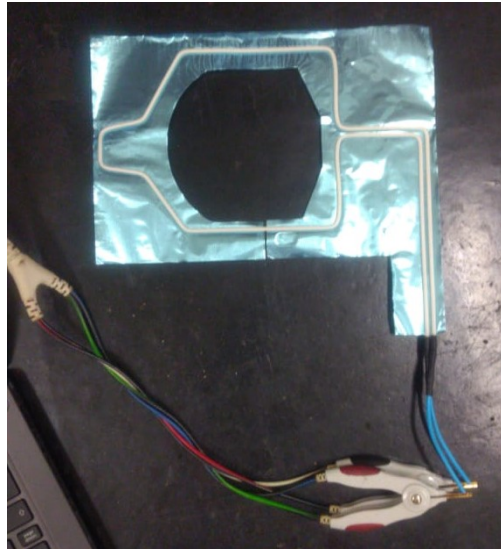
Como a resistência elétrica dos condutores utilizados nesse projeto variam em função da temperatura, as resistências de aquecimento foram medidas em temperatura ambiente e em temperatura negativa. Todas as resistências foram medidas três vezes para verificar a qualidade do sistema de medição ao aplicar a carta X barra R, utilizando o analisador de componente automático Chroma 3302, conforme procedimento descrito abaixo:

1. Prender os dois fios da amostra nos alicates do medidor de resistência elétrica;
2. Anotar o valor que aparece na tela do equipamento de medição;
3. Soltar o fio de um dos alicates e prender novamente em seguida;
4. Anotar o valor da resistência;
5. Soltar o fio segurado pelo outro alicate e prender novamente;
6. Anotar o valor da resistência;
7. Repetir o processo com a próxima amostra.

As medidas em temperatura ambiente foram realizadas em bancada de laboratório, em ambiente climatizado com temperatura de 24°C. Medições em temperaturas negativas foram feitas em câmara resfriada por nitrogênio líquido, configurada para -30°C. A figura 19 mostra a medição da resistência do dispensador.



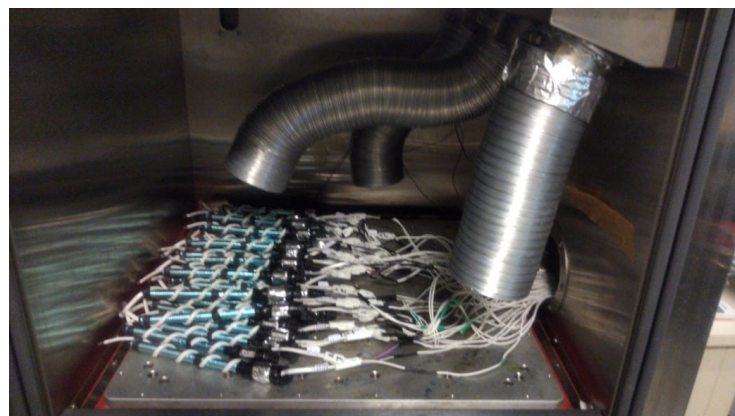
Figura 19 – Medição de resistência em temperatura ambiente



Fonte: Autor (2021)

Devido ao fato de que o operador de medição, amostra e equipamento de medição estão no mesmo ambiente, é relativamente fácil realizar as medições, basta seguir o procedimento descrito na página anterior. Para temperaturas negativas, as amostras não estão no mesmo ambiente que o operador e o equipamento, isso necessita que seja feito um pré trabalho antes, que envolve decapar cabos, fazer emendas para aumentar o comprimento dos cabos das amostras, etiquetar as amostras e isolar os cabos, consumindo aproximadamente 20 horas de trabalho. A figura 20 mostra as resistências do tubo de enchimento na câmara de temperatura negativa.

Figura 20 – Preparação para medição em temperatura negativa.



Fonte: Autor (2021)

Uma vez definida as condições de medição para as resistências, as medições são feitas. A seguir são mostrados os dados medidos para os quatro modelos citados no capítulo 3.1.1.1.

A Tabela 5 mostra os valores medidos da resistência ( $\Omega$ ) do duto de ar gelado para temperatura positiva.

Tabela 5 – Medições da resistência do duto de ar gelado T+

Amostra	Medida	Medida	Medida	Amostra	Medida	Medida	Medida
	1	2	3		1	2	3
1	107,452	107,454	107,460	16	109,345	109,346	109,350
2	107,613	107,643	107,616	17	108,630	108,628	108,632
3	107,889	107,888	107,883	18	107,837	107,860	107,878
4	107,836	107,833	107,864	19	108,458	108,478	108,489
5	107,507	107,493	107,463	20	108,495	108,486	108,475
6	107,142	107,178	107,185	21	108,562	108,560	108,552
7	107,790	107,751	107,785	22	107,254	107,229	107,242
8	107,729	107,725	107,716	23	108,942	108,944	108,952
9	106,730	106,703	106,701	24	107,300	107,303	107,318
10	107,668	107,664	107,662	25	107,885	107,889	107,896
11	106,922	106,921	106,897	26	107,067	107,074	107,081
12	107,101	107,107	107,102	27	107,894	107,899	107,895
13	107,409	107,409	107,405	28	107,746	107,748	107,752
14	106,129	106,137	106,146	29	107,641	107,640	107,639
15	108,476	108,472	108,476	30	107,547	107,549	107,554

Fonte: Autor (2021)

A Tabela 6 mostra os valores medidos da resistência ( $\Omega$ ) do duto de ar gelado para temperatura negativa.

Tabela 6 – Medições da resistência do duto de ar gelado T-

Amostra	Medida	Medida	Medida	Amostra	Medida	Medida	Medida
	1	2	3		1	2	3
1	106,662	106,690	106,678	16	108,654	108,691	108,672
2	107,089	107,069	107,124	17	107,599	107,593	107,586
3	107,344	107,363	107,432	18	106,145	106,178	106,150
4	106,522	106,519	106,513	19	106,772	106,848	106,811
5	106,609	106,606	106,605	20	108,250	108,192	108,207
6	106,970	107,037	107,064	21	108,166	108,180	108,166
7	107,280	107,271	107,275	22	107,022	106,940	106,969
8	106,759	106,712	106,778	23	107,841	107,847	107,940
9	106,482	106,513	106,457	24	106,937	106,966	106,969
10	107,725	107,738	107,710	25	107,086	107,170	107,181
11	107,271	107,284	107,295	26	106,561	106,567	106,561
12	107,289	107,312	107,299	27	107,094	107,105	107,103
13	107,110	107,095	107,061	28	107,428	107,441	107,488
14	106,805	106,811	106,838	29	107,547	107,546	107,538
15	108,065	108,057	108,076	30	106,091	106,083	106,070

Fonte: Autor (2021)

A Tabela 7 mostra os valores medidos da resistência ( $\Omega$ ) do tubo de enchimento para temperatura positiva.

Tabela 7 – Medições da resistência do tubo de enchimento T+

Amostra	Medida	Medida	Medida	Amostra	Medida	Medida	Medida
	1	2	3		1	2	3
1	67,063	67,060	67,063	16	68,477	68,474	68,477
2	67,058	67,056	67,064	17	67,017	67,019	67,015
3	68,191	68,192	68,191	18	66,667	66,663	66,662
4	66,306	66,312	66,310	19	66,390	66,387	66,386
5	67,716	67,716	67,719	20	69,453	69,451	69,453
6	68,499	68,492	68,502	21	67,166	67,168	67,169
7	67,151	67,150	67,154	22	66,850	66,852	66,853
8	67,031	67,032	67,034	23	67,410	67,409	67,411
9	67,130	67,133	67,129	24	66,721	66,723	66,726
10	66,980	66,977	66,977	25	67,467	67,477	67,473
11	68,708	68,709	68,711	26	66,460	66,461	66,463
12	67,150	67,153	67,151	27	66,685	66,688	66,682
13	66,952	66,952	66,954	28	67,417	67,416	67,414
14	67,810	67,808	67,805	29	66,888	66,887	66,886
15	66,746	66,746	66,749	30	68,409	68,412	68,407

Fonte: Autor (2021)

A Tabela 8 mostra os valores medidos da resistência ( $\Omega$ ) do tubo de enchimento para temperatura negativa.

Tabela 8 – Medições da resistência do tubo de enchimento T-

Amostra	Medida	Medida	Medida	Amostra	Medida	Medida	Medida
	1	2	3		1	2	3
1	66,494	66,452	66,451	16	66,880	66,849	66,787
2	66,449	66,371	66,377	17	66,661	66,617	66,598
3	67,346	67,291	67,284	18	66,311	66,330	66,325
4	66,021	65,984	65,976	19	66,112	66,144	66,136
5	67,052	67,056	67,053	20	66,647	66,624	66,598
6	67,504	67,460	67,411	21	66,934	66,936	66,942
7	66,761	66,669	66,656	22	66,197	66,168	66,158
8	66,537	66,535	66,544	23	67,047	67,039	67,041
9	66,650	66,608	66,586	24	66,394	66,391	66,343
10	66,629	66,746	66,740	25	66,921	66,822	66,852
11	66,222	66,173	66,139	26	66,363	66,349	66,302
12	67,104	67,085	67,084	27	66,572	66,564	66,564
13	66,490	66,488	66,487	28	66,754	66,709	66,684
14	67,212	67,183	67,185	29	66,566	66,574	66,528
15	66,891	66,987	66,970	30	67,436	67,441	67,482

Fonte: Autor (2021)

A Tabela 9 mostra os valores medidos da resistência ( $\Omega$ ) do dispensador para temperatura positiva.

Tabela 9 – Medições da resistência do dispensador T+

Amostra	Medida	Medida	Medida	Amostra	Medida	Medida	Medida
	1	2	3		1	2	3
1	66,908	66,911	66,918	16	66,728	66,719	66,717
2	66,854	66,851	66,854	17	67,420	67,427	67,442
3	67,549	67,569	67,555	18	67,530	67,519	67,506
4	66,628	66,615	66,618	19	67,191	67,187	67,188
5	66,527	66,522	66,510	20	67,119	67,106	67,109
6	65,988	65,986	65,985	21	66,943	66,939	66,942
7	67,242	67,247	67,246	22	66,873	66,870	66,860
8	67,261	67,270	67,249	23	67,442	67,435	67,437
9	66,879	66,878	66,881	24	70,752	70,738	70,758
10	67,544	67,543	67,544	25	67,083	67,084	67,087
11	67,056	67,057	67,058	26	66,732	66,729	66,722
12	66,915	66,918	66,925	27	67,574	67,578	67,580
13	66,671	66,678	66,677	28	67,824	67,825	67,824
14	66,546	66,551	66,562	29	67,148	67,144	67,146
15	67,274	67,272	67,268	30	67,143	67,147	67,154

Fonte: Autor (2021)

A Tabela 10 mostra os valores medidos da resistência ( $\Omega$ ) do dispensador para temperatura negativa.

Tabela 10 – Medições da resistência do dispensador T-

Amostra	Medida	Medida	Medida	Amostra	Medida	Medida	Medida
	1	2	3		1	2	3
1	66,514	66,513	66,534	16	66,113	66,139	66,136
2	66,582	66,568	66,560	17	66,993	66,930	66,976
3	67,129	67,176	67,119	18	66,913	66,910	66,949
4	66,239	66,292	66,277	19	67,115	67,147	67,113
5	66,591	66,572	66,587	20	66,581	66,589	66,595
6	65,477	65,483	65,483	21	66,607	66,608	66,590
7	66,985	66,992	66,983	22	66,720	66,744	66,729
8	67,022	67,037	67,013	23	66,398	66,395	66,391
9	66,571	66,562	66,575	24	70,346	70,343	70,340
10	67,035	67,035	67,032	25	66,888	66,892	66,884
11	66,696	66,686	66,690	26	66,376	66,359	66,338
12	66,083	66,139	66,118	27	67,156	67,150	67,128
13	66,287	66,259	66,256	28	67,275	67,293	67,288
14	66,260	66,223	66,229	29	66,633	66,634	66,620
15	66,362	66,382	66,377	30	66,752	66,758	66,761

Fonte: Autor (2021)

A Tabela 11 mostra os valores medidos da resistência ( $\Omega$ ) do batente móvel para temperatura positiva.

Tabela 11 – Medições da resistência do batente móvel T+

Amostra	Medida	Medida	Medida	Amostra	Medida	Medida	Medida
	1	2	3		1	2	3
1	25,211	25,222	25,220	16	25,922	25,920	25,930
2	25,563	25,576	25,550	17	26,363	26,353	26,367
3	25,571	25,561	25,572	18	25,970	25,961	25,969
4	26,640	26,648	26,641	19	26,171	26,166	26,164
5	26,188	26,185	26,195	20	25,334	25,343	25,341
6	25,411	25,412	25,431	21	25,692	25,703	25,688
7	25,700	25,699	25,697	22	25,693	25,694	25,693
8	25,910	25,922	25,919	23	25,854	25,843	25,851
9	25,645	25,655	25,673	24	25,462	25,460	25,449
10	25,770	25,780	25,773	25	25,770	25,761	25,778
11	25,390	25,379	25,377	26	24,927	24,929	24,949
12	25,600	25,600	25,603	27	25,386	25,383	25,388
13	25,411	25,429	25,428	28	25,439	25,432	25,447
14	25,586	25,585	25,576	29	25,617	25,613	25,611
15	25,950	25,954	25,958	30	25,418	25,422	25,415

Fonte: Autor (2021)



A Tabela 12 mostra os valores medidos da resistência ( $\Omega$ ) do batente móvel para temperatura negativa.

Tabela 12 – Medições da resistência do batente móvel T-

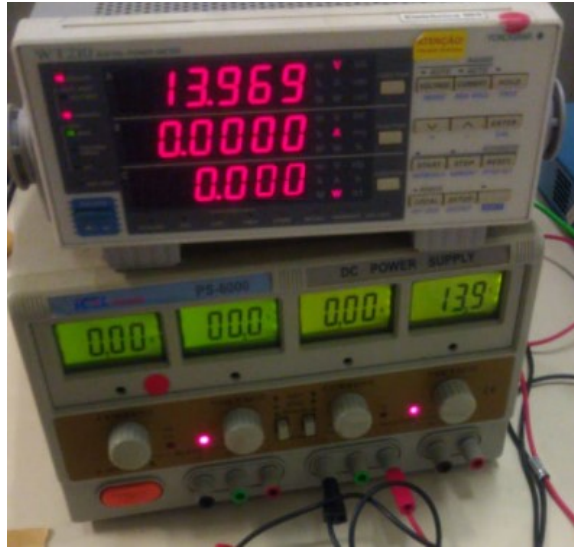
Amostra	Medida	Medida	Medida	Amostra	Medida	Medida	Medida
	1	2	3		1	2	3
1	24,212	24,218	24,222	16	24,924	24,928	24,919
2	24,611	24,610	24,612	17	25,326	25,328	25,322
3	24,604	24,610	24,604	18	25,126	25,124	25,122
4	25,056	25,063	25,068	19	25,285	25,287	25,283
5	25,188	25,181	25,184	20	24,368	24,360	24,360
6	24,413	24,427	24,424	21	24,713	24,720	24,711
7	24,676	24,677	24,674	22	24,665	24,667	24,660
8	24,769	24,770	24,770	23	24,872	24,870	24,869
9	24,655	24,660	24,652	24	24,472	24,470	24,471
10	24,792	24,795	24,795	25	24,700	24,715	24,714
11	24,494	24,488	24,488	26	23,964	23,968	23,966
12	24,666	24,665	24,665	27	24,363	24,363	24,365
13	24,513	24,514	24,521	28	24,499	24,499	24,500
14	24,624	24,631	24,627	29	24,584	24,586	24,583
15	24,976	24,971	24,972	30	24,438	24,423	24,422

Fonte: Autor (2021)

### 3.2.2 Medições da válvula e motor ventilador

Como não é da natureza dessas cargas esquentar rapidamente a ponto de alterar significativamente a temperatura das outras amostras inseridas na mesma câmara quando ligadas, a válvula de água e motor ventilador foram medidos utilizando um wattímetro, variando temperatura ( $25^{\circ}\text{C}$  e  $-30^{\circ}\text{C}$ ) e tensão elétrica ( $12,7\text{Vcc} \pm 10\%$ ). A figura 21 mostra o equipamento de medição e a fonte configurada para  $13,9\text{Vcc}$ , tensão elétrica máxima utilizada para alimentar as cargas.

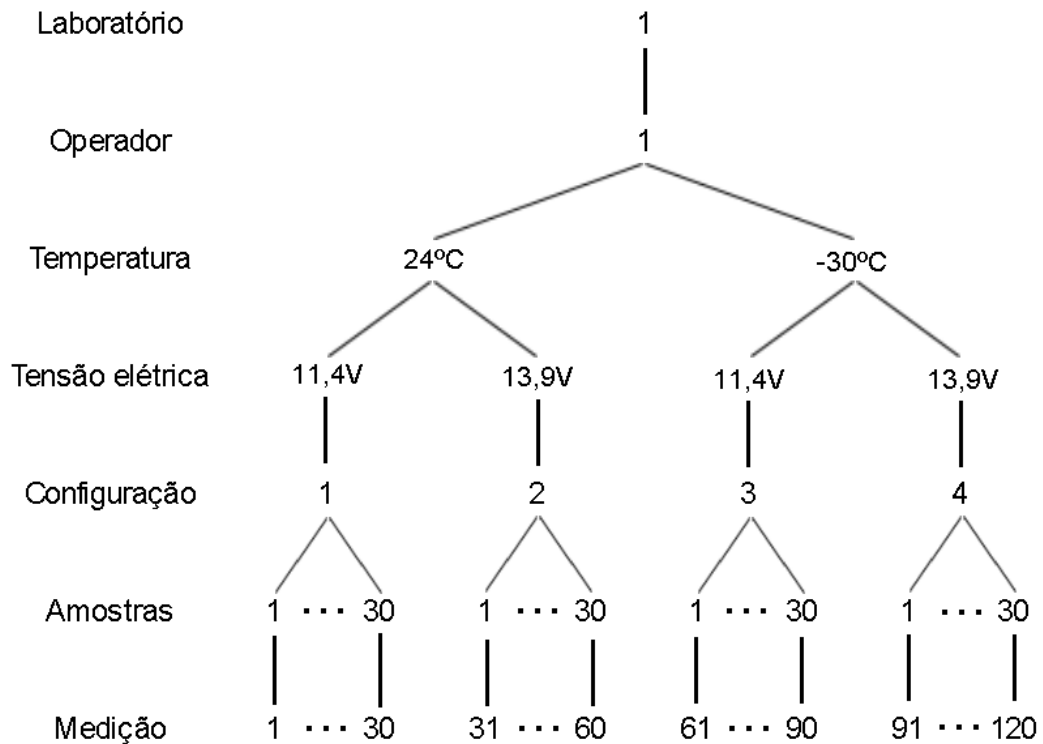
Figura 21 – Configuração de medição em sobretensão



Fonte: Autor (2021)

Devido ao tempo agendado para a câmara de testes ser curto, cada amostra de motor ventilador e válvula de água foi medida uma única vez, conforme diagrama de relação de fatores da figura 22.

Figura 22 – Diagrama de relação de fatores



Fonte: Autor (2021)

Os resultados das medições são apresentados a seguir, iniciando pela tabela 13, com os valores de potência (Watt) da válvula de entrada de água para as configurações 1 e 2 do diagrama de relações.

Tabela 13 – Medições da válvula de entrada de água T+

Amostra	Medida (11,4V)	Medida (13,9V)	Amostra	Medida (11,4V)	Medida (13,9V)
1	6,177	8,920	16	6,062	8,991
2	6,112	8,834	17	6,065	8,731
3	6,055	8,767	18	6,034	8,743
4	6,020	8,665	19	5,970	8,853
5	6,019	8,713	20	5,929	8,839
6	6,065	8,736	21	6,023	8,716
7	6,110	8,853	22	6,098	8,815
8	6,061	8,865	23	5,981	8,627
9	6,096	8,834	24	6,058	8,759
10	6,067	8,733	25	6,013	8,677
11	6,080	8,924	26	6,100	8,786
12	6,107	8,805	27	6,106	8,807
13	5,924	8,571	28	6,085	8,770
14	6,089	8,871	29	6,143	8,794
15	6,104	8,816	30	5,933	8,770

Fonte: Autor (2021)

A tabela 14 apresenta o resultado das medições para as configurações 3 e 4.

Tabela 14 – Medições da válvula de entrada de água T-

Amostra	Medida (11,4V)	Medida (13,9V)	Amostra	Medida (11,4V)	Medida (13,9V)
1	7,583	10,506	16	7,416	10,795
2	7,393	10,813	17	7,701	10,735
3	7,290	10,801	18	7,328	10,701
4	7,205	10,701	19	7,128	10,591
5	7,180	10,715	20	7,080	10,537
6	7,676	10,640	21	7,280	10,569
7	7,720	10,388	22	7,749	10,736
8	7,097	10,843	23	7,022	10,368
9	7,644	10,682	24	7,598	10,494
10	7,622	10,621	25	7,170	10,531
11	7,652	10,657	26	7,667	10,623
12	7,394	10,620	27	7,650	10,629
13	7,350	10,410	28	7,701	10,732
14	7,681	10,726	29	7,659	10,590
15	7,735	10,797	30	7,214	10,507

Fonte: Autor (2021)

A mesma estratégia de medição e diagrama de relações são aplicadas para as medidas do motor ventilador do ice maker. A tabela 15 mostra a leitura de potência para as configurações 1 e 2.

Tabela 15 – Medições do motor ventilador do ice maker T+

Amostra	Medida (11,4V)	Medida (13,9V)	Amostra	Medida (11,4V)	Medida (13,9V)
1	2,473	2,905	16	2,286	2,850
2	2,429	2,885	17	2,402	2,943
3	2,278	2,900	18	2,325	2,822
4	2,303	2,944	19	2,459	2,892
5	2,347	2,851	20	2,449	2,879
6	2,425	2,955	21	2,346	2,891
7	2,313	2,941	22	2,432	2,890
8	2,361	2,927	23	2,422	2,879
9	2,362	2,827	24	2,465	2,846
10	2,402	2,839	25	2,529	2,930
11	2,377	2,800	26	2,485	2,957
12	2,297	2,856	27	2,402	2,919
13	2,405	2,826	28	2,446	2,853
14	2,414	3,079	29	2,336	2,868
15	2,388	2,875	30	2,394	2,946

Fonte: Autor (2021)

A tabela 16 apresenta o resultado das medições para as configurações 3 e 4.

Tabela 16 – Medições do motor ventilador do ice maker T-

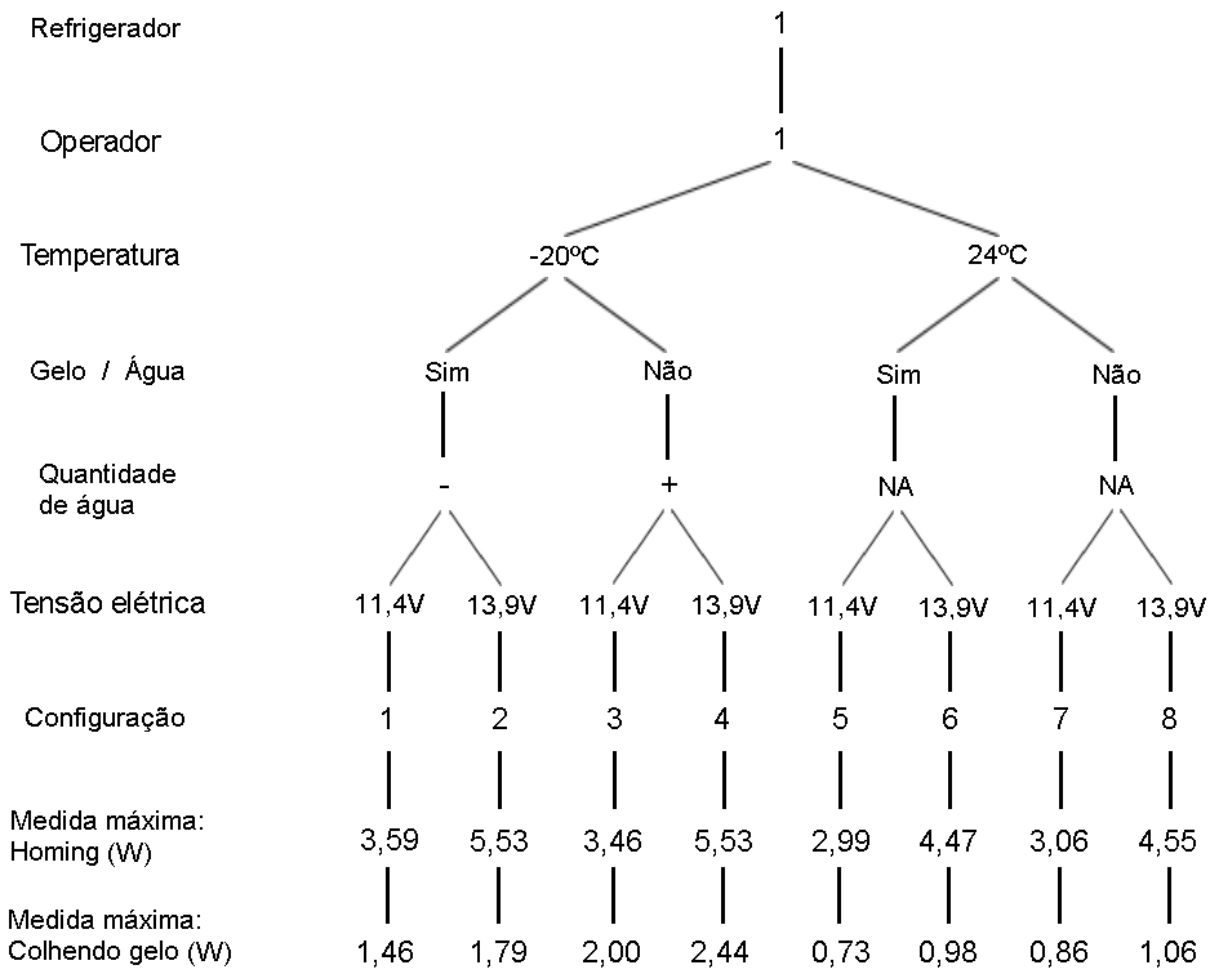
Amostra	Medida (11,4V)	Medida (13,9V)	Amostra	Medida (11,4V)	Medida (13,9V)
1	2,795	4,074	16	2,514	3,793
2	2,573	3,836	17	2,652	3,824
3	2,743	4,033	18	2,791	4,312
4	2,674	4,100	19	2,798	4,480
5	2,753	4,268	20	2,663	4,129
6	2,896	4,212	21	2,611	4,005
7	2,567	3,637	22	2,817	4,056
8	2,427	3,416	23	2,605	3,659
9	2,577	4,025	24	2,663	3,577
10	2,520	3,724	25	2,651	3,779
11	2,616	3,612	26	2,633	3,896
12	2,622	3,911	27	2,772	4,105
13	2,740	3,631	28	2,877	4,071
14	2,552	3,639	29	2,537	3,340
15	2,682	3,916	30	2,783	4,120

Fonte: Autor (2021)

### 3.2.3 Medições do ice maker

As medições feitas no ice maker foram realizadas após a montagem do primeiro protótipo. É necessário um longo tempo de espera entre medições devido ao tempo necessário para o refrigerador produzir gelo. Por isso, foi realizada apenas uma medição para cada condição estabelecida utilizando um wattímetro. As condições de medição e medidas feitas estão na figura 23 abaixo.

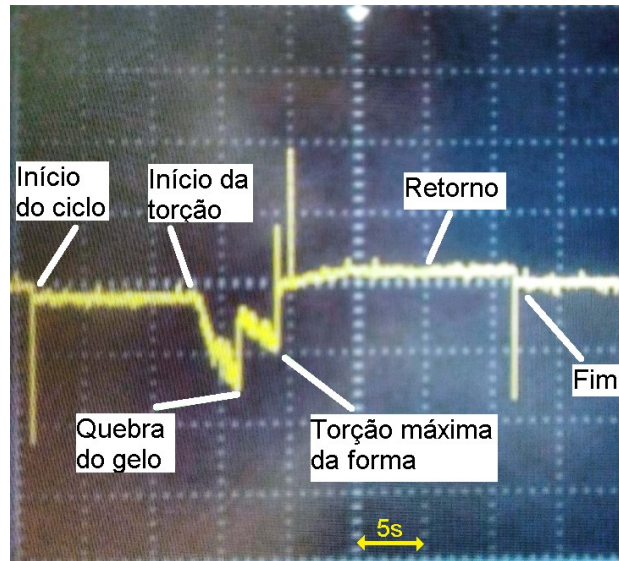
Figura 23 – Medições Ice maker



Fonte: Autor (2021)

O item medido “colhendo gelo”, como o nome sugere, se refere ao máximo valor de potência medido durante o processo de colheita automática de gelo, o pico ocorre na torção máxima da forma ou no instante que antecede o momento em que o gelo é quebrado. A figura 24 mostra o comportamento da corrente elétrica durante um ciclo completo de colheita de gelo.

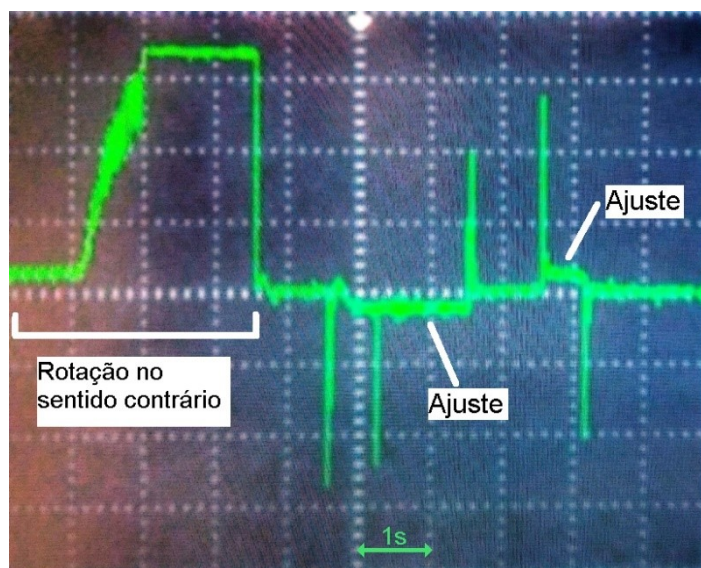
Figura 24 – Corrente elétrica do ice maker durante ciclo de colheita de gelo



Fonte: Autor (2021)

A medida chamada de “homing” é feita durante uma rotina executada todas as vezes que o produto é energizado, tem como objetivo garantir que a forma está na posição correta ao iniciar o enchimento de água. Essa garantia é feita ao girar o motor no sentido contrário ao de colhimento de gelo, até o fim de percurso, em seguida o motor é movido levemente na direção oposta para fazer o ajuste fino da posição e manter a forma no nível correto. A figura 25 mostra o comportamento da corrente elétrica durante o homing.

Figura 25 – Corrente elétrica do ice maker durante o homing



Fonte: Autor (2021)



### 3.2.4 Análise de capacidade

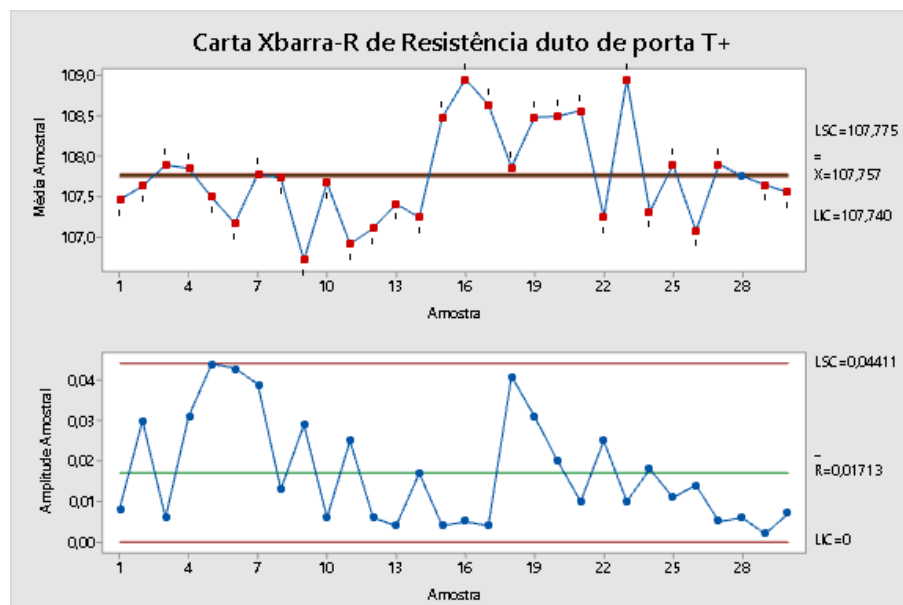
A seguir, é verificado se as medidas atendem aos requisitos do projeto através da ferramenta de análise de capacidade, junto com a checagem dos pré requisitos para esse teste, que envolve verificar o controle estatístico dos dados utilizando as cartas de controle e o teste de normalidade, que verifica se os dados podem ser aproximados por uma distribuição normal.

#### 3.2.4.1 Análise das resistências de aquecimento

A análise é iniciada pela carta de controle X barra R para subgrupo de tamanho 3, construídas no software Minitab. O objetivo desta etapa é utilizar a carta R para observar se há variação significativa no sistema de medição das resistências de aquecimento, observar o comportamento dos dados em cada uma das condições de medição e verificar se há dados que possuem alto desvio de processo utilizando a carta X barra.

A figura 26 abaixo mostra a carta X barra R das medições da resistência do duto de porta feitas em temperatura positiva.

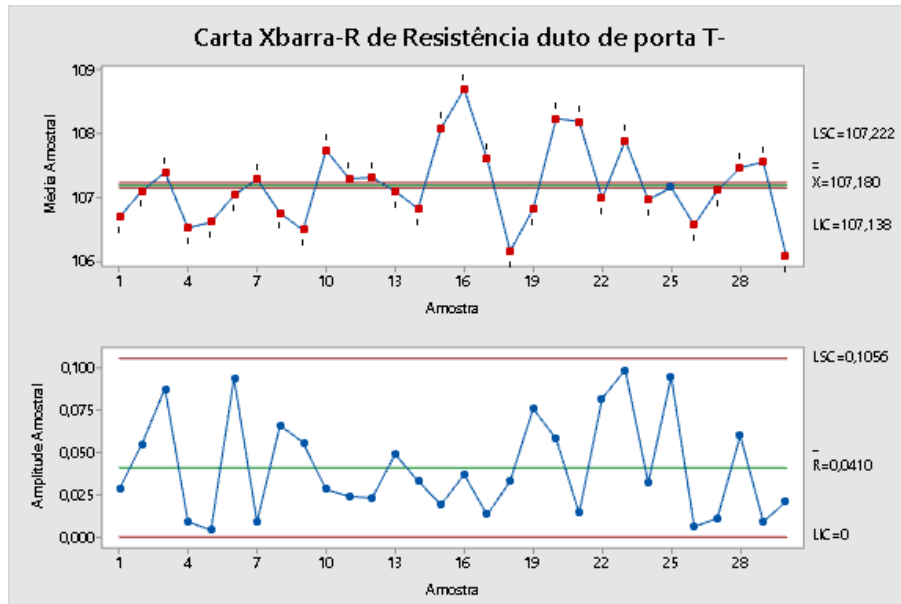
Figura 26 – Carta X barra R da resistência do duto de porta T+



Fonte: Autor (2021)

A figura 27 mostra a carta X barra R das medições da resistência do duto de porta feitas em temperatura negativa.

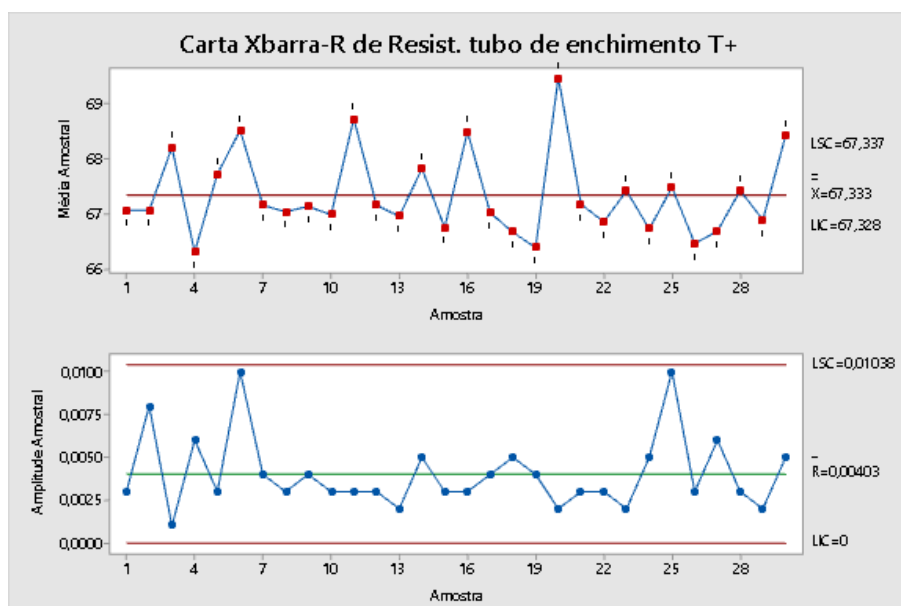
Figura 27 – Carta X barra R da resistência do duto de porta T-



Fonte: Autor (2021)

A figura 28 mostra a carta X barra R das medições da resistência do tubo de enchimento feitas em temperatura positiva.

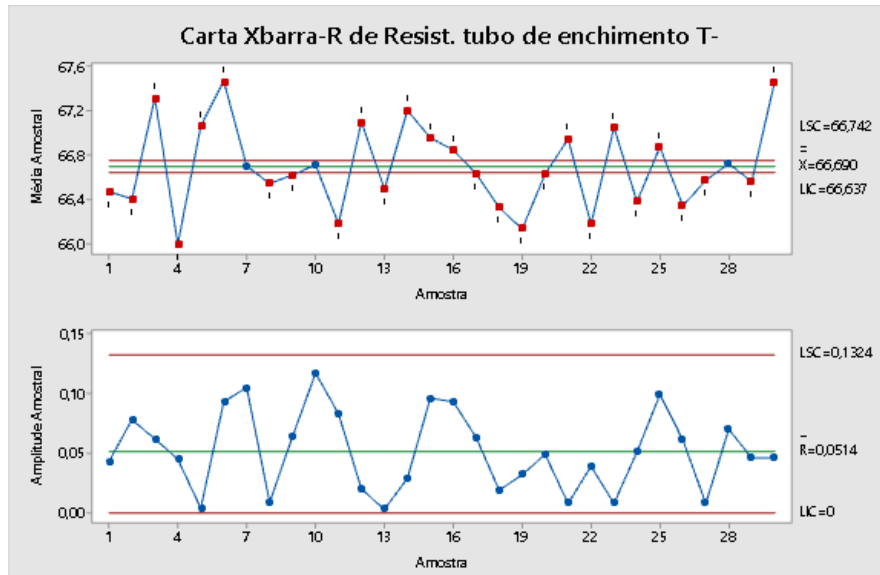
Figura 28 – Carta X barra R da resistência do tubo de enchimento T+



Fonte: Autor (2021)

A figura 29 mostra a carta X barra R das medições da resistência do tubo de enchimento feitas em temperatura negativa.

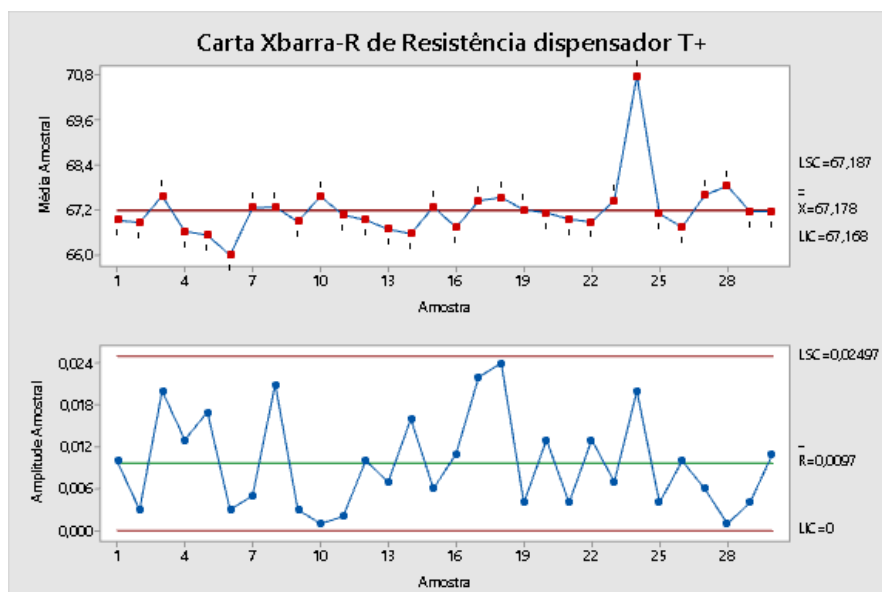
Figura 29 – Carta X barra R da resistência do tubo de enchimento T-



Fonte: Autor (2021)

A figura 30 mostra a carta X barra R das medições da resistência dispensador feitas em temperatura positiva.

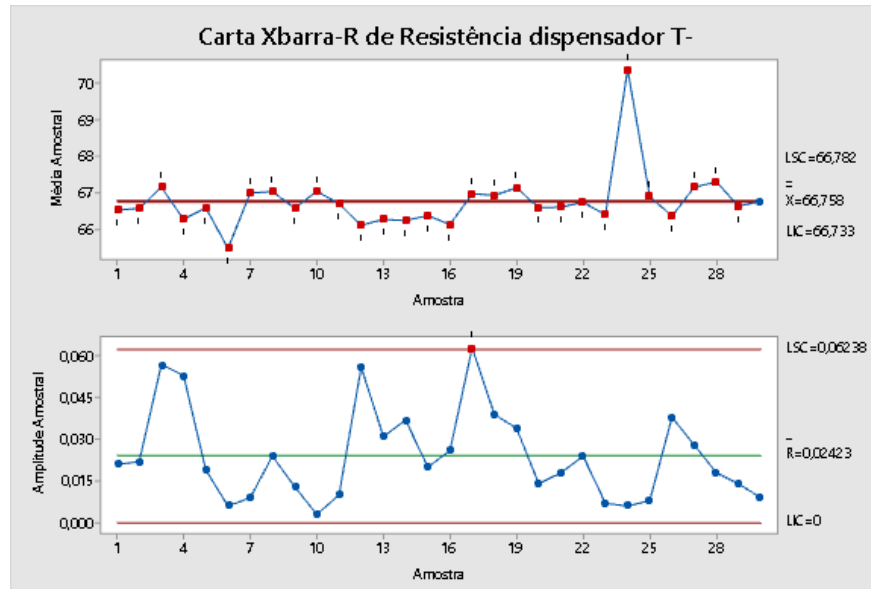
Figura 30 – Carta X barra R da resistência do dispensador T+



Fonte: Autor (2021)

A figura 31 mostra a carta X barra R das medições da resistência do dispensador feitas em temperatura negativa.

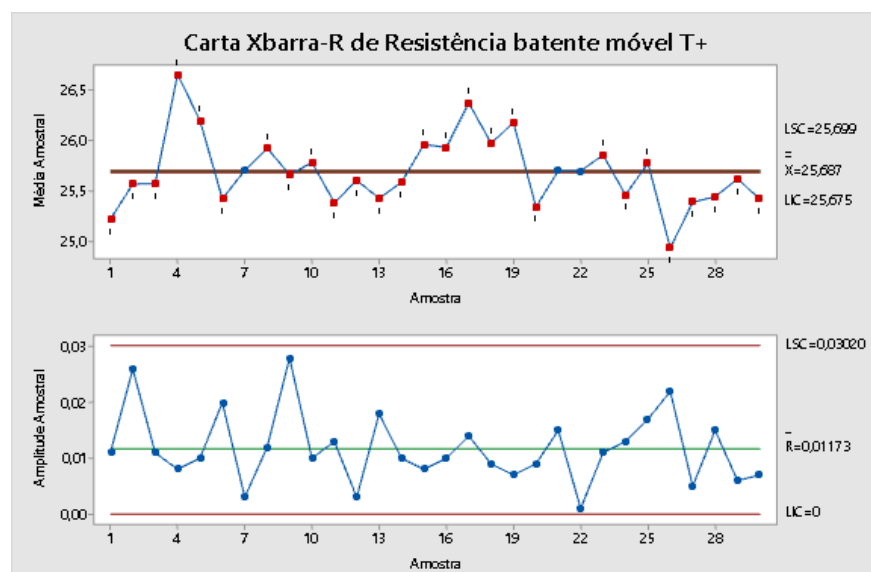
Figura 31 – Carta X barra R da resistência do dispensador T-



Fonte: Autor (2021)

A figura 32 mostra a carta X barra R das medições da resistência do batente móvel feitas em temperatura positiva.

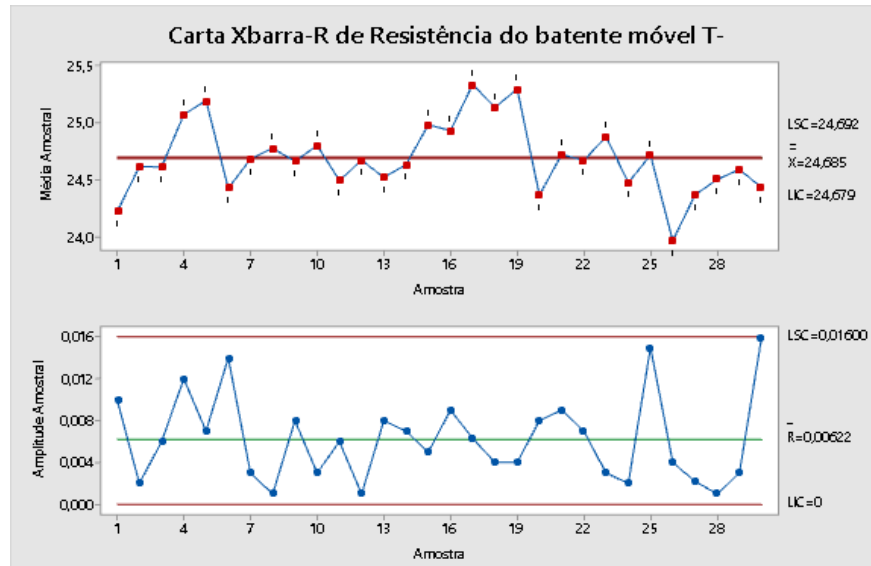
Figura 32 – Carta X barra R da resistência do batente móvel T+



Fonte: Autor (2021)

A figura 33 mostra a carta X barra R das medições da resistência do batente móvel feitas em temperatura negativa.

Figura 33 – Carta X barra R da resistência do batente móvel T-



Fonte: Autor (2021)

Observando as cartas R de controle das resistências do refrigerador é possível verificar que as amplitudes das medidas de cada peça são baixas e todas estão sob controle estatístico, exceto a amostra 17 da resistência do dispensador em temperatura negativa, que está apenas um pouco acima do LSC e por isso será desconsiderado nas análises futuras. As amostras estarem dentro dos limites de controle na carta R dá indícios de que o sistema de medição varia muito pouco, já que as amplitudes não passam da segunda casa decimal. Também sugere que a componente mais significativa da variação está entre as amostras, e não dentro dos subgrupos.

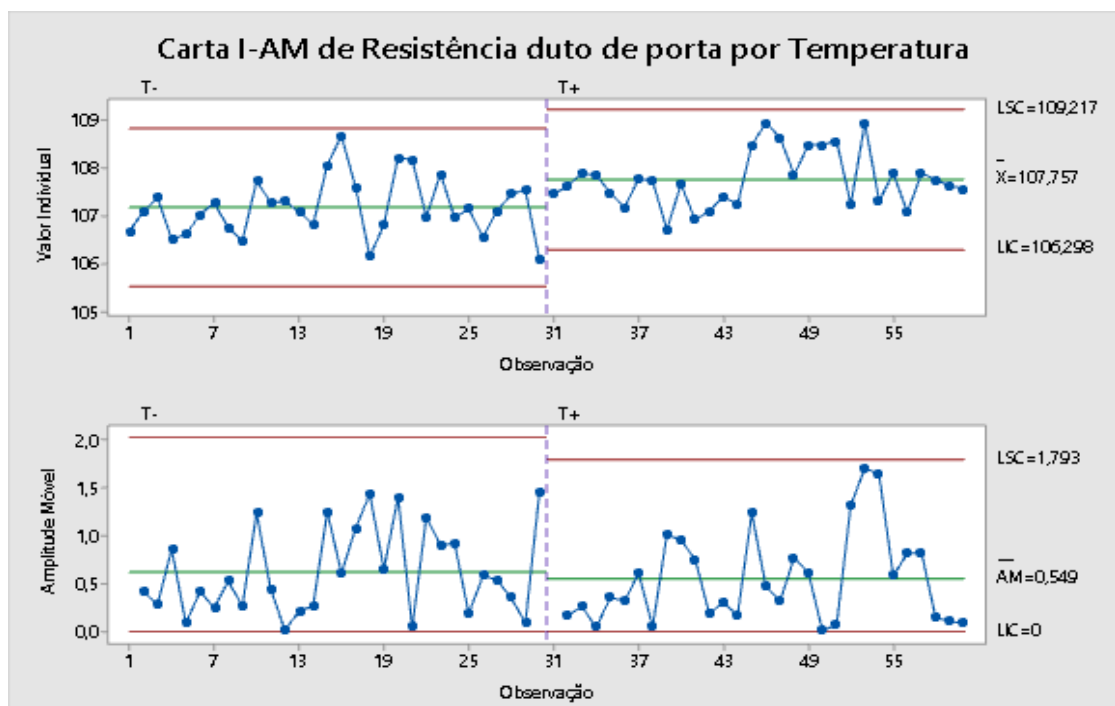
Quanto às cartas X barra, é visto que quase todas as médias das medições estão fora dos limites de controle, mas não necessariamente o processo está fora de controle estatístico. Conforme visto no capítulo 2.3.3, isso se deve ao fato de que os limites de controle da carta X barra são calculados com base na variação dentro das amostras e, essa variação é muito pequena devido ao fato de que foram feitas três medições de um mesmo elemento. O recomendado nessa situação é considerar o que foi observado na carta R, calcular as médias das três medições de cada amostra

e construir a carta de controle para dados individuais I-AM, conforme recomenda McNeese (2011).

A carta I-AM será construída posicionando as duas configurações de medição lado a lado, com o objetivo de visualizar em qual condição de temperatura as resistências apresentam menor valor, cenário considerado como crítico no consumo de energia elétrica. Além disso, também permite visualizar se há pontos discrepantes que devem ser desconsiderados nas análises futuras e, fornece os limites de controle e média do processo para serem utilizados na comparação com o processo de produção no momento que o projeto do refrigerador for finalizado e esse estiver sendo comercializado.

A primeira carta de controle montada está apresentada na figura 34, da resistência do duto de porta. É possível observar que não há pontos discrepantes ao aplicar a carta de controle para dados individuais, enquanto que na carta X barra quase todos os pontos eram sinalizados como discrepantes.

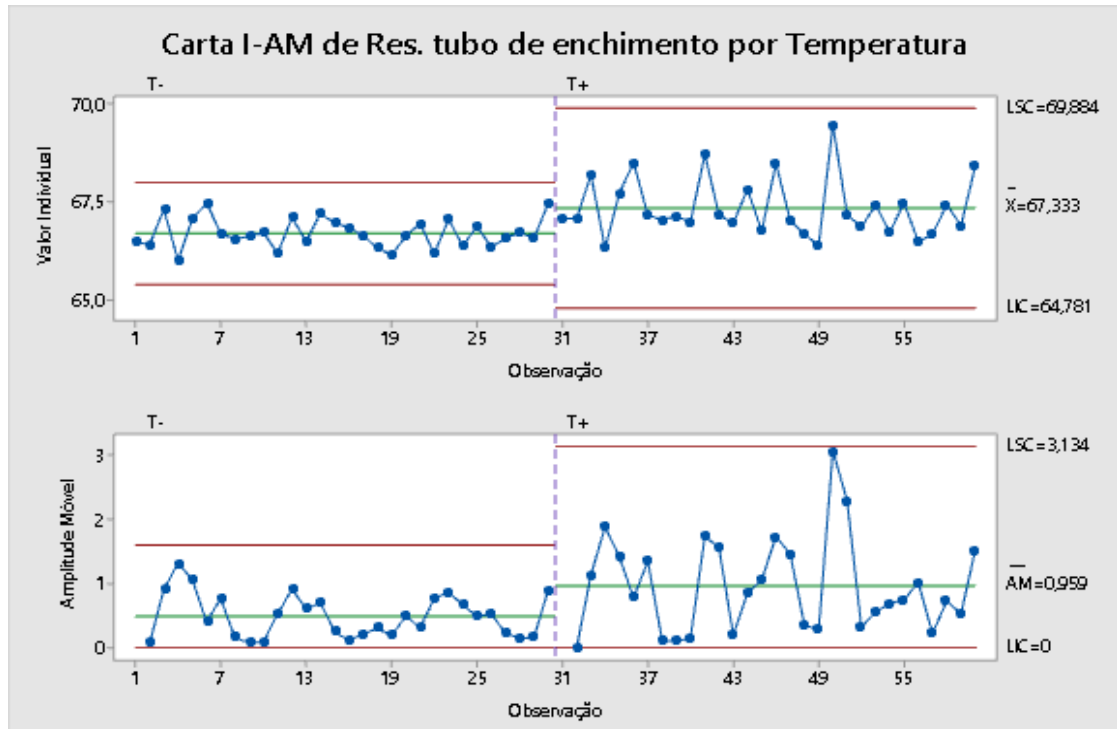
Figura 34 – Carta I-AM da resistência do duto de porta



Fonte: Autor (2021)

A figura 35 mostra a carta I-AM das medições da resistência do tubo de enchimento.

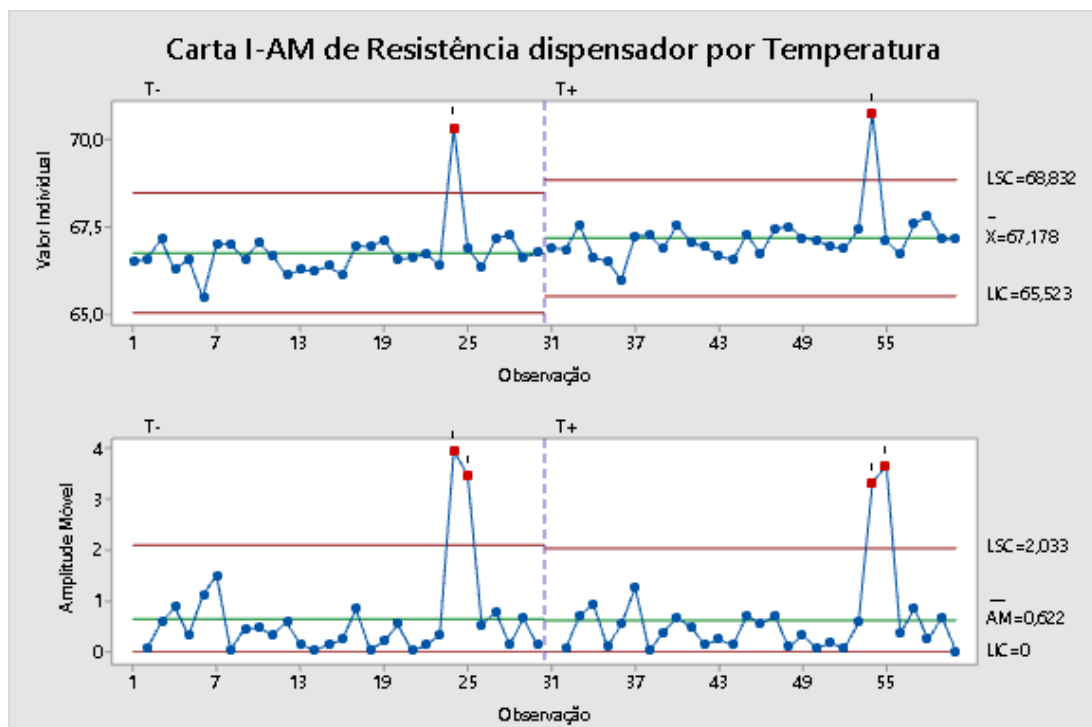
Figura 35 – Carta I-AM da resistência do tubo de enchimento



Fonte: Autor (2021)

A figura 36 mostra a carta I-AM das medições da resistência do dispensador.

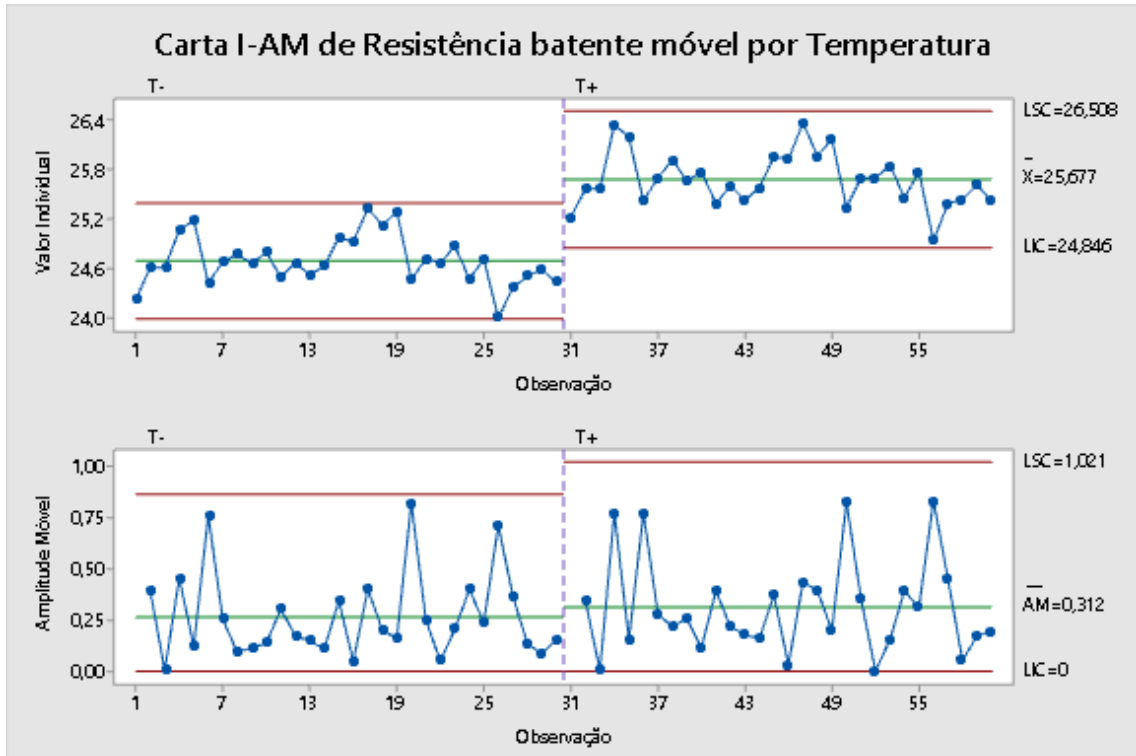
Figura 36 – Carta I-AM da resistência do dispensador



Fonte: Autor (2021)

A figura 37 mostra a carta I-AM das medições da resistência do batente móvel.

Figura 37 – Carta I-AM da resistência do tubo de enchimento T-



Fonte: Autor (2021)

Ao observar as cartas I-AM, é possível ver que foram encontrados pontos fora dos limites de controle, indicando variações do tipo VCE nas medidas 24 e 54 (amostra 24) da resistência do dispensador, que se encontra a cerca de 2 Ohms acima do LSC. O motivo de estar fora de controle não será tratado nesse projeto e o dado será apagado nas análises futuras. A exclusão é justificada devido ao fato de que os pontos discrepantes estão relacionados a valores de resistência elétrica que não prejudicam o produto em relação a alta demanda de potência. Os valores dos limites de controle e a média das cartas de controle também mostram que a resistência elétrica dos condutores diminui conforme a temperatura também diminui e, por consequência disso, a potência aumenta.

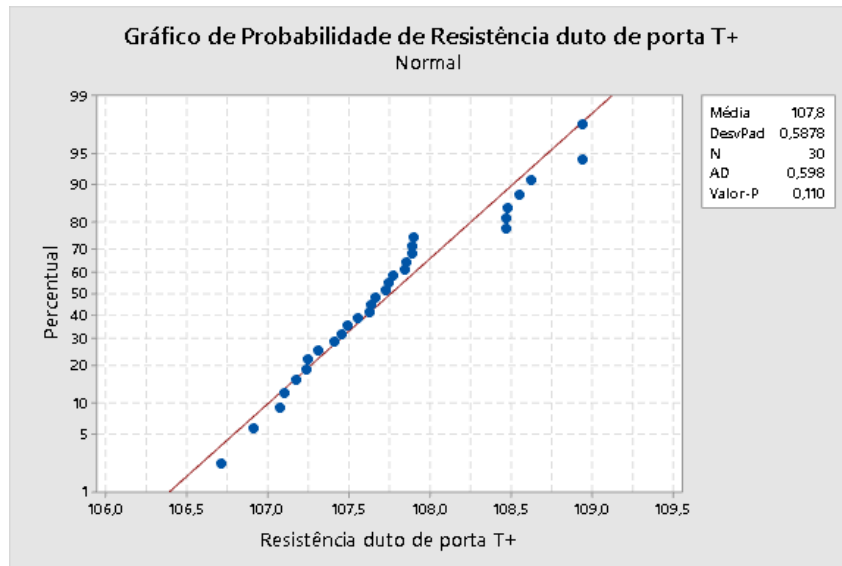
O próximo passo da análise é verificar a capacidade do processo, mas antes é necessário verificar se os dados se comportam como uma distribuição normal. A seguir, serão aplicados os testes de normalidade para as resistências excluindo os pontos fora dos limites de controle. Lembrando que o pré requisito para o teste de



normalidade de Anderson Darling feito pelo Minitab é que o parâmetro Valor-P seja maior que 0,05.

A figura 38 mostra o teste de normalidade medições da resistência do duto de porta feitas em temperatura positiva.

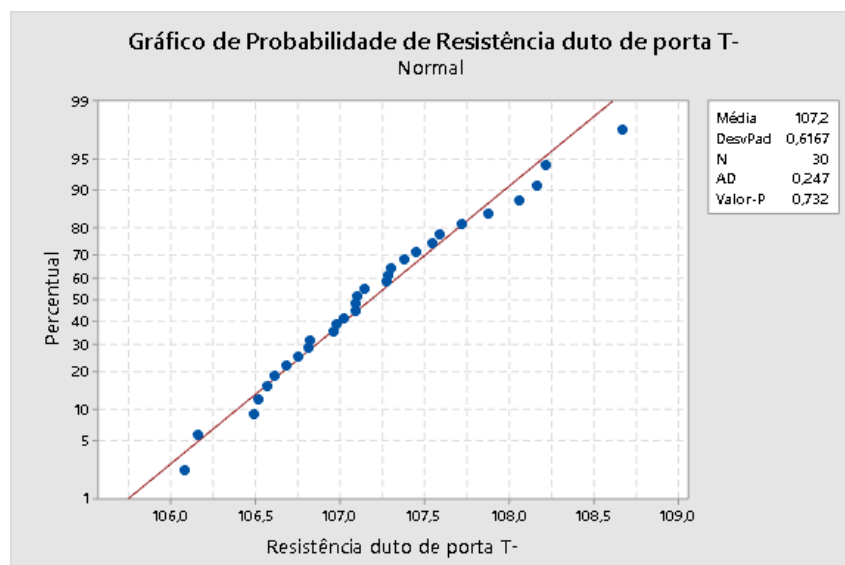
Figura 38 – Teste de normalidade da resistência do duto de porta T+



Fonte: Autor (2021)

A figura 39 mostra o teste de normalidade das medições da resistência do duto de porta feitas em temperatura negativa.

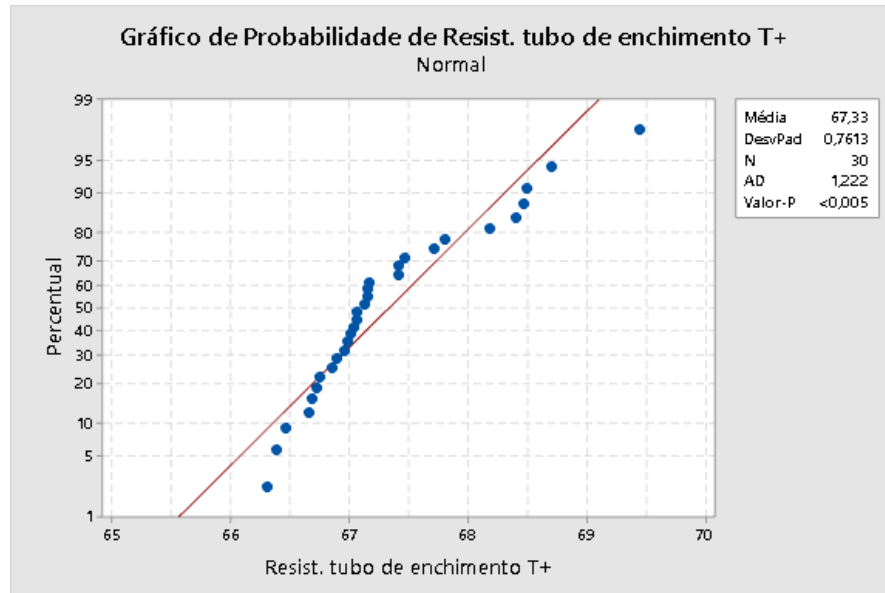
Figura 39 – Teste de normalidade da resistência do duto de porta T-



Fonte: Autor (2021)

A figura 40 mostra o teste de normalidade das medições da resistência do tubo de enchimento feitas em temperatura positiva.

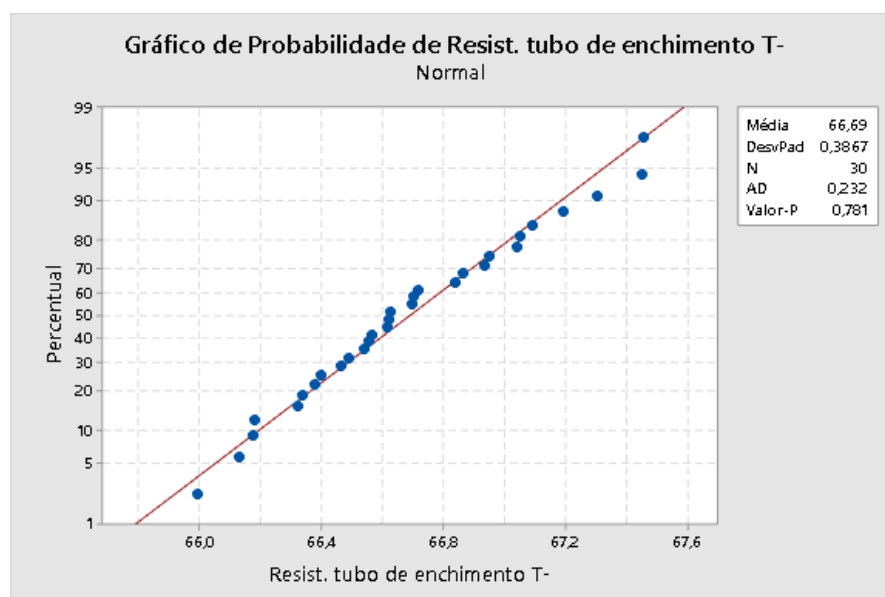
Figura 40 – Teste de normalidade da resistência do tubo de enchimento T+



Fonte: Autor (2021)

A figura 41 mostra o teste de normalidade das medições da resistência do tubo de enchimento feitas em temperatura negativa.

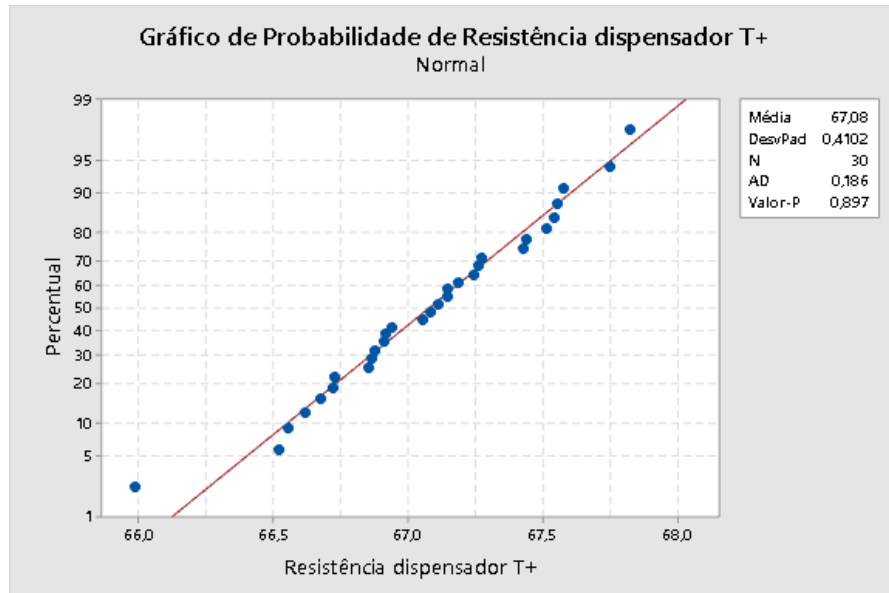
Figura 41 – Teste de normalidade da resistência do tubo de enchimento T-



Fonte: Autor (2021)

A figura 42 mostra o teste de normalidade das medições da resistência dispensador feitas em temperatura positiva.

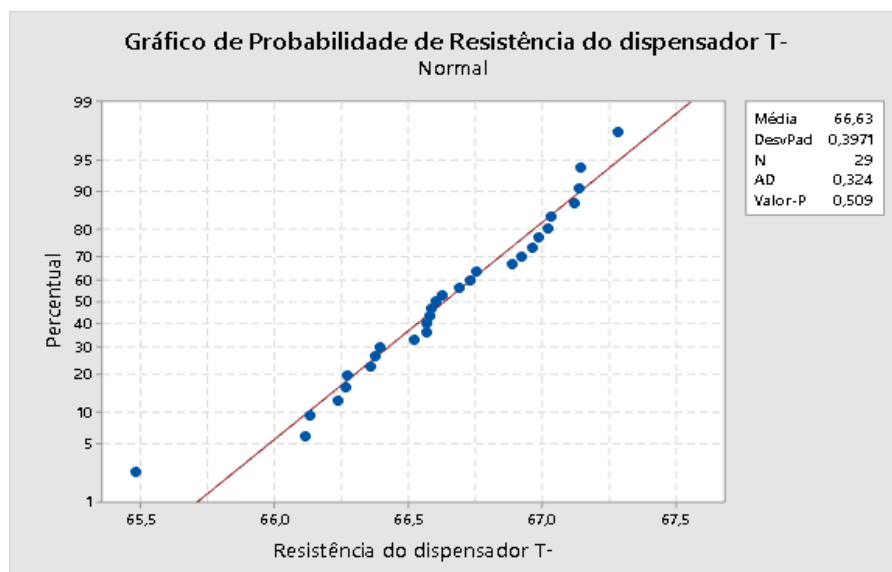
Figura 42 – Teste de normalidade da resistência do dispensador T+



Fonte: Autor (2021)

A figura 43 mostra o teste de normalidade das medições da resistência do dispensador feitas em temperatura negativa.

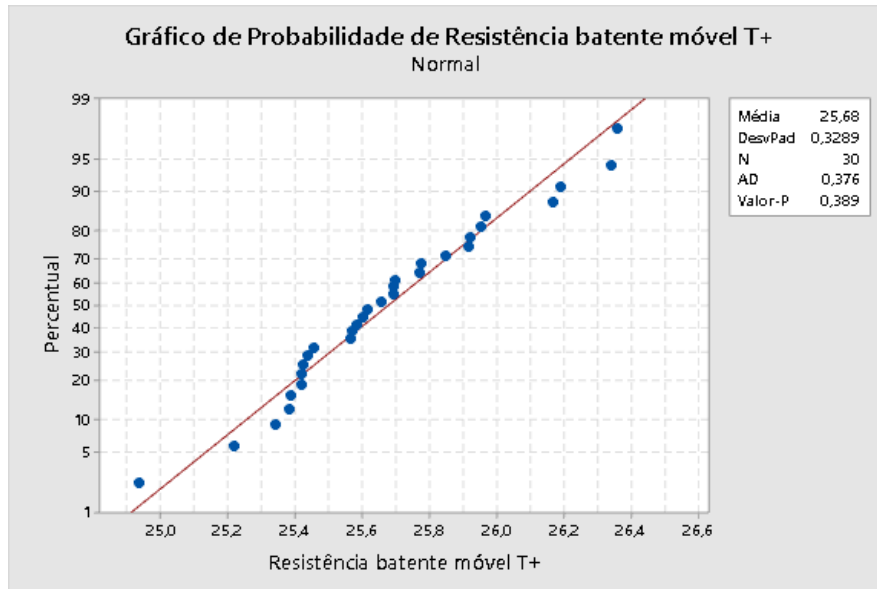
Figura 43 – Teste de normalidade da resistência do dispensador T-



Fonte: Autor (2021)

A figura 44 mostra o teste de normalidade das medições da resistência do batente móvel feitas em temperatura positiva.

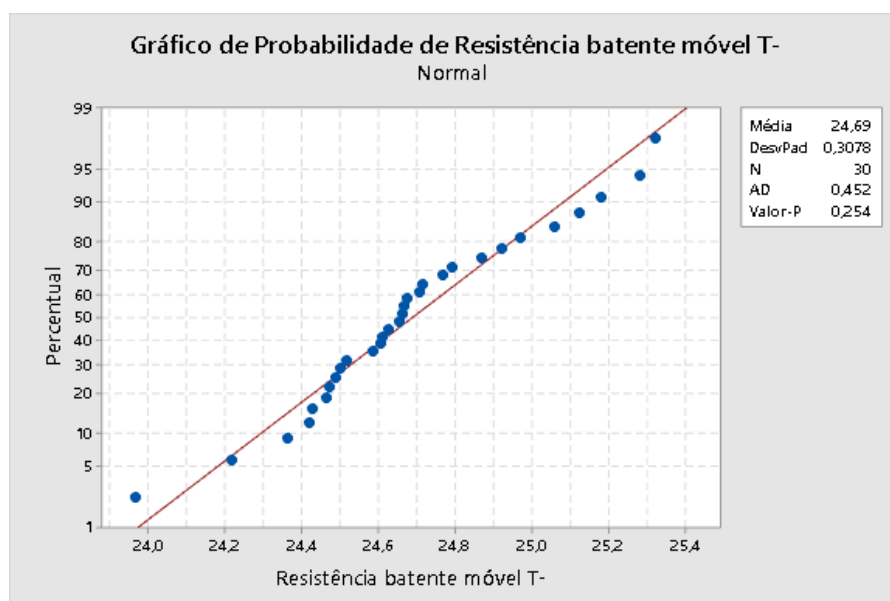
Figura 44 – Teste de normalidade da resistência do batente móvel T+



Fonte: Autor (2021)

A figura 45 mostra o teste de normalidade das medições da resistência do batente móvel feitas em temperatura negativa

Figura 45 – Teste de normalidade da resistência do batente móvel T-

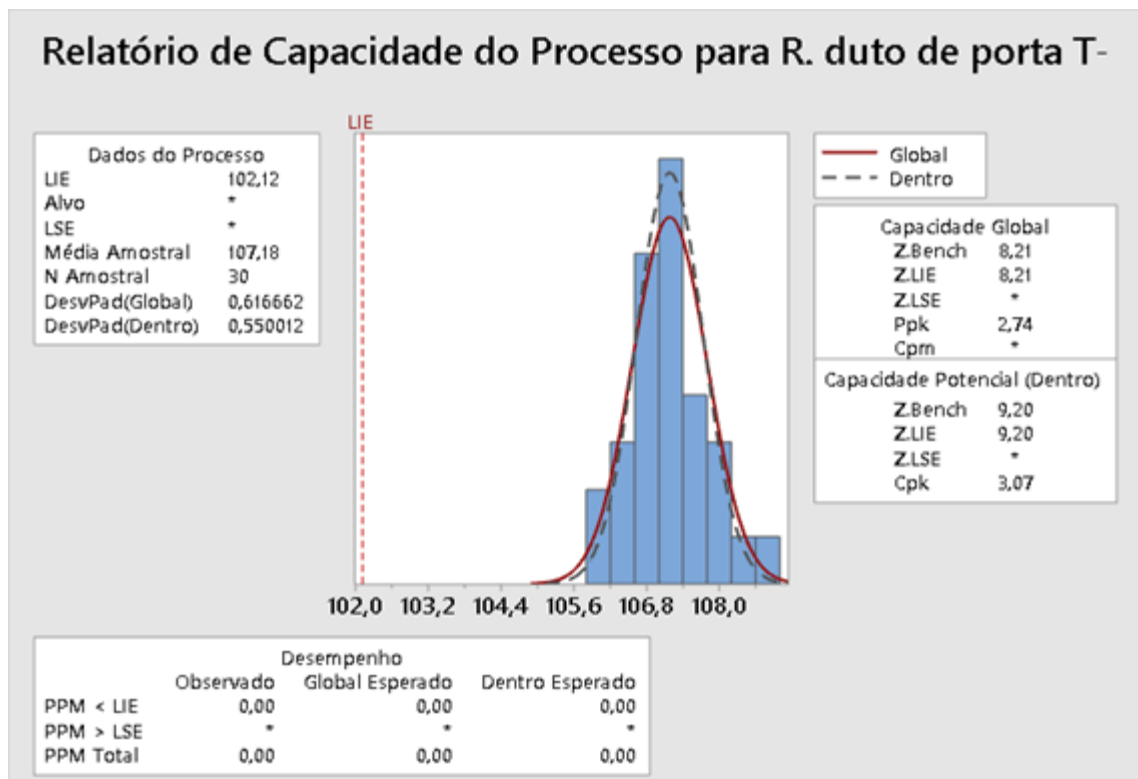


Fonte: Autor (2021)

Dado os valores P dos testes de normalidade, é observado que as medições da resistência do tubo de enchimento em temperatura positiva não atenderam a esse requisito. No entanto, como o problema está na configuração com valores baixos de resistência elétrica por demandarem maior potência, e o teste de normalidade para a temperatura negativa apresenta valor P de 0,781, o estudo de capacidade vai levar em consideração apenas o LIE e as medições nessa condição. Esse raciocínio seguirá com as outras amostras também, com a análise de capacidade sendo feita na condição que se aproxima dos valores mais altos de potência.

O relatório da capacidade de atender os limites de controle foi feito no software Minitab fornecendo os dados medidos e os limites de especificação e tendo como retorno os indicadores de capacidade. Para a resistência do duto de porta, na figura 46, o termo Zbench, que representa o nível sigma, indica que há 8,21 sigmas entre a média e o LIE, sinalizando que os resultados medidos estão dentro dos limites de especificação.

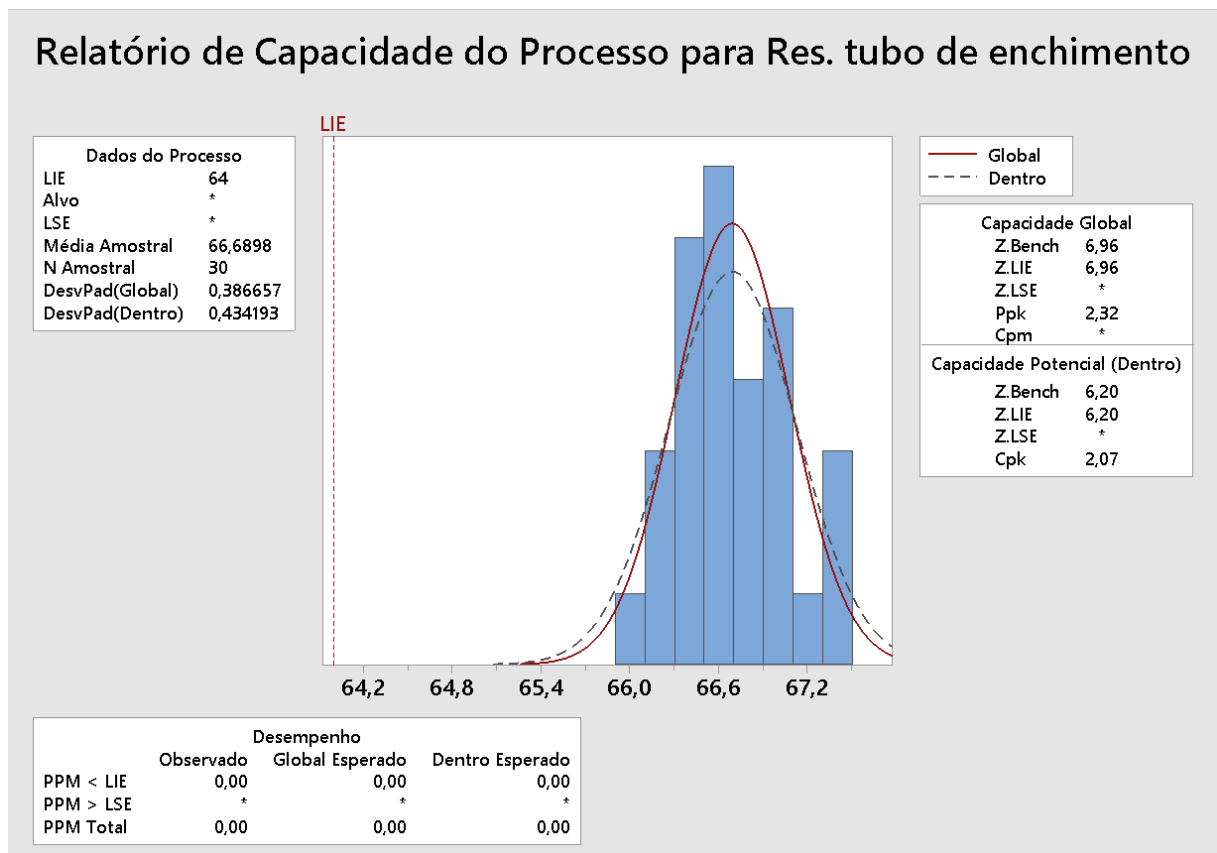
Figura 46 – Relatório de capacidade da resistência do duto de porta



Fonte: Autor (2021)

Conforme mencionado anteriormente, a análise de capacidade para a resistência do tubo de enchimento será feita considerando apenas a temperatura negativa, que apresenta os valores mais significativos ao problema de sobrecarga. Ao observar o relatório da figura 47, temos 6,96 desvios padrão entre a média e o LIE e um  $C_{pk}$  de 2,07, considerado como processo dentro dos limites, indicando esta peça não demandará potência maior que o especificado.

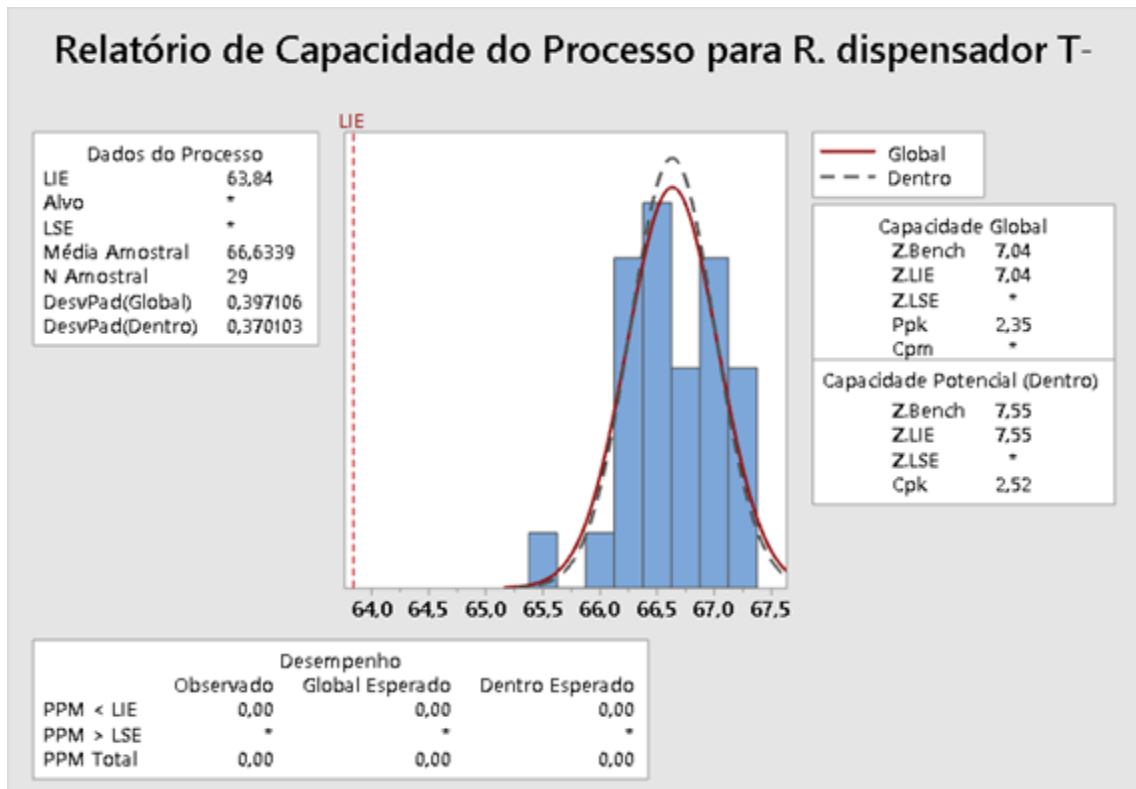
Figura 47 – Relatório de capacidade da resistência do tubo de enchimento



Fonte: Autor (2021)

Para a resistência do dispensador, com relatório de capacidade na figura 48, o nível sigma de 7,04 e o  $C_{pk}$  2,52 indicam que as amostras não ultrapassam o LIE. Essa peça também não demandará potência além do especificado.

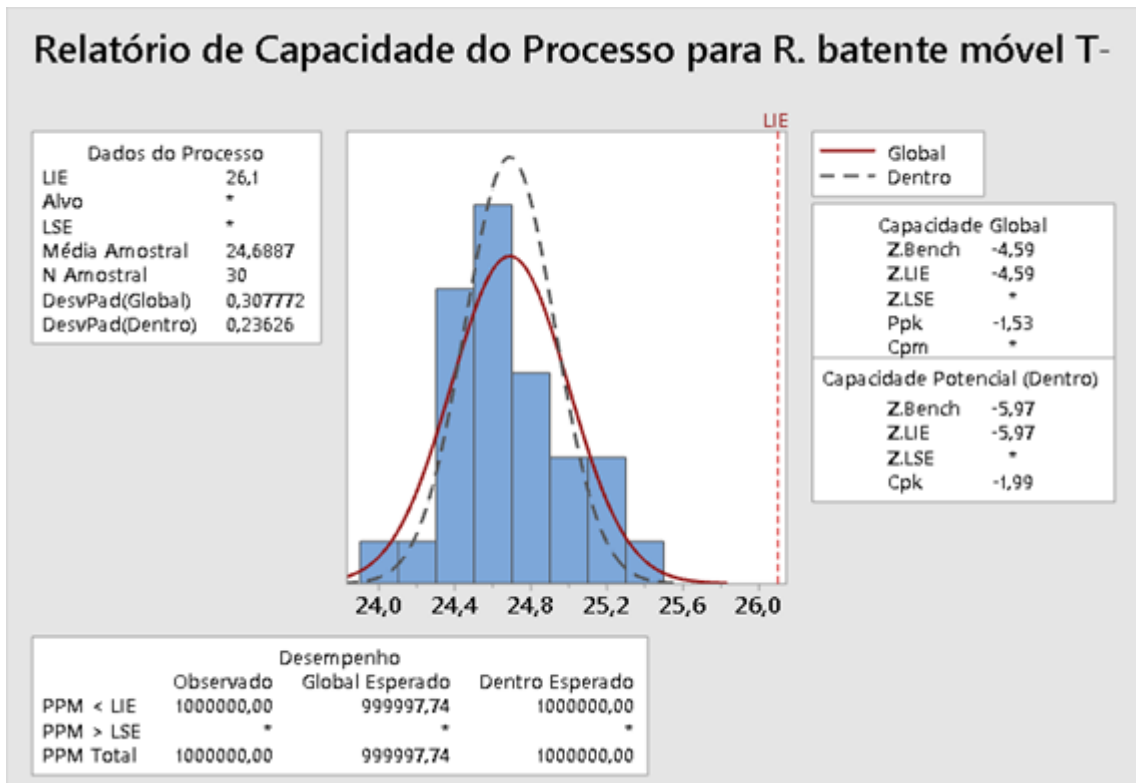
Figura 48 – Relatório de capacidade para a resistência do dispensador



Fonte: Autor (2021)

De acordo com o relatório de capacidade da resistência do batente móvel da figura 49, o nível sigma de -4,59 indica que em um milhão de peças, apenas 3 estarão acima do LIE e o  $C_{pk}$  com valor negativo aponta para um processo completamente fora de especificação. As peças abaixo do LIE demandam mais energia da fonte do que o especificado. Apesar de ainda não estar na fase de melhoria (improve), é evidente que algo tem que ser feito a respeito desse componente.

Figura 49 – Relatório de capacidade da resistência do batente móvel



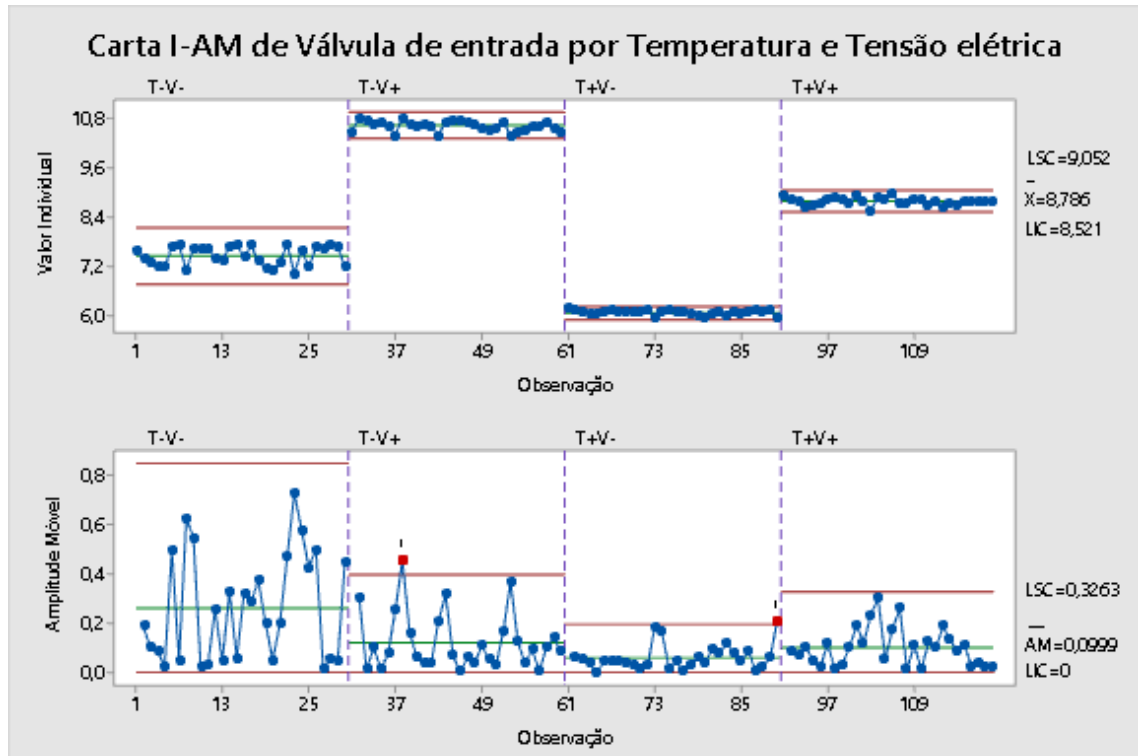
Fonte: Autor (2021)

### 3.2.4.2 Análise da válvula de entrada de água e motor ventilador

Conforme feito até o momento, é necessário verificar se as medições feitas para as cargas desses itens estão sob controle estatístico e se é possível aproximá-las a uma distribuição normal. Como há 2 fatores que impactam diretamente na potência elétrica, a carta I-AM será construída com as 4 configurações (conforme figura 22) de medição para observar melhor como os fatores interagem. A figura 50 mostra que as medidas das resistências estão sob controle estatístico, que a variação das medições no tempo possui apenas 2% dos pontos fora dos limites de controle de amplitude entre amostras e que a configuração 2, maior tensão elétrica e menor temperatura, é a que tem maior consumo de potência. Devido a esses pontos, a análise de capacidade será feita observando essa configuração de medições.



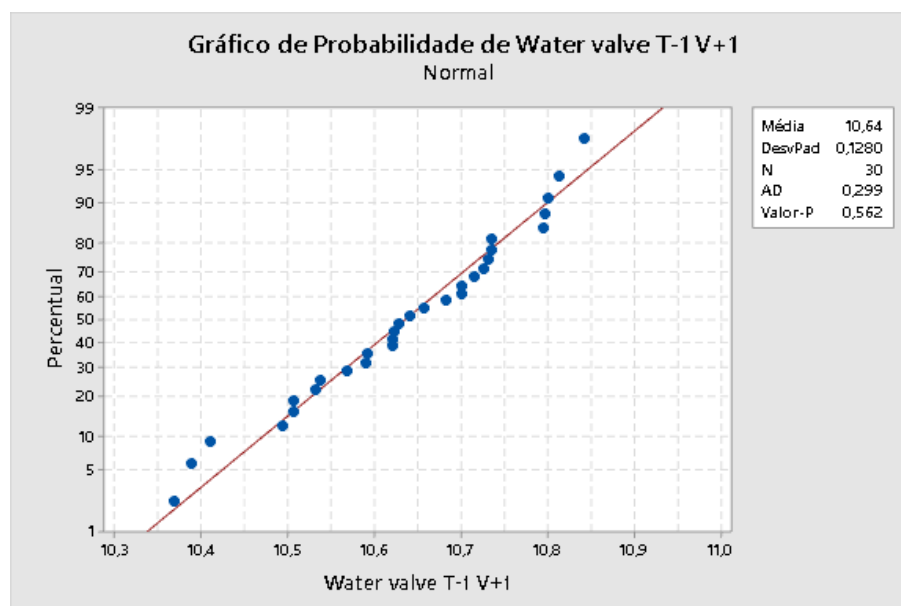
Figura 50 – Carta I-AM da válvula de entrada de água



Fonte: Autor (2021)

O valor P do teste de normalidade para a configuração 2 apresentado na figura 51 indica que os dados cumprem os requisitos para a análise de capacidade.

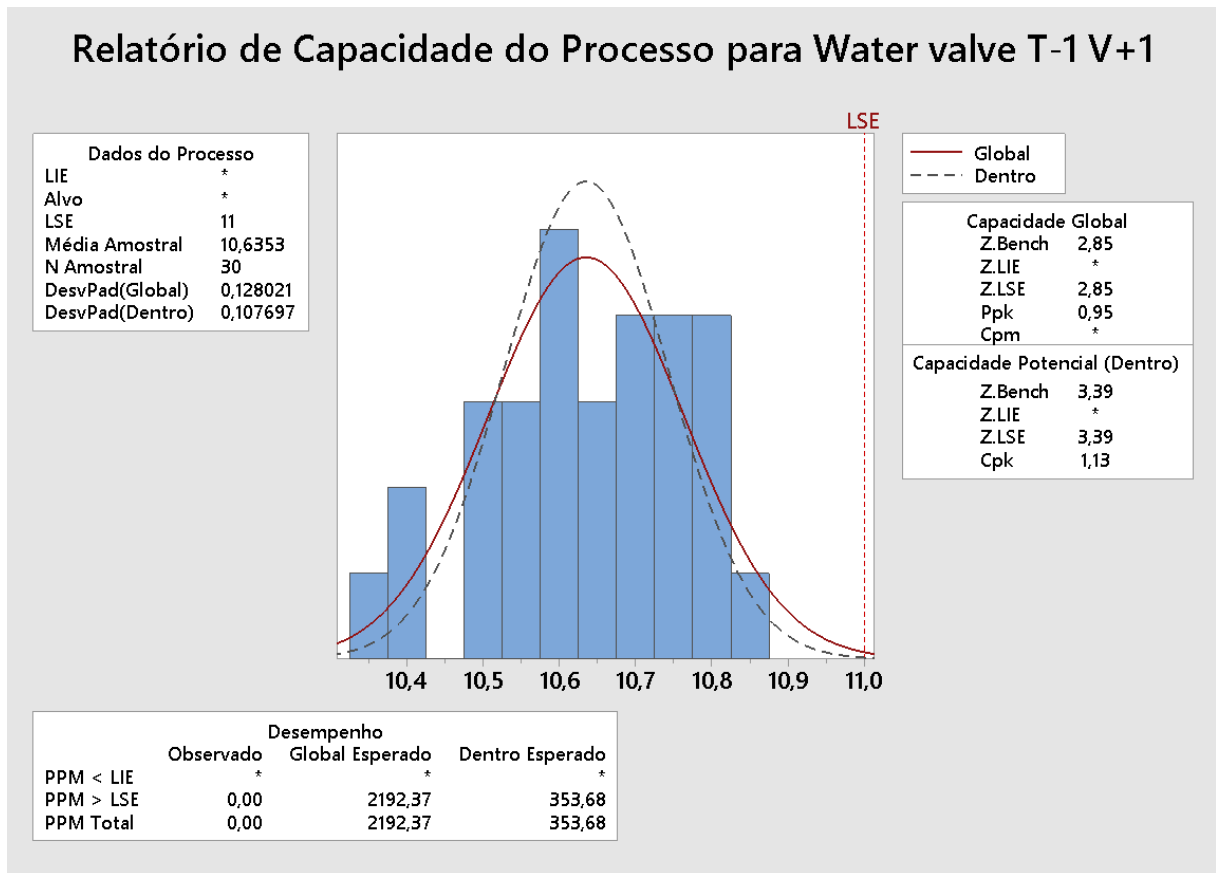
Figura 51 – Teste de normalidade da válvula de entrada de água



Fonte: Autor (2021)

Conforme relatório de capacidade da figura 52, o nível sigma e o  $C_{pk}$  indicam um processo razoável, com DPMO de 2193 indicando que 0,0022% das peças estarão fora do especificado nas condições de  $-30^{\circ}\text{C}$  e 13,97V. Por ser uma porcentagem muito baixa e necessitar de condições extremas para a ocorrência de peças que demandam potência acima do LSE, é considerado que a válvula de entrada de água está dentro dos limites de especificação.

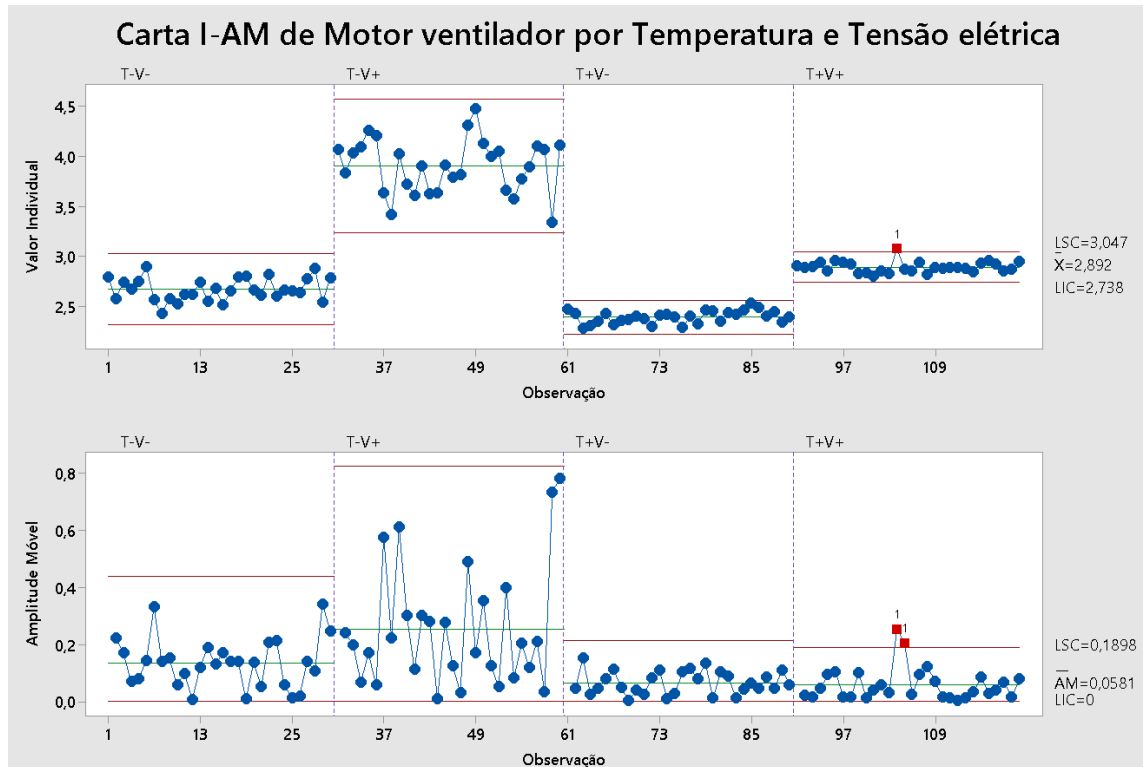
Figura 52 – Relatório de capacidade da válvula de entrada de água



Fonte: Autor (2021)

O procedimento de análise de capacidade segue o mesmo para o motor ventilador, com a figura 53 representando a carta I-AM em todas as configurações de teste. A configuração de interesse, assim como a da válvula de entrada, é de 13,97 Vcc e  $-30^{\circ}\text{C}$ , o processo está sob controle estatístico nessa condição.

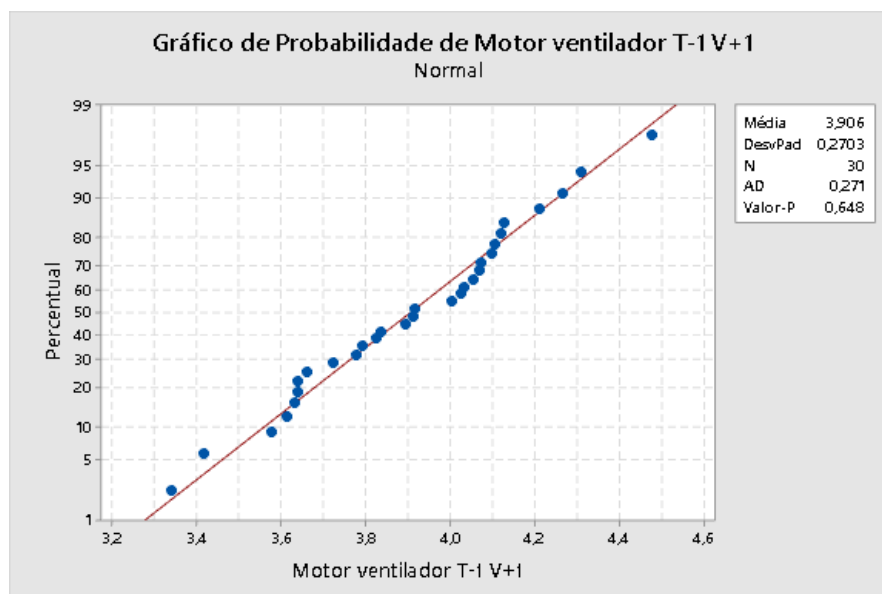
Figura 53 – Carta I-AM do motor ventilador do ice maker



Fonte: Autor (2021)

A figura 54 abaixo mostra o teste de normalidade para a configuração T-V+, que cumpre os requisitos para a análise de capacidade.

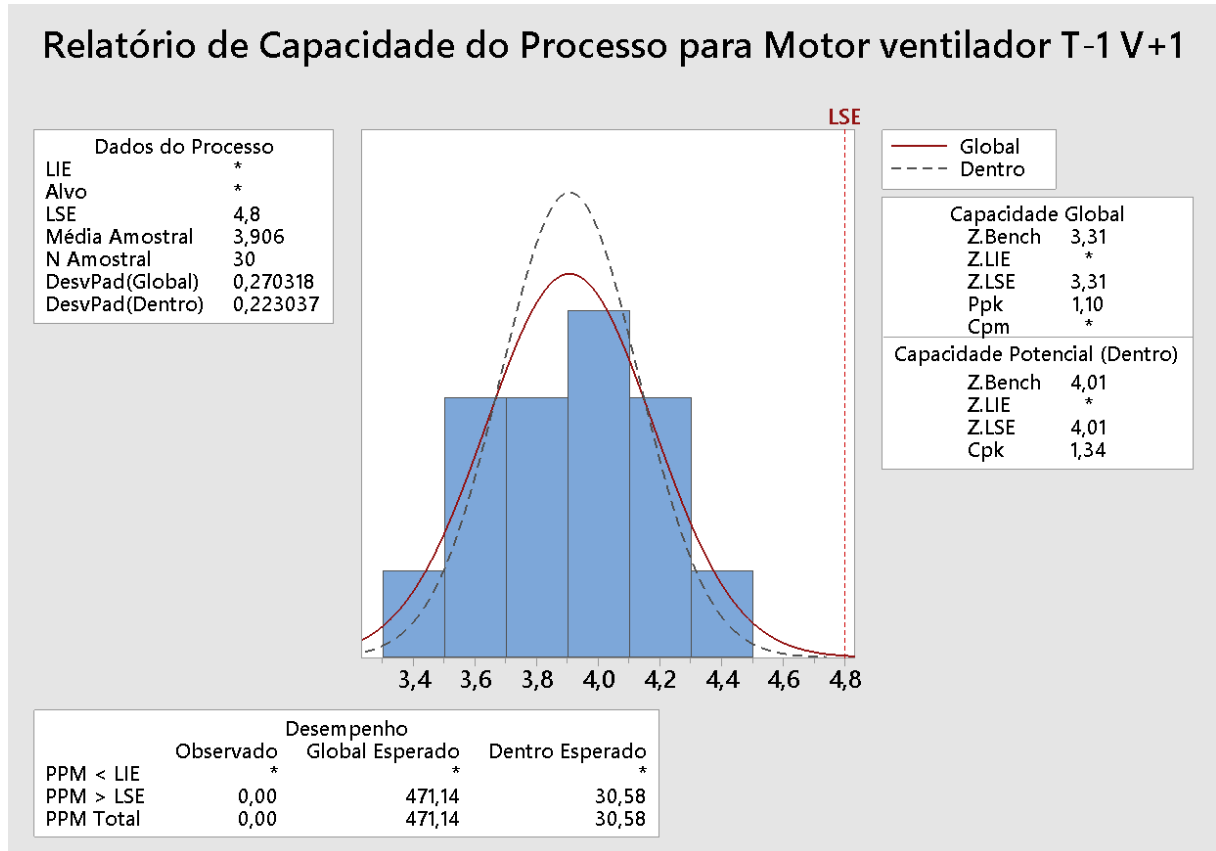
Figura 54 – Teste de normalidade do motor ventilador do ice maker



Fonte: Autor (2021)

De acordo com a análise de capacidade da figura 55 abaixo, o valor do  $C_{pk}$  (1,34) indica que o motor ventilador atende ao processo.

Figura 55 – Relatório de capacidade do motor ventilador do ice maker



Fonte: Autor (2021)

### 3.2.4.3 Análise do ice maker

Como foi feita apenas uma medição por configuração, será considerado na fase Analyze apenas o pior caso, encontrado nas configurações 2 e 4, com potência de 5,53W.

## 3.3 ANALYZE

Após a análise de capacidade, o valor de potência de todas as cargas é atualizado considerando a média mais 3 sigmas na direção do limite de especificação associado ao maior consumo de potência, exceto a válvula de água, que foi considerado 2,85 desvios padrão, que é o nível sigma apresentado na figura 52. A

Figura 56 mostra a planilha de gerenciamento de potência com os valores atualizados com base nas medições feitas.

Figura 56 – Gerenciamento de potência após medição das cargas

NOME DA CARGA	LOAD PART NUMBERS	POTÊNCIA	Refrigeração normal, resistências DC ligadas	Ice Maker (Homing)	Enchimento do ice maker	Dispensamento de gelo	Dispensamento de água
RELÉS	PN#		2.25	2.90	4.45	4.45	2.50
CARGAS DC	PN#		9.39	12.68	12.68	12.68	5.77
RC LIGHT	W10883842	1.097	0	2	2	2	0
FC LIGHT	W10883842	1.097	0	1	1	1	1
FC EVAP FAN	W11243203	4.672	1	1	1	1	1
MOTOR VENTILADOR ICE MAKER	W11284795	4.716	1	1	1	1	0
			18.19	14.75	9.21	9.21	20.20
CIRCUITO INTERNO		0.026	1	1	1	1	1
MICROCONTROLADOR		0.241	1	1	1	1	1
BUZZER		0.070	1	1	1	1	1
CIRCUITO INTERNO		0.000	1	1	1	1	1
CIRCUITO INTERNO		0.020	1	1	1	1	1
SENSOR		0.000	1	1	1	1	1
CIRCUITO INTERNO		0.009	1	1	1	1	1
SENSOR		0.032	1	1	1	1	1
LED		0.826	1	1	1	1	1
LED		0.765	1	1	1	1	1
R. BATENTE MÓVEL	W10585974	8.203	1	0	0	0	0
R. DUTO DE PORTA	W10852179	1.941	1	0	0	0	0
R. TUBO DE ENCHIMENTO	W10451956	2.972	1	1	1	1	1
VÁLVULA ENTRADA DE ÁGUA	W11224166	10.989	0	0	0	0	1
R. DISPENSADOR	W10752689	3.082	1	0	0	0	0
ICE MAKER	W10719663	5.538	0	1	0	0	0
MOTOR DE PASSO PORTA GELO	W10184812	4.251	0	1	1	1	1
	POTÊNCIA TOTAL		29.83	32.53	28.54	28.54	28.47

Fonte: Autor (2021)

Ao observar a planilha de gerenciamento de potência com os valores medidos e comparar com a planilha da figura 8, construída com valores nominais, é possível fazer algumas observações:

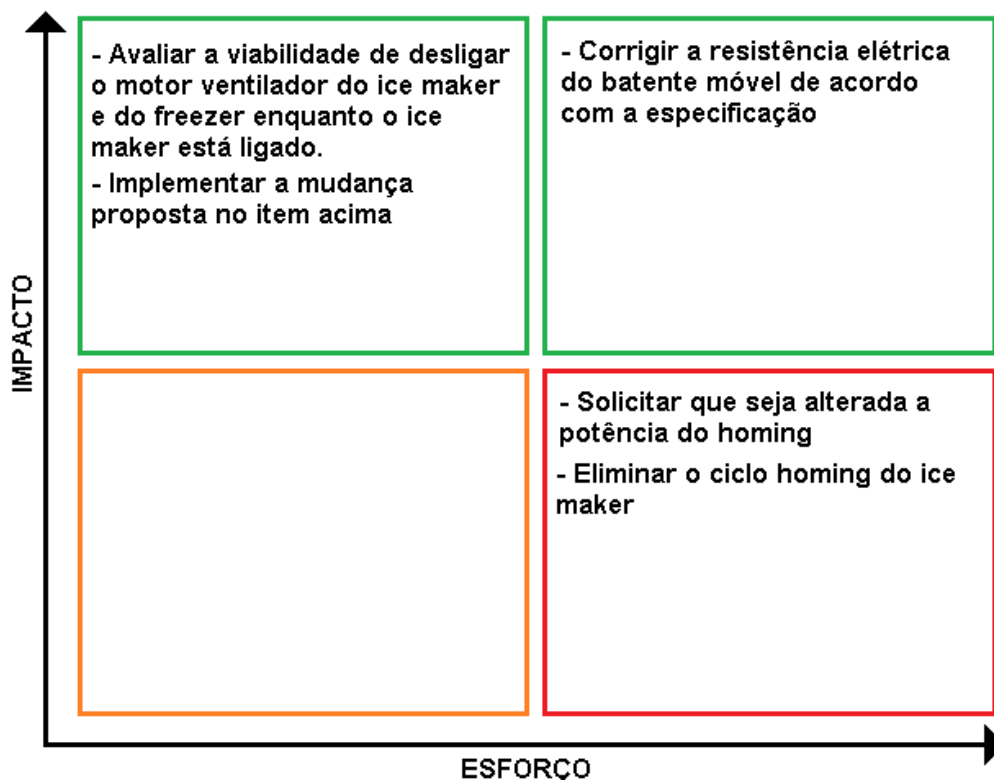
1. As somas de potência em todos os piores casos são menores que o estabelecido pela especificação;
2. Não haverá desligamento automático do produto nas condições de enchimento do ice maker, dispensamento de gelo e dispensamento de água;
3. A chance de o produto desligar automaticamente enquanto o ice maker está ativo é muito alta, já que ultrapassa 2,53W do limite de 30W;
4. Mesmo que a resistência do batente móvel esteja acima do limite de especificação de potência, a soma de potência de todas as cargas nas piores condições possíveis ainda não chega aos 30W e representa uma diferença de potência entre valor teórico e medido de 1,3W.

### 3.4 IMPROVE

Como foi visto na fase Análise que há um problema em potencial no cenário de colheita de gelo, é necessário realizar ações que erradiquem ou diminuam o problema. Após a montagem dos protótipos, foi relatado que três entre 30 produtos reiniciaram automaticamente segundos após serem energizados, apontando o ice maker no modo homing como candidato a causa do problema devido ao fato de que o cenário com maior potência está diretamente relacionado a essa carga e esse modo de operação.

O time de projeto foi reunido para propor soluções para esse problema iniciando por um brainstorm e em seguida, foi montado o diagrama de impacto e esforço, mostrado na figura 57 abaixo.

Figura 57 – Diagrama Impacto x Esforço para impedir o desligamento automático



Fonte: Autor (2021)

A classificação dos itens propostos como melhoria no diagrama acima é justificada a seguir:

- Eliminar o ciclo homing do ice maker: Além de ser difícil de implementar, teria impacto negativo. Em caso de queda de energia do produto enquanto era feito um ciclo de colheita de gelo a forma não estará na posição adequada na reenergização do produto e não é possível abrir mão disso;
- Corrigir a resistência do batente móvel de acordo com a especificação: apesar de não estar acionada enquanto o ice maker está ligado e não estar causando falha por sobrecarga, é de interesse da área encarregada dos sistemas elétricos e eletrônicos manter o consumo das cargas elétricas dentro da especificação. Para isso, será necessário contatar o fornecedor para pedir que ajuste a resistência do batente móvel e realizar novas medições para validar a mudança;
- Solicitar que seja alterada a potência do homing: O ice maker é um módulo utilizado em vários outros produtos da companhia, qualquer alteração nesse componente além de ter que ser aprovada por todos os Process Owners de outros refrigeradores, teria que garantir que resolveria o problema através de um novo teste. Isso gera custo e demanda um tempo que não está disponível;
- Avaliar a viabilidade de desligar o motor ventilador do ice maker e do freezer enquanto o ice maker está ligado: Desligando esses dois motores enquanto o ice maker está ligado faz com que a potência elétrica nessa configuração caia de 32,53W para 23,14W. O esforço necessário é consultar o engenheiro mecânico responsável pelo subsistema de refrigeração, que já está na reunião de construção da matriz de impacto/esforço;
- Implementar a mudança proposta no item acima: Caso aprovado pelo Process Owner, é necessário atualizar a rotina de software, verificar se a mudança da rotina está funcionando corretamente e regravar as placas eletrônicas dos protótipos com o novo firmware.

O parecer técnico do engenheiro mecânico referente a proposta de desligamento dos motores ventilador do ice maker e do freezer é que a mudança de rotina é possível devido ao fato de que as cargas ficarão desligadas por um curto período comparado a mudança quase imperceptível de temperatura que acontecerá durante a ausência do fluxo de ar.

A fase improve é encerrada aplicando as modificações propostas na rotina do software de controle das cargas elétricas.

### 3.5 CONTROL

Após a mudança na rotina de controle de cargas e regravação do firmware das placas eletrônicas dos protótipos, foi observado que nenhum dos 30 refrigeradores apresentaram desligamento automático durante todas as fases de testes de produto. Para manter o funcionamento correto do produto, algumas recomendações são feitas:

- Verificação dos limites de especificação das cargas elétricas por amostragem na entrada da linha de produção;
- Para verificar se o processo de produção dos componentes elétricos se comporta de maneira semelhante aos dados medidos nesse trabalho, é recomendado aplicar as cartas de controle variando lote, máquina e turno e utilizando para o cálculo de limites de controle os dados medidos na fase Measure.
- No final da linha de produção, onde são testados todos os produtos, adicionar na rotina de testes um monitoramento de energia para verificar se o produto está reiniciando automaticamente;
- Adequar a resistência do batente móvel aos limites de especificação.



## 4 CONCLUSÃO

O desenvolvimento desse trabalho seguiu a metodologia DMAIC e utilizou ferramentas estatísticas para prever um problema de desligamento automático indesejado e propor uma solução de baixo custo logo no momento que foi identificada nos primeiros protótipos, evitando que o cronograma do projeto do produto fosse atrasado para identificar a causa raiz do problema.

Apesar de as ferramentas Six Sigma serem utilizadas na maioria das vezes como uma medida para resolver problemas recorrentes em linhas de produção, ao combinar com uma ferramenta interna da empresa, o Six Sigma se mostrou robusto para evitar que um problema acontecesse ainda durante a fase de prototipagem.

Durante a fase Measure, ao aplicar a carta X barra R, foi possível perceber que além de utilizar uma boa ferramenta para nortear as análises, é necessário também ter conhecimento de como a ferramenta funciona, visto que os valores das resistências elétricas pareciam estar completamente fora de controle estatístico devido as três medições feitas no mesmo elemento.

A realização desse projeto permitiu observar na prática como variáveis de ambiente interagem com as grandezas físicas medidas. Além disso, permitiu também aprimorar as habilidades de argumentação e negociação, visto que era necessário convencer terceiros de que as melhorias propostas eram de fato promissoras.

Como sugestão de melhoria e trabalhos futuros, conforme supracitado na fase control, é necessário contatar o fornecedor do elemento de resistência inserido dentro do batente móvel para que esse atenda as especificações de resistência elétrica. Além disso, também é recomendado que seja feita a análise de capacidade com o motor ventilador do freezer e do ice maker de forma completa, já que foi feita apenas uma medida por configuração, com o objetivo de deixar documentado a potência medida para que os dados possam ser utilizados em projetos futuros.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, Theodore T. **Introduction to Engineering Statistics and Six Sigma**. Ohio: Springer, p. 10-46, 2011.
- ANTONY, Jiju; VINODH, S.; GIJO, E. V.. **Lean Six Sigma for Small And Medium Sized Enterprises: A practical guide**. Nova Iorque: Crc Press, p. 83-138, 2016.
- CHIARINI, Andrea. **From Total Quality Control to Lean Six Sigma: evolution of the most important management systems for the excellence**. Bologna: Springer, p. 41, 2012.
- COSTA, Antonio Fernando Branco; EPPRECHT, Eugenio Kahn; CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. **Controle Estatístico de Qualidade**. São Paulo: Atlas, 2. ed. p.14-117, 2005.
- COUTINHO, Thiago. KPI's e Métricas Seis Sigma. **Voitto**, 2020. Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/metricas-seis-sigma>>. Acesso em: 11 set. 2021.
- DOE – O que é planejamento de experimentos?. **Iwankio Consulting**. 2019. Disponível em <<https://www.iwankioconsulting.com.br/doe/>>. Acesso em 16 Ago. 2021.
- HOWARD, David. The basics of statistical process control & process Behaviour charting. **New Zealand Business Excellence Foundation**. 2003. Disponível em: <<https://nzbef.org.nz/wp-content/uploads/2019/05/Guide-Statistical-Process-Control.pdf>>. Acesso em: set. 2021.
- KUBIAK, T. M.; BENBOW, Donald W.. **The Certified Six Sigma Black Belt Handbook**. 2. ed. Milwaukee: Asq Quality Press, p. 14-93, 2009.
- KWAK, Young Hoon. **Benefits, obstacles, and future of six sigma approach**. Washington: Technovation, v.26, p. 708-710, fev. 2006.
- MARINS, Cristiano Souza; SOUZA, Daniela de Oliveira; TERRA, Viviane Tavares. Estratégia Seis Sigma: em busca de competitividade. In: XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2009, Salvador. Anais... . Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2009. p. 2-4. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2009\\_TN\\_STO\\_092\\_626\\_13103.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2009_TN_STO_092_626_13103.pdf)> . Acesso em: set. 2021.
- MCNEESE, Bill. Xbar-mR-R (BetweenWithin) Control Chart. **SPC for Excel**. 2011. Disponível em: <<https://www.spcforexcel.com/knowledge/variable-control-charts/xbar-mr-r-betweenwithin-control-chart>>. Acesso em: 1 set. 2021.
- MORGAN, John; JONES, Martin Brenig. **Lean Six Sigma for Dummies**. 2. ed. Chichester: Wiley, p. 179, 2011.
- NOGUEIRA, Alexandre. O que é brainstorming? Como fazer em 4 passos práticos. **CAE Treinamentos**. 2020. Disponível em:

<<https://caetreinamentos.com.br/blog/gestao-empresarial/o-que-e-brainstorming/>>. Acesso em 10 set. 2021.

PANDE, Peter S.; NEUMAN, Robert P.; CAVANAGH, Roland R.. **The Six Sigma Way**: How GE, Motorola, and other top companies are honing their performance. Nova Iorque: McGraw-Hill, p. 6, 2000.

SANTOS, Adriana Barbosa; MARTINS, Manoel Fernando. **Modelo de referência para estruturar o Seis Sigma nas organizações**. São Carlos: Gest. Prod., v.15, n.1, p. 43-46, 2008.

SLEEPER, Andrew. **Design For Six Sigma Statistics**. Fort Collins: McGraw-Hill, p.2 - 11, 2006.

UMA COMPARAÇÃO da capacidade potencial e da capacidade global. Suporte Minitab 19. 2021. Disponível em: <<https://support.minitab.com/pt-br/minitab/20/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/capability-analysis/supporting-topics/capability-metrics/potential-and-overall-capability/>>. Acesso em 25 Set. 2021.

VISÃO GERAL de teste de normalidade. **Suporte Minitab 19**. 2020. Disponível em <<https://support.minitab.com/pt-br/minitab/19/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/how-to/normality-test/before-you-start/overview/>>. Acesso em 28 Ago. 2021.

WERKEMA, Cristina. **Métodos PDCA e DMAIC e suas ferramentas analíticas**. Rio de Janeiro: Elsevier, p. 51-143, 2012.

ZACARIAS, Daniel. The Complete Guide to the Kano Model. **Carrer PM**, 2020. Disponível em: <<https://www.carrer.pm/briefings/kano-model>>. Acesso em: 11 set. 2021.