

WAGNER ANTUNES DA SILVA

**Implementação da fase I do CEP em uma linha de envase de defensivos agrícolas voltada
para a indústria 4.0**

Wagner Antunes da Silva

Implementação da fase I do CEP em uma linha de envase de defensivos agrícolas voltada para a indústria 4.0

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, na área de Controle Estatístico e Técnicas Multivariadas.

Orientadora: Profa. Dra. Marcela Aparecida Guerreiro Machado de Freitas
Coorientador: Prof. Dr. Fabrício Maciel Gomes

Guaratinguetá - SP
2022

S586i	Silva, Wagner Antunes da Implementação da fase I do CEP em uma linha de envase de defensivos agrícolas voltada para a indústria 4.0 / Wagner Antunes da Silva - Guaratinguetá, 2023. 133 f : il. Bibliografia: f. 126-132 Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2023. Orientadora: Profª. Drª. Marcela Aparecida Guerreiro Machado de Freitas Coorientador: Prof. Dr. Fabrício Maciel Gomes 1. Gerenciamento de recursos de informação. 2. Controle de processo. 3. Controle de qualidade. I. Título. CDU 658.511.3(043)
-------	---

Luciana Máximo
Bibliotecária/CRB-8/3595

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

A pesquisa proporciona os impactos sob os aspectos científico, técnico e econômico conforme segue:

Aplicação da teoria acadêmica de maneira direta, em situação de problema real na indústria;

Aproximação entre academia e indústria, com benefícios mútuos.

Aprofundamento da avaliação da Fase I do CEP, tão pouco estudada e avaliada nas implementações de CEP em indústrias.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This research generates impacts related to aspects such as scientific, technical and economic, as follows:

To apply academic theory in real problem situation in industry;

Close collaboration between academy and industry, with mutual benefits for both;

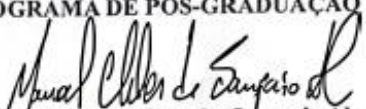
Deep evaluation of Phase I in SPC and applications related to Industry 4.0 technologies, with still few studies in SPC industrial implementations.

Wagner Antunes da Silva

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO”**

**PROGRAMA: ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO: MESTRADO**

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Profa. Da. Marcela Aparecida Guerreiro Machado de Freitas
Orientadora / UNESP/FEG
participou por videoconferência


PROF. DR. Messtas Borges Silva
UNESP/FEG
participou por videoconferência


PROF. DR. FELIX MONTEIRO DA SILVA
USP
participou por videoconferência

DADOS CURRICULARES

WAGNER ANTUNES DA SILVA

NASCIMENTO	27.04.1982 – Rondonópolis / MT
FILIAÇÃO	Valmir Vieira da Silva Tânia Maria Antunes Alves
2002/2006	Engenharia Industrial Química pela USP - Escola de Engenharia de Lorena
2007/2008	Especialização em Qualidade e Produtividade pela UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá.
2012/2014	MBA em Gestão Empresarial pela FGV – Fundação Getúlio Vargas

dedico este estudo
de modo especial, à minha família

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, fonte da vida e da graça. Agradeço pela minha vida, minha motivação, minha família e amigos;

aos professores que tive no início da vida acadêmica, orientadores não só do saber, mas da vida, cito aqui apenas 2 exemplos para não me estender em demasiado: Prof. Dr. Messias Borges Silva e Prof. Dr. Carlos Roberto de Oliveira Almeida (que Deus o tenha em seus braços);

aos meus orientadores, Prof^a. Dra. Marcela Aparecida Guerreiro Machado de Freitas e Prof. Dr. Fabrício Maciel Gomes que jamais deixaram de me incentivar. Sem a sua orientação, dedicação e auxílio, o estudo aqui apresentado seria praticamente impossível;

à Universidade Estadual Paulista, seu corpo docente, direção e administração pela orientação e apoio;

aos meus pais Marcos e Tânia, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram meus estudos;

à minha esposa Érica, filhos Pedro e Amanda, pela paciência, suporte e inspiração;

ao amigo e colega de trabalho Guilherme Monteiro, por todo o suporte e parceria no decorrer do estudo;

ao amigo Nelson Cruz, pela oportunidade de desenvolvimento deste estudo e inspiração aos estudos.

“Há quem passe pelo bosque e só veja lenha
para a fogueira.”

Liev Tolstói.

RESUMO

O controle estatístico de processos (CEP) é usado em vários processos de manufatura ao redor do mundo, porém, com pouca ênfase no estudo da fase I do CEP. O estudo teve como objetivo desenvolver procedimento de implementação da fase I do CEP, em linha de envase de defensivos agrícolas, assim como a criação de uma *big data* de causas especiais do processo, tipos de falhas envolvidas, a partir de análise estatística de dados históricos. Também objetivou implementar uso de *tablet* pelos operadores e ferramentas e tecnologias da indústria 4.0, com uma interface amigável, orientando o operador sobre como e quando realizar ajustes no processo, além de inserir usabilidades que possam auxiliar o operador na obtenção da melhor condição de operação, desde o *setup* até o controle do processo em si, através da variável de estudo: peso líquido envasado em cada bombona de 5 litros (L). Metodologia de pesquisa aplicada é a pesquisa-ação, com equipe composta pelos pesquisadores e colaboradores diretamente envolvidos no processo, trabalhando em ciclo de pesquisa, através da criação de conhecimento durante a própria pesquisa. Contribuições: aplicar teoria acadêmica em situação de problema real na indústria; aproximação entre academia e indústria, com benefícios mútuos e o aprofundamento da avaliação da fase I do CEP e aplicações voltadas para a indústria 4.0, pouco estudada nas implementações industriais do CEP. Como resultados obteve-se a criação de uma base sólida de dados históricos (*big data*) para discussão das causas especiais na fase I do CEP, sendo possível eliminação das mesmas antes da implementação do CEP de fato (fase II). Foram implementadas diversas usabilidades, de maneira a deixar o processo menos dependente da intervenção humana / operacional integrando sistemas físico cibernético (SFC), como componentes heterogêneos, métodos e ferramentas.

PALAVRAS-CHAVE: cep; fase I; indústria 4.0; envase.

ABSTRACT

Statistical process control (SPC) is worldwide used, but with few emphases in phase I evaluation. This study aims to develop phase I implementation procedures, in filling lines of agrochemicals, as well as creation of a big data of process special causes and types of failures from the statistical analysis of historical data. This work also aims to implement the use of tablet by the operators and tools and industry 4.0 technologies, with a friendly interface, guiding operator about when and how adjust the process, besides adding usability which helps operator to obtain better operation condition, since setup until the process control itself, through control variable: net weight filled in each 5 L jerrycan. Applied methodology is action-research, with team composed by researchers and employees directly involved in the process, working in research cycles, trough knowledge creation during the research itself. Contributions: to apply academic theory in real problem situation in industry; close collaboration between academy and industry, with mutual benefits for both and deep evaluation of phase I in SPC and applications related to industry 4.0 technologies, with still few studies in SPC industrial implementations. As result, there was the creation of a solid data base of historical data (big data) for special causes discussion in phase I of SPC, providing elimination of those prior to the ultimate SPC implementation (phase II). Several usabilities were implemented, leading to a less dependent of human / operational intervention process, integrating cyber-physical systems (CPS), such as heterogeneous components, methods, and tools.

KEYWORDS: spc; phase I; industry 4.0; filling.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Revoluções industriais	21
Figura 2 – Exemplo de folha de marcha operacional - frente	25
Figura 3 – Exemplo de folha de marcha operacional - verso	26
Figura 4 – Dados históricos da empresa (2018), valores individuais de volume envasado (X) por operador, linha de envase piloto A	26
Figura 5 – Publicações por ano sobre “SPC”, no título, <i>abstract</i> e palavras-chave, limitado a publicações tipo “artigo”.	28
Figura 6 – Publicações por ano sobre “SPC” e “ <i>phase I</i> ” no título, <i>abstract</i> e palavras-chave, limitado a publicações tipo “artigo”	28
Figura 7 – Publicações por ano sobre “SPC”, “ <i>phase I</i> ” e “ <i>industry 4.0</i> ” no título, <i>abstract</i> e palavras-chave, limitado a publicações tipo “artigo”	29
Figura 8 – Publicações por autor sobre “SPC” e “ <i>phase I</i> ” no título, <i>abstract</i> e palavras-chave, limitado a publicações tipo “artigo”, de 2011 a 2021	29
Figura 9 – Classificação percentil Elsevier (Scopus) dos artigos utilizados no estudo.....	30
Figura 10 – Distribuição dos artigos no tempo.....	30
Figura 11 – Entradas e saídas de um processo de produção.....	36
Figura 12 – Esquema da linha de envase B.	36
Figura 13 – Máquina de envase da linha do estudo, B.	38
Figura 14 – Ilustração de um processo de amostragem.....	38
Figura 15 – Ilustração de um processo de com diferentes variáveis de saída e funções densidade (distribuições normais), para os valores selecionados de μ e σ^2	39
Figura 16 – Exemplo de distribuição normal	41
Figura 17 – Diferenças entre C_p e C_{pk}	43
Figura 18 – Exemplo diagrama causa e efeito.....	46
Figura 19 – Distribuição geográfica dos artigos relacionados à indústria 4.0 - 2012 e 2016..	47
Figura 20 – Palavras-chave relacionadas a tecnologias de abertura.....	48
Figura 21 – Regiões mais citadas entre 2011 e 2021 para o termo “ <i>industry 4.0</i> ” no título, limitado a publicações tipo “artigo”	48
Figura 22 – <i>Layout</i> da indústria 4.0.....	52
Figura 23 – Quatro componentes da indústria 4.0 e fábrica inteligente dentro da indústria 4.0	53
Figura 24 – Esquema do sistema de medição.....	54

Figura 25 – Classificação da pesquisa	57
Figura 26 – Estruturação para condução da pesquisa-ação	58
Figura 27 – Exemplo <i>patch notes</i> ou <i>work cycles</i>	64
Figura 28 – Página inicial (solução em Microsoft® Excel + <i>Visual Basic</i>)	66
Figura 29 – Central de CEP (solução em Microsoft® Excel + <i>Visual Basic</i>)	67
Figura 30 – Janela inserção de dados (solução em Microsoft® Excel + <i>Visual Basic</i>)	68
Figura 31 – <i>Pop-up</i> de informação: “o processo está sob controle?” (solução em Microsoft® Excel + <i>Visual Basic</i>)	68
Figura 32 – Base de dados (solução em Microsoft® Excel + <i>Visual Basic</i>)	69
Figura 33 – Página inicial (Skelta®)	71
Figura 34 – Página de coleta de dados da produção (Skelta®)	72
Figura 35 – Central de controle estatístico do processo (Skelta®)	73
Figura 36 – Relatório gerencial do processo (Skelta®)	74
Figura 37 – Ilustração parcial do resultado da elaboração da base de dados, linha piloto A ..	75
Figura 38 – Testes de normalidade de Anderson-Darling para os bicos 1 e 2	75
Figura 39 – Testes de normalidade de Anderson-Darling para os bicos 3 e 4	76
Figura 40 – Testes de normalidade de Anderson-Darling para os bicos 5 e 6	76
Figura 41 – Testes de normalidade de Anderson-Darling para os bicos 7 e 8	76
Figura 42 – Testes de normalidade de Anderson-Darling para os bicos 1 e 2, lote cinco	77
Figura 43 – Testes de normalidade de Anderson-Darling para os bicos 3 e 4, lote cinco	77
Figura 44 – Testes de normalidade de Anderson-Darling para os bicos 5 e 6, lote cinco	78
Figura 45 – Testes de normalidade de Anderson-Darling para os bicos 7 e 8, lote cinco	78
Figura 46 – <i>Box plot</i> bico 4, lote cinco, por operador.	79
Figura 47 – <i>Box plot</i> bico 6, lote cinco, por operador.	79
Figura 48 – <i>Box plot</i> bico 7, lote cinco, por operador.	80
Figura 49 – Teste de capacidade para o bico 1	81
Figura 50 – Teste de capacidade para o bico 2	82
Figura 51 – Teste de capacidade para o bico 3	82
Figura 52 – Teste de capacidade para o bico 5	83
Figura 53 – Teste de capacidade para o bico 8	83
Figura 54 – Carta I-MR do bico 1, lote cinco.....	85
Figura 55 – Carta I-MR do bico 2, lote cinco.....	85
Figura 56 – Carta I-MR do bico 3, lote cinco.....	85
Figura 57 – Carta I-MR do bico 5, lote cinco.....	86

Figura 58 – Carta I-MR do bico 8, lote cinco.....	86
Figura 59 – <i>Box plot</i> bico 1, lote cinco, por operador	87
Figura 60 – <i>Box plot</i> bico 2, lote cinco, por operador	87
Figura 61 – Gráfico carta I-MR, bico 1, teste piloto linha A, pós CEP	88
Figura 62 – Gráfico carta I-MR, bico 2, teste piloto linha A, pós CEP	89
Figura 63 – Gráfico carta I-MR, bico 3, teste piloto linha A, pós CEP	89
Figura 64 – Gráfico carta I-MR, bico 4, teste piloto linha A, pós CEP	89
Figura 65 – Gráfico carta I-MR, bico 5, teste piloto linha A, pós CEP	90
Figura 66 – Gráfico carta I-MR, bico 6, teste piloto linha A, pós CEP	90
Figura 67 – Base de dados gerada no teste piloto linha A, pós CEP	91
Figura 68 – <i>Box plot</i> bico 1, por operador, pós-implementação CEP, linha A	92
Figura 69 – <i>Box plot</i> bico 2, por operador, pós-implementação CEP, linha A	92
Figura 70 – Testes de normalidade de Anderson-Darling para os bicos 1 e 2, linha B	94
Figura 71 – Testes de normalidade de Anderson-Darling para os bicos 3 e 4, linha B	94
Figura 72 – Testes de normalidade de Anderson-Darling para os bicos 5 e 6, linha B	94
Figura 73 – Testes de normalidade de Anderson-Darling para o bico 7, linha B	95
Figura 74 – <i>Box plot</i> bico 3, linha B, antes, por operador	96
Figura 75 – <i>Box plot</i> bico 6, linha B, antes, por operador	96
Figura 76 – Teste de capacidade para o bico 1, linha B, antes	97
Figura 77 – Teste de capacidade para o bico 2, linha B, antes	98
Figura 78 – Teste de capacidade para o bico 4, linha B, antes	98
Figura 79 – Teste de capacidade para o bico 5, linha B, antes	98
Figura 80 – Teste de capacidade para o bico 7, linha B, antes	99
Figura 81 – Carta I-MR do bico 1, linha B, antes	100
Figura 82 – Carta I-MR do bico 2, linha B, antes	100
Figura 83 – Carta I-MR do bico 4, linha B, antes	101
Figura 84 – Carta I-MR do bico 5, linha B, antes	101
Figura 85 – Carta I-MR do bico 7, linha B, antes	101
Figura 86 – <i>Box plot</i> bico 4, linha B, antes, por operador.	102
Figura 87 – Teste de normalidade de Anderson-Darling para os bicos 1 e 2, linha B, pós CEP	102
Figura 88 – Teste de normalidade de Anderson-Darling para os bicos 3 e 4, linha B, pós CEP	104

Figura 89 – Teste de normalidade de Anderson-Darling para os bicos 5 e 6, linha B, pós CEP	104
Figura 90 – Teste de normalidade de Anderson-Darling para os bicos 7 e 8, linha B, pós CEP	104
Figura 91 – Gráfico carta I-MR, bico 1, teste piloto linha B, pós CEP.	105
Figura 92 – Gráfico carta I-MR, bico 2, teste piloto linha B, pós CEP.	105
Figura 93 – Gráfico carta I-MR, bico 3, teste piloto linha B, pós CEP.	105
Figura 94 – Gráfico carta I-MR, bico 4, teste piloto linha B, pós CEP.	106
Figura 95 – Gráfico carta I-MR, bico 5, teste piloto linha B, pós CEP.	106
Figura 96 – Gráfico carta I-MR, bico 6, teste piloto linha B, pós CEP.	106
Figura 97 – Gráfico carta I-MR, bico 7, teste piloto linha B, pós CEP.	107
Figura 98 – Gráfico carta I-MR, bico 8, teste piloto linha B, pós CEP.	107
Figura 99 – Base de dados gerada na linha de estudo B, pós CEP.	108
Figura 100 – <i>Box plot</i> bico 4, por operador, pós-implementação CEP, linha B, pós CEP	109
Figura 101 – Exemplo planilha de controle de peso por bico de envase, linha B, antes.....	111
Figura 102 – Conjunto de quatro ModuFlex® da linha de envase do estudo B.....	112
Figura 103 – Modelo de uma das três folhas de marcha de envase por lote, preenchimento manual	115
Figura 104 – <i>Tablet</i> utilizado pelos operadores no estudo	117
Figura 105 – “Usabilidade” – carta I-MR por bico	117
Figura 106 – “Usabilidade” – automonitoramento do processo para outros controles.	118
Figura 107 – “Usabilidade” – leitura das embalagens via código de barras e QR Codes	119
Figura 108 – “Usabilidade” – Consulta de parâmetros de ajuste inicial no <i>tablet</i> do ModuFlex®, etapa envase	120
Figura 109 – Monitoramento em tempo real das linhas de envase relacionado à possíveis problemas com embalagem.	121
Figura 110 – Página do “manual de operação para a folha de marcha digital”.....	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fontes de pesquisa utilizados no estudo	30
Tabela 2 – Condições de qualidade e valores de C_p para processos centrados	44
Tabela 3 – Resultado dos testes de normalidade linha piloto A	78
Tabela 4 – Estatística descritiva do bico 4, lote cinco, por operador	80
Tabela 5 – Tolerâncias individuais permitidas.....	81
Tabela 6 – Resultados dos testes de capacidade linha piloto A.....	84
Tabela 7 – Estatística descritiva do bico 1, lote cinco, por operador	87
Tabela 8 – Estatística descritiva do bico 2, lote cinco, por operador.	88
Tabela 9 – Estatística descritiva do bico 1, linha A, pós implementação, por operador.....	92
Tabela 10 – Estatística descritiva do bico 2, linha A, pós implementação, por operador	93
Tabela 11 – Resultado dos testes de normalidade linha estudo B	95
Tabela 12 – Estatística descritiva do bico 3, linha B, antes, por operador	97
Tabela 13 – Resultados dos testes de capacidade linha do estudo B, antes	99
Tabela 14 – Estatística descritiva do bico 4, linha B, antes, por operador	103
Tabela 15 – Estatística descritiva do bico 4, linha B, pós implementação, por operador	110

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BOPP	Biaxially oriented polypropylene
CEP	Controle Estatístico de Processos
CPU	Índice de Capabilidade do Processo
CSS	Cascading Style Sheet
CUSUM	Cumulative Sum
ERP	Enterprise Resource Planning
EWMA	Exponentially Weighted Moving Average
HTML	HyperText Markup Language
IdC	Internet das Coisas
IIdC	Internet Industrial das Coisas
I-MR	Individual Moving Range
IoT	Internet of Things
L	Litro
LC	Linha Central
LGPD	Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais
LIC	Limite Inferior de Controle
LIE	Limite Inferior de Especificação
LSC	Limite Superior de Controle
LSE	Limite Superior de Especificação
MEP	Monitoramento Estatístico de Processos
MI	Mililitro
PDCA	Plan, Do, Check, Act
PLC	Programmable Logic Controller
QR Code	Quick Response Code
RFID	Radio-Frequency Identification
SC	Suspension Concentrate
SFC	Sistemas Físico-cibernéticos
SL	Soluble Concentrate
SPC	Statistical Process Control
SQL	Structured Query Language
SSFI	Sensores Sem Fio Industriais
TCC	Tukey Control Chart

LISTA DE SÍMBOLOS

β	probabilidade de ocorrência do erro tipo II
C_p	índice de capacidade do processo em relação à especificação
C_{pi}	compara variabilidade do processo com o limite inferior de especificação (LIE)
C_{pk}	índice de dispersão do processo
C_{ps}	compara variabilidade do processo com o limite superior de especificação (LSE)
h_0	hipótese nula
h_1	hipótese alternativa
L^+	limites de volume superior
L^-	limites de volume inferior
μ	média da população (processo)
μ_0	média da população (processo) sob controle
μ_1	média da população (processo) sob efeito de causa especial
P_p	índice de capacidade global do processo em relação à especificação
P_{pk}	índice de dispersão global do processo
s	desvio padrão amostral
s^2	variância amostral
$\bar{x}$	média amostral
α	probabilidade de ocorrência do erro tipo I
σ	desvio padrão da população
$\sigma^{\wedge}$	desvio padrão amostral (processo)
$\sigma^{\wedge 2}$	variância da população (processo)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	20
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA.....	20
1.2	QUESTÕES DA PESQUISA.....	24
1.3	JUSTIFICATIVA E CONTRIBUIÇÕES CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS...24	
1.4	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	31
1.5	OBJETIVO GERAL.....	31
1.6	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	31
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	32
2.1	BREVE HISTÓRICO DO (CEP) E A CONTEXTUALIZAÇÃO COM O PROCESSO NA LINHA DE ENVASE DO ESTUDO.....	32
2.1.1	A carta de valores individuais de X / amplitude móvel (I-MR).....	39
2.1.2	A distribuição normal.....	40
2.1.3	Testes de normalidade.....	41
2.1.4	Análise de capacidade.....	42
2.2	FASE I DO CEP E MÉTODOS DE ANÁLISE DE FALHA.....	44
2.3	INDÚSTRIA 4.0.....	46
2.3.1	Definição de indústria 4.0.....	47
2.3.2	Enquadramento do estudo em indústria 4.0.....	54
3	MÉTODO DE PESQUISA.....	57
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	57
3.2	PLANEJAMENTO DA PESQUISA AÇÃO.....	59
3.2.1	Linha piloto A.....	59
3.2.2	Objeto do estudo linha B.....	59
3.3	COLETA DE DADOS.....	59
3.3.1	Implementação do CEP.....	59
3.3.1.1	Linha piloto A.....	62
3.3.1.2	Objeto do estudo linha B.....	62
3.3.2	Indústria 4.0.....	62
3.3.2.1	Linha piloto A.....	63
3.3.2.2	Objeto do estudo linha B.....	64
3.4	ANÁLISE DOS DADOS E PLANEJAMENTO DAS AÇÕES.....	65
3.4.1	Implementação do CEP.....	65
3.4.1.1	Linha piloto A.....	65

3.4.1.2	Objeto do estudo linha B.....	65
3.4.2	Indústria 4.0.....	66
3.4.2.1	Linha piloto A.....	66
3.4.2.1.1	Software para testes iniciais em linha de envase (Excel + Visual Basic).....	66
3.4.2.2	Objeto do estudo linha B.....	69
3.4.2.2.1	O que é o Skelta® BPM?.....	70
3.4.2.2.2	Validação dos equipamentos de medição da linha do estudo B.....	74
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	75
4.1	CAUSAS ESPECIAIS – PHASE I E IMPLEMENTAÇÃO DO CEP.....	75
4.1.1	Linha piloto A.....	75
4.1.1.1	Análise normalidade do processo por bico de envase.....	75
4.1.1.2	Análise normalidade do processo por bico de envase e lote/campanha.....	77
4.1.1.2.1	Análise de capacidade dos bicos não normais – bicos 4, 6 e 7.....	79
4.1.1.2.2	Avaliação dos bicos normais.....	81
4.1.1.2.3	Cartas I-MR para os bicos normais.....	84
4.1.1.2.4	Análise box plot e estatística descritiva lote cinco.....	86
4.1.1.3	Resultados pós-implementação CEP – linha piloto A.....	88
4.1.1.3.1	Avaliação dos bicos fora de controle estatístico – bicos 1 e 2.....	91
4.1.1.3.2	Análise box plot pós-implementação CEP e estatística descritiva linha piloto A.....	92
4.1.2	Objeto do estudo linha B.....	93
4.1.2.1	Análise normalidade do processo por bico de envase.....	93
4.1.2.2	Avaliação dos bicos não normais – bicos 3 e 6	95
4.1.2.3	Análise de capacidade dos bicos normais.....	97
4.1.2.4	Cartas I-MR para os bicos normais.....	100
4.1.2.5	Análise box plot linha estudo B, antes da implementação do CEP.....	102
4.1.2.6	Resultados linha estudo B, pós-implementação CEP.....	103
4.1.2.6.1	Avaliação dos bicos fora de controle estatístico – bicos 1, 3, 4 e 5	107
4.1.2.6.2	Análise box plot e estatísticas descritivas linha piloto A, pós-implementação CEP	109
4.1.2.7	Análise das causas especiais da fase I – linha do Estudo B – ajuste de peso.....	110
4.1.2.7.1	Ações tomadas linha estudo B.....	113
4.1.2.8	Ação em caso de desvio apontado pela ferramenta do CEP (Carta I-MR) na linha estudo B	113

4.2	INDÚSTRIA 4.0.....	114
4.2.1	Linha piloto A.....	114
4.2.2	Objeto do estudo linha B.....	114
4.3	AVALIAÇÃO DO ATENDIMENTO ÁS QUESTÕES DE PESQUISA.....	114
4.3.1	Questões de pesquisa 1 e 3.....	115
4.3.2	Questões de pesquisa 2.....	121
4.3.3	Questões de pesquisa 4.....	122
5	CONCLUSÃO.....	124
	REFERÊNCIAS.....	126
	ANEXO A.....	133

1 INTRODUÇÃO

Apresentam-se neste capítulo a contextualização da pesquisa, as questões da pesquisa, a justificativa e contribuições científicas e tecnológicas, sua delimitação e por fim, os objetivos geral e específicos dessa dissertação.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

Jewell *et al.* (2020, p. 1) citam que habilidades com informações são essenciais no contexto de negócios onde a informação é abundante e seletiva, em suma, informação nas tomadas de decisão trazem vantagem competitiva.

Segundo Koay *et al.* (2020, p. 1), o conhecimento organizacional é um recurso chave para as empresas no seu esforço para alcançar e manter a vantagem competitiva, e Santos e Valentim (2015, p. 57) mencionam que a informação é fator tão importante quanto o próprio capital humano.

Segundo Ajibade (2017, p. 95), as empresas devem identificar estratégias para localizar fontes de informação, inclusive como são coletadas, processadas, mantidas, usadas e consumidas para aumentar sua performance.

É imprescindível que a organização se atenha à qualidade da informação, buscando formas de avaliá-la, e atingindo assim, maior assertividade nas tomadas de decisão.

A quantidade de informação disponível vem crescendo constantemente e as organizações confiam mais e mais na análise de dados para alcançar sua vantagem competitiva (ARDAGNA *et al.*, 2018, p. 2).

Atualmente vivencia-se a era da indústria 4.0, ou quarta Revolução Industrial, que, segundo Xu, Xu e Li (2018, p. 2942), trata-se da tendência atual de tecnologias de automação na indústria de manufatura, e inclui principalmente tecnologias de abertura como sistemas físico cibernéticos (SFC), internet das coisas (IdC) e computação em nuvem. Já para Vaidya, Ambad e Bhosle (2018, p. 233), é definida como o novo nível de organização e controle sobre toda a cadeia de valor do ciclo de vida dos produtos, e é dirigido cada vez mais para os requerimentos individuais de cada cliente. Ainda segundo o mesmo autor, a indústria 4.0 tem o objetivo de construir uma plataforma de manufatura aberta e inteligente, para aplicações de informações nas redes industriais. Monitoramento de dados em tempo real, acompanhamento do *status* e

posição de um produto, assim como detenção das informações para controlar o processo produtivo, são as principais necessidades da indústria 4.0.

Observa-se que há diversas definições para indústria 4.0. Hofmann e Rüsç (2017, p. 24), juntamente com Bajic, Rikalovic e Piuri (2020, p. 2), mencionam a dificuldade de se encontrar uma definição única e concisa, o que não é difícil com opiniões divergentes entre pesquisadores e profissionais.

Fato é que a indústria 4.0 foi inicialmente introduzida durante a Feira de *Hannover* em 2011 e após, em 2013, foi oficialmente anunciada como uma iniciativa estratégica alemã, para ocupar um papel de pioneirismo na indústria e que vem revolucionando o setor de manufatura e simboliza o começo da 4ª Revolução Industrial (XU; XU; LI, 2018, p. 2941; QIN; LIU; GROSVENOR, 2016, p. 174), como mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Revoluções industriais



Fonte: Adaptado de Vaidya, Ambad e Bhosle (2018).

Como mencionado por Bakhtari *et al.* (2020, p. 2385), o motivo por de trás de cada revolução industrial é ajudar a humanidade. Enquanto as últimas três revoluções focaram na melhoria da performance do trabalho braçal, a indústria 4.0 foca para melhorar a performance da capacidade cerebral para a humanidade.

A maioria das pessoas está ciente das vantagens crescentes que as redes sem fio podem oferecer, desde experiências de fácil acesso até serviços de internet de alta velocidade usando celular, *laptops*, ou outros dispositivos móveis (LI *et al.*, 2017, p. 23).

Empresas de manufatura estão mais focadas em melhorar a performance da produção em termos do aumento da produtividade para que possam sobreviver ao mercado competitivo, porque uma produtividade de alta performance tem relação direta com a eficiência dos equipamentos e o controle de processo (AZIZI, 2015, p. 186).

É premissa que os processos devem estar estabilizados e as informações disponíveis. Para tal, o controle e gerenciamento da qualidade se fazem altamente necessários.

Visando aumentar a confiabilidade de suas operações, empresas desenvolvem diariamente métodos de controle, os quais visam diminuir a variação de seus equipamentos, contudo conforme cita Montgomery e Runger (2018), sempre existirá uma variância que não poderá ser eliminada, mesmo que todas as manutenções e intervenções sejam realizadas adequadamente. Estas variações no equipamento ou processo, são consideradas naturais e pode-se definir que um processo apenas com estas variações é um processo sob controle. No entanto, quando o processo é afetado por fatores distintos aos previamente citados, considera-se a existência de uma “causa especial” no mesmo.

Um sistema de manufatura é usado para produzir produtos com valor agregado por meio de vários recursos de manufatura como máquina, ferramentas, trabalho etc. (YAO *et al.*, 2017, p. 5).

Plantas frequentemente usam uma ampla gama de dispositivos, baseados em diferentes tecnologias de diferentes épocas. Alguns dispositivos são de quando as plantas foram construídas e alguns foram adicionados como parte da melhoria contínua. (THEORIN *et al.*, 2016, p. 1).

No controle e gerenciamento de qualidade, o monitoramento estatístico de processo (MEP) desempenha um papel transformador. De monitoramento da qualidade em indústrias de transformação até vigilância em saúde, de serviço de monitoramento de qualidade até tráfego de rede; esquemas de MEP são usados como ferramentas fundamentais (SONG *et al.*, 2019, p. 1019).

O controle estatístico de processo (CEP) tem sido usado efetivamente na indústria de transformação e de serviços para monitorar as características de qualidade. Existe muitas ferramentas para monitorar os parâmetros de um processo usando CEP, sendo as cartas de controle, a ferramenta mais usada desse *kit* (ZAMAN; RIAZ; LEE, 2017; PARK; TSUI, 2018).

O uso de cartas de controle pode auxiliar no controle dos processos de manufatura, mostrando ao operador quando deve intervir ou não no processo. A implementação do CEP consiste em duas fases: I e II.

A grande maioria dos trabalhos em indústrias, foca na fase II do CEP e por isso a fase I é tão pouco estudada e avaliada nas implementações industriais do CEP (ZWETSLOOT; WOODWALL, 2019; WOODWALL, 2017; JONES-FARMER *et al.*, 2014; CAPIZZI, 2015).

Há também confusão sobre o que se inclui na fase I, comumente entendida como simples coleta de dados durante determinado tempo e estimativa de parâmetros. Porém, segundo Woodall (2017, p. 7) a fase I inclui:

- Seleção das características de qualidade;
- Avaliação do processo de medição;
- Determinação da estratégia de amostragem baseado em ideias racionais de subgrupo;
- Avaliação da estabilidade de curto e longo prazo;
- Entendimento da variação do processo;
- Implementação de melhorias de processo;
- Coleta de dados adicionais se necessário;
- E só então, decisão sobre como realizar o monitoramento na fase II.

A eficiência das cartas de controle na fase II depende da acurácia das estimativas da fase I (SALEH *et al.*, 2016, p. 1).

Segundo Noskievičová, Smajdorová e Tylečková (2020, p. 1), métodos de análise de *big data* representam instrumentos muito importantes para monitorar e prever a performance de um processo no sistema de produção do futuro, que serão mais e mais baseados profundamente em automatização e digitalização. O que auxilia a eficiência das cartas de controle.

O estudo em questão visa a implementação da fase I do CEP em uma linha de envase de defensivos agrícolas, com uso de *big data* e tecnologias voltadas para a indústria 4.0, de maneira a deixar o processo menos dependente da intervenção humana/operacional e integrando à SFC, como componentes heterogêneos, métodos e ferramentas. O estudo será implementado em empresa do Vale do Paraíba, uma das líderes do mercado nacional. O controle do volume na embalagem primária é realizado através do controle no peso de produto na embalagem. Esse ajuste de peso é realizado de maneira manual e não padronizada. Além disso, o estudo busca a implementação do uso de tablet pelos operadores e de uma interface que seja amigável e que oriente o operador sobre como e quando realizar o ajuste no processo. Tendo como pano de fundo, uma base de dados elaborada por time multidisciplinar, com profundo conhecimento no processo de envase.

Através da avaliação de dados históricos, observou-se falta de padrão quanto ao ajuste do processo e observou-se também um deslocamento da média do processo, estando essa, diversas vezes, muito acima do valor nominal.

1.2 QUESTÃO DA PESQUISA

O estudo pretende responder às seguintes questões de pesquisa:

1 – Como melhorar o uso dos dados de processo, para alcançar maior eficiência das máquinas e equipamentos? Como sugerido para trabalhos futuros por Vaidya, Ambad e Bhosle (2018, p. 238);

2 – Como fazer com que a implementação do CEP seja efetiva e duradoura, ou seja, mantenha-se, após finalização e entrega do projeto? Como recomendado por Madanhire e Mbohwa (2016, p. 583) ao citar que embora certo número de organizações possuam alguma forma de controle de qualidade com auxílio de alguma ferramenta implementada, ainda há que encorajar bom número de empresas para fazer o mesmo, ao invés de confiarem em métodos visuais ou subjetivos, que não são confiáveis, uma vez que são suscetíveis a erros humanos.

3 – Avaliar a viabilidade da implementação de ferramentas (*tablet e big data*) para auxiliar a empresa a implementar melhorias voltadas à indústria 4.0. Como sugerido para trabalhos futuros por Zhou, Liu e Zhou (2015, p. 2151), onde cita que promover a integração do SFC, inclui integração de componentes heterogêneos, métodos e ferramentas. O desafio inclui criação de interfaces para suportar componentes heterogêneos e integração adaptativa dos componentes. E por Nayak *et al.* (2016, p. 13), quando cita que mais pesquisa deve ser realizada para se investigar a integração dos sistemas físico e cibernético; este tipo de integração resultará em complexidades oriundas das interações entre sistemas cibernéticos e certos comportamentos dinâmicos dos sistemas físicos. Porém, sem incorrer em riscos à segurança da informação corporativa e à privacidade de dados, como mencionado por Li e Xu (2017) e Müller (2019, p. 2193).

4 - A padronização da interferência do operador no ajuste de peso traz benefícios ao processo de envase?

1.3 JUSTIFICATIVA E CONTRIBUIÇÕES CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS

Por se tratar de uma empresa multinacional, uma das líderes de mercado no setor de defensivos agrícolas, com ampla gama de produtos e de alto valor agregado; torna-se necessário o foco em melhoria contínua nos seus processos, visando a otimização e geração de economia.

Para processos de envase, cujo ajuste de peso é realizado de forma manual, com uso de balança externa e sem critérios bem definidos quanto à quando e como fazer a intervenção (correção do peso); há sempre o risco de o operador realizar o ajuste quando e da maneira que julgar correto. Muitas vezes, com falta de qualidade na informação que auxilia na tomada de decisão.

Como cita Montgomery (2001), se os operadores do processo ajustam o processo baseado em testes periódicos não relacionados com um programa de carta de controle, eles irão, na maioria das vezes, tomar uma ação exagerada à causa comum de variação e fazer ajustes desnecessários no processo.

De acordo com Montgomery e Runger (2018), há três métodos básicos para amostragem:

- Estudo retrospectivo usando dados históricos;
- Estudo observatório;
- Planejamento de experimentos.

Para avaliação inicial da necessidade dessa pesquisa, foi utilizado o estudo retrospectivo, usando dados históricos (avaliação documental), tanto para a linha piloto A quanto para a linha B, do estudo; através da avaliação das folhas de marcha (logsheets) de envase (Figuras 2 e 3); os dados foram plotados em uma *run chart*, agrupado por operador, onde foi constatada grande variação do peso para as bombonas de 5 litros (L) da linha de envase específica, como também a falta de padronização entre diferentes operadores, constatados pelas médias e desvio padrão dos mesmos.

Figura 2 – Exemplo de folha de marcha operacional - frente

FOLHA DE PROCESSO - FFP							
Planta.....: 6810							
Nº da Ordem: 58504433							
Material...: 58984614							
Nº do lote.....: 1091810450							
Descrição...: 10.450,000 L							
Quantidade...: 10.450,000 L							
Fase	Item	Material	Descrição	Quant.	UN	Nº Lote 1	Nº Lote 2
0022	0010	58991766	Orchestra, BULK	10.450,000L	2091810450		
0022	0020	67635609	Jerrican, Pla, 5L, y	2.111,000PC	2091810450		
0022	0030	67019178	Tprac, Pla, 063mm, dc	2.132,000PC	2091810450		
0022	0040	81080370	ROT ADES FRONTAL ORKESTRA SC, 5L,	2.195,000PC	2091810450		
0022	0050	81080371	CT-ROT-BULA ORKESTRA SC, 5L, BR	2.195,000PC	2091810450		
0022	0060	81101078	SELO ANTI-FALSIFICACAO AGRO,VDE CL	2.090,000PC	2091810450		
0022	0070	67642342	CK PAP, 4X5L, AGCELENCE, ORKESTRA	528,000PC	2091810450		
0022	0080	67655791	BTQ SOBREM 3082, FIRA-FITZAPIROKA	18,000PC	2091810450		
0022	0090	67634206	BTQ ADES ARGOS, DATAMATRIX DESTACA	528,000PC	2091810450		
0022	0100	67650892	FITA ADES FILAMENT, 0.05X500M, S/LOG	2,000PC	2091810450		
0022	0110	67632020	PALLET ONE-WAY 1,20 X 1,0 m (CP 1)	18,000PC	2091810450		
0022	0120	67634746	StrWrap, Pla, n	1,000PC	2091810450		
0022	0130	67633937	FILAME PERDL, 500X0.23MM, NAT, STRETCH	1,000PC	2091810450		
0022	0140	67634637	ETIQUETA, 148X210 MM - A5	18,000PC	2091810450		
Volume total 10.450				Ocorrências:			
Início Data 07/08/2018 Horário 10:30:45				Fonte do LCA Com Bombonas			
Final Data 07/08/18 Horário 11:30:23				Unidade 232 28 Lote 11931029			
Recurso utilizado 5.000L - 2500L				Gravir 336 28 Lote 11931029			
Operadores				Bombas Veloplad			

Fonte: Elaborador pelo autor.

Figura 3 – Exemplo de folha de marcha operacional - verso

Fórmula para cálculo de peso		Controlar em (NA) Utilizado				Nota relacionada a TQM das máquinas de envasar (operador, data e operação) e Observações Gerais																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Para de embalagem / Tempo	Q	Letra	Nota	NA Final	NA Inicial	Q																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Controlar = 1.1650	Q	83N	836Z	2924930	2924939	2059																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Letra Controlar = 300519130162																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Fórmula																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Controlar = (Tempo / (Peso Volume / Densidade da embalagem))																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Letra nota = 5135	S																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Peso nota = 5325	S																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Letra nota = 5512	S																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Controlar de Peso final																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Ajustar a cada hora todos os blocos de máquina de envasar caso 2 blocos fora da especificação, ajustar o volume a ser envasado																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
ARROSTROS (Nota 1)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>6</th><th>7</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th><th>11</th><th>12</th><th>13</th><th>14</th><th>15</th><th>16</th><th>17</th><th>18</th><th>19</th><th>20</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5325</td><td>5316</td><td>5312</td><td>5310</td><td>5308</td><td>5306</td><td>5304</td><td>5302</td><td>5300</td><td>5298</td><td>5296</td><td>5294</td><td>5292</td><td>5290</td><td>5288</td><td>5286</td><td>5284</td><td>5282</td><td>5280</td><td>5278</td> </tr> <tr> <td>5276</td><td>5274</td><td>5272</td><td>5270</td><td>5268</td><td>5266</td><td>5264</td><td>5262</td><td>5260</td><td>5258</td><td>5256</td><td>5254</td><td>5252</td><td>5250</td><td>5248</td><td>5246</td><td>5244</td><td>5242</td><td>5240</td><td>5238</td> </tr> <tr> <td>5236</td><td>5234</td><td>5232</td><td>5230</td><td>5228</td><td>5226</td><td>5224</td><td>5222</td><td>5220</td><td>5218</td><td>5216</td><td>5214</td><td>5212</td><td>5210</td><td>5208</td><td>5206</td><td>5204</td><td>5202</td><td>5200</td><td>5198</td> </tr> <tr> <td>5196</td><td>5194</td><td>5192</td><td>5190</td><td>5188</td><td>5186</td><td>5184</td><td>5182</td><td>5180</td><td>5178</td><td>5176</td><td>5174</td><td>5172</td><td>5170</td><td>5168</td><td>5166</td><td>5164</td><td>5162</td><td>5160</td><td>5158</td> </tr> <tr> <td>5156</td><td>5154</td><td>5152</td><td>5150</td><td>5148</td><td>5146</td><td>5144</td><td>5142</td><td>5140</td><td>5138</td><td>5136</td><td>5134</td><td>5132</td><td>5130</td><td>5128</td><td>5126</td><td>5124</td><td>5122</td><td>5120</td><td>5118</td> </tr> <tr> <td>5116</td><td>5114</td><td>5112</td><td>5110</td><td>5108</td><td>5106</td><td>5104</td><td>5102</td><td>5100</td><td>5098</td><td>5096</td><td>5094</td><td>5092</td><td>5090</td><td>5088</td><td>5086</td><td>5084</td><td>5082</td><td>5080</td><td>5078</td> </tr> <tr> <td>5076</td><td>5074</td><td>5072</td><td>5070</td><td>5068</td><td>5066</td><td>5064</td><td>5062</td><td>5060</td><td>5058</td><td>5056</td><td>5054</td><td>5052</td><td>5050</td><td>5048</td><td>5046</td><td>5044</td><td>5042</td><td>5040</td><td>5038</td> </tr> <tr> <td>5036</td><td>5034</td><td>5032</td><td>5030</td><td>5028</td><td>5026</td><td>5024</td><td>5022</td><td>5020</td><td>5018</td><td>5016</td><td>5014</td><td>5012</td><td>5010</td><td>5008</td><td>5006</td><td>5004</td><td>5002</td><td>5000</td><td>4998</td> </tr> <tr> <td>4996</td><td>4994</td><td>4992</td><td>4990</td><td>4988</td><td>4986</td><td>4984</td><td>4982</td><td>4980</td><td>4978</td><td>4976</td><td>4974</td><td>4972</td><td>4970</td><td>4968</td><td>4966</td><td>4964</td><td>4962</td><td>4960</td><td>4958</td> </tr> <tr> <td>4956</td><td>4954</td><td>4952</td><td>4950</td><td>4948</td><td>4946</td><td>4944</td><td>4942</td><td>4940</td><td>4938</td><td>4936</td><td>4934</td><td>4932</td><td>4930</td><td>4928</td><td>4926</td><td>4924</td><td>4922</td><td>4920</td><td>4918</td> </tr> <tr> <td>4916</td><td>4914</td><td>4912</td><td>4910</td><td>4908</td><td>4906</td><td>4904</td><td>4902</td><td>4900</td><td>4898</td><td>4896</td><td>4894</td><td>4892</td><td>4890</td><td>4888</td><td>4886</td><td>4884</td><td>4882</td><td>4880</td><td>4878</td> </tr> <tr> <td>4876</td><td>4874</td><td>4872</td><td>4870</td><td>4868</td><td>4866</td><td>4864</td><td>4862</td><td>4860</td><td>4858</td><td>4856</td><td>4854</td><td>4852</td><td>4850</td><td>4848</td><td>4846</td><td>4844</td><td>4842</td><td>4840</td><td>4838</td> </tr> <tr> <td>4836</td><td>4834</td><td>4832</td><td>4830</td><td>4828</td><td>4826</td><td>4824</td><td>4822</td><td>4820</td><td>4818</td><td>4816</td><td>4814</td><td>4812</td><td>4810</td><td>4808</td><td>4806</td><td>4804</td><td>4802</td><td>4800</td><td>4798</td> </tr> <tr> <td>4796</td><td>4794</td><td>4792</td><td>4790</td><td>4788</td><td>4786</td><td>4784</td><td>4782</td><td>4780</td><td>4778</td><td>4776</td><td>4774</td><td>4772</td><td>4770</td><td>4768</td><td>4766</td><td>4764</td><td>4762</td><td>4760</td><td>4758</td> </tr> <tr> <td>4756</td><td>4754</td><td>4752</td><td>4750</td><td>4748</td><td>4746</td><td>4744</td><td>4742</td><td>4740</td><td>4738</td><td>4736</td><td>4734</td><td>4732</td><td>4730</td><td>4728</td><td>4726</td><td>4724</td><td>4722</td><td>4720</td><td>4718</td> </tr> <tr> <td>4716</td><td>4714</td><td>4712</td><td>4710</td><td>4708</td><td>4706</td><td>4704</td><td>4702</td><td>4700</td><td>4698</td><td>4696</td><td>4694</td><td>4692</td><td>4690</td><td>4688</td><td>4686</td><td>4684</td><td>4682</td><td>4680</td><td>4678</td> </tr> <tr> <td>4676</td><td>4674</td><td>4672</td><td>4670</td><td>4668</td><td>4666</td><td>4664</td><td>4662</td><td>4660</td><td>4658</td><td>4656</td><td>4654</td><td>4652</td><td>4650</td><td>4648</td><td>4646</td><td>4644</td><td>4642</td><td>4640</td><td>4638</td> </tr> <tr> <td>4636</td><td>4634</td><td>4632</td><td>4630</td><td>4628</td><td>4626</td><td>4624</td><td>4622</td><td>4620</td><td>4618</td><td>4616</td><td>4614</td><td>4612</td><td>4610</td><td>4608</td><td>4606</td><td>4604</td><td>4602</td><td>4600</td><td>4598</td> </tr> <tr> <td>4596</td><td>4594</td><td>4592</td><td>4590</td><td>4588</td><td>4586</td><td>4584</td><td>4582</td><td>4580</td><td>4578</td><td>4576</td><td>4574</td><td>4572</td><td>4570</td><td>4568</td><td>4566</td><td>4564</td><td>4562</td><td>4560</td><td>4558</td> </tr> <tr> <td>4556</td><td>4554</td><td>4552</td><td>4550</td><td>4548</td><td>4546</td><td>4544</td><td>4542</td><td>4540</td><td>4538</td><td>4536</td><td>4534</td><td>4532</td><td>4530</td><td>4528</td><td>4526</td><td>4524</td><td>4522</td><td>4520</td><td>4518</td> </tr> <tr> <td>4516</td><td>4514</td><td>4512</td><td>4510</td><td>4508</td><td>4506</td><td>4504</td><td>4502</td><td>4500</td><td>4498</td><td>4496</td><td>4494</td><td>4492</td><td>4490</td><td>4488</td><td>4486</td><td>4484</td><td>4482</td><td>4480</td><td>4478</td> </tr> <tr> <td>4476</td><td>4474</td><td>4472</td><td>4470</td><td>4468</td><td>4466</td><td>4464</td><td>4462</td><td>4460</td><td>4458</td><td>4456</td><td>4454</td><td>4452</td><td>4450</td><td>4448</td><td>4446</td><td>4444</td><td>4442</td><td>4440</td><td>4438</td> </tr> <tr> <td>4436</td><td>4434</td><td>4432</td><td>4430</td><td>4428</td><td>4426</td><td>4424</td><td>4422</td><td>4420</td><td>4418</td><td>4416</td><td>4414</td><td>4412</td><td>4410</td><td>4408</td><td>4406</td><td>4404</td><td>4402</td><td>4400</td><td>4398</td> </tr> <tr> <td>4396</td><td>4394</td><td>4392</td><td>4390</td><td>4388</td><td>4386</td><td>4384</td><td>4382</td><td>4380</td><td>4378</td><td>4376</td><td>4374</td><td>4372</td><td>4370</td><td>4368</td><td>4366</td><td>4364</td><td>4362</td><td>4360</td><td>4358</td> </tr> <tr> <td>4356</td><td>4354</td><td>4352</td><td>4350</td><td>4348</td><td>4346</td><td>4344</td><td>4342</td><td>4340</td><td>4338</td><td>4336</td><td>4334</td><td>4332</td><td>4330</td><td>4328</td><td>4326</td><td>4324</td><td>4322</td><td>4320</td><td>4318</td> </tr> <tr> <td>4316</td><td>4314</td><td>4312</td><td>4310</td><td>4308</td><td>4306</td><td>4304</td><td>4302</td><td>4300</td><td>4298</td><td>4296</td><td>4294</td><td>4292</td><td>4290</td><td>4288</td><td>4286</td><td>4284</td><td>4282</td><td>4280</td><td>4278</td> </tr> <tr> <td>4276</td><td>4274</td><td>4272</td><td>4270</td><td>4268</td><td>4266</td><td>4264</td><td>4262</td><td>4260</td><td>4258</td><td>4256</td><td>4254</td><td>4252</td><td>4250</td><td>4248</td><td>4246</td><td>4244</td><td>4242</td><td>4240</td><td>4238</td> </tr> <tr> <td>4236</td><td>4234</td><td>4232</td><td>4230</td><td>4228</td><td>4226</td><td>4224</td><td>4222</td><td>4220</td><td>4218</td><td>4216</td><td>4214</td><td>4212</td><td>4210</td><td>4208</td><td>4206</td><td>4204</td><td>4202</td><td>4200</td><td>4198</td> </tr> <tr> <td>4196</td><td>4194</td><td>4192</td><td>4190</td><td>4188</td><td>4186</td><td>4184</td><td>4182</td><td>4180</td><td>4178</td><td>4176</td><td>4174</td><td>4172</td><td>4170</td><td>4168</td><td>4166</td><td>4164</td><td>4162</td><td>4160</td><td>4158</td> </tr> <tr> <td>4156</td><td>4154</td><td>4152</td><td>4150</td><td>4148</td><td>4146</td><td>4144</td><td>4142</td><td>4140</td><td>4138</td><td>4136</td><td>4134</td><td>4132</td><td>4130</td><td>4128</td><td>4126</td><td>4124</td><td>4122</td><td>4120</td><td>4118</td> </tr> <tr> <td>4116</td><td>4114</td><td>4112</td><td>4110</td><td>4108</td><td>4106</td><td>4104</td><td>4102</td><td>4100</td><td>4098</td><td>4096</td><td>4094</td><td>4092</td><td>4090</td><td>4088</td><td>4086</td><td>4084</td><td>4082</td><td>4080</td><td>4078</td> </tr> <tr> <td>4076</td><td>4074</td><td>4072</td><td>4070</td><td>4068</td><td>4066</td><td>4064</td><td>4062</td><td>4060</td><td>4058</td><td>4056</td><td>4054</td><td>4052</td><td>4050</td><td>4048</td><td>4046</td><td>4044</td><td>4042</td><td>4040</td><td>4038</td> </tr> <tr> <td>4036</td><td>4034</td><td>4032</td><td>4030</td><td>4028</td><td>4026</td><td>4024</td><td>4022</td><td>4020</td><td>4018</td><td>4016</td><td>4014</td><td>4012</td><td>4010</td><td>4008</td><td>4006</td><td>4004</td><td>4002</td><td>4000</td><td>3998</td> </tr> <tr> <td>3996</td><td>3994</td><td>3992</td><td>3990</td><td>3988</td><td>3986</td><td>3984</td><td>3982</td><td>3980</td><td>3978</td><td>3976</td><td>3974</td><td>3972</td><td>3970</td><td>3968</td><td>3966</td><td>3964</td><td>3962</td><td>3960</td><td>3958</td> </tr> <tr> <td>3956</td><td>3954</td><td>3952</td><td>3950</td><td>3948</td><td>3946</td><td>3944</td><td>3942</td><td>3940</td><td>3938</td><td>3936</td><td>3934</td><td>3932</td><td>3930</td><td>3928</td><td>3926</td><td>3924</td><td>3922</td><td>3920</td><td>3918</td> </tr> <tr> <td>3916</td><td>3914</td><td>3912</td><td>3910</td><td>3908</td><td>3906</td><td>3904</td><td>3902</td><td>3900</td><td>3898</td><td>3896</td><td>3894</td><td>3892</td><td>3890</td><td>3888</td><td>3886</td><td>3884</td><td>3882</td><td>3880</td><td>3878</td> </tr> <tr> <td>3876</td><td>3874</td><td>3872</td><td>3870</td><td>3868</td><td>3866</td><td>3864</td><td>3862</td><td>3860</td><td>3858</td><td>3856</td><td>3854</td><td>3852</td><td>3850</td><td>3848</td><td>3846</td><td>3844</td><td>3842</td><td>3840</td><td>3838</td> </tr> <tr> <td>3836</td><td>3834</td><td>3832</td><td>3830</td><td>3828</td><td>3826</td><td>3824</td><td>3822</td><td>3820</td><td>3818</td><td>3816</td><td>3814</td><td>3812</td><td>3810</td><td>3808</td><td>3806</td><td>3804</td><td>3802</td><td>3800</td><td>3798</td> </tr> <tr> <td>3796</td><td>3794</td><td>3792</td><td>3790</td><td>3788</td><td>3786</td><td>3784</td><td>3782</td><td>3780</td><td>3778</td><td>3776</td><td>3774</td><td>3772</td><td>3770</td><td>3768</td><td>3766</td><td>3764</td><td>3762</td><td>3760</td><td>3758</td> </tr> <tr> <td>3756</td><td>3754</td><td>3752</td><td>3750</td><td>3748</td><td>3746</td><td>3744</td><td>3742</td><td>3740</td><td>3738</td><td>3736</td><td>3734</td><td>3732</td><td>3730</td><td>3728</td><td>3726</td><td>3724</td><td>3722</td><td>3720</td><td>3718</td> </tr> <tr> <td>3716</td><td>3714</td><td>3712</td><td>3710</td><td>3708</td><td>3706</td><td>3704</td><td>3702</td><td>3700</td><td>3698</td><td>3696</td><td>3694</td><td>3692</td><td>3690</td><td>3688</td><td>3686</td><td>3684</td><td>3682</td><td>3680</td><td>3678</td> </tr> <tr> <td>3676</td><td>3674</td><td>3672</td><td>3670</td><td>3668</td><td>3666</td><td>3664</td><td>3662</td><td>3660</td><td>3658</td><td>3656</td><td>3654</td><td>3652</td><td>3650</td><td>3648</td><td>3646</td><td>3644</td><td>3642</td><td>3640</td><td>3638</td> </tr> <tr> <td>3636</td><td>3634</td><td>3632</td><td>3630</td><td>3628</td><td>3626</td><td>3624</td><td>3622</td><td>3620</td><td>3618</td><td>3616</td><td>3614</td><td>3612</td><td>3610</td><td>3608</td><td>3606</td><td>3604</td><td>3602</td><td>3600</td><td>3598</td> </tr> <tr> <td>3596</td><td>3594</td><td>3592</td><td>3590</td><td>3588</td><td>3586</td><td>3584</td><td>3582</td><td>3580</td><td>3578</td><td>3576</td><td>3574</td><td>3572</td><td>3570</td><td>3568</td><td>3566</td><td>3564</td><td>3562</td><td>3560</td><td>3558</td> </tr> <tr> <td>3556</td><td>3554</td><td>3552</td><td>3550</td><td>3548</td><td>3546</td><td>3544</td><td>3542</td><td>3540</td><td>3538</td><td>3536</td><td>3534</td><td>3532</td><td>3530</td><td>3528</td><td>3526</td><td>3524</td><td>3522</td><td>3520</td><td>3518</td> </tr> <tr> <td>3516</td><td>3514</td><td>3512</td><td>3510</td><td>3508</td><td>3506</td><td>3504</td><td>3502</td><td>3500</td><td>3498</td><td>3496</td><td>3494</td><td>3492</td><td>3490</td><td>3488</td><td>3486</td><td>3484</td><td>3482</td><td>3480</td><td>3478</td> </tr> <tr> <td>3476</td><td>3474</td><td>3472</td><td>3470</td><td>3468</td><td>3466</td><td>3464</td><td>3462</td><td>3460</td><td>3458</td><td>3456</td><td>3454</td><td>3452</td><td>3450</td><td>3448</td><td>3446</td><td>3444</td><td>3442</td><td>3440</td><td>3438</td> </tr> <tr> <td>3436</td><td>3434</td><td>3432</td><td>3430</td><td>3428</td><td>3426</td><td>3424</td><td>3422</td><td>3420</td><td>3418</td><td>3416</td><td>3414</td><td>3412</td><td>3410</td><td>3408</td><td>3406</td><td>3404</td><td>3402</td><td>3400</td><td>3398</td> </tr> <tr> <td>3396</td><td>3394</td><td>3392</td><td>3390</td><td>3388</td><td>3386</td><td>3384</td><td>3382</td><td>3380</td><td>3378</td><td>3376</td><td>3374</td><td>3372</td><td>3370</td><td>3368</td><td>3366</td><td>3364</td><td>3362</td><td>3360</td><td>3358</td> </tr> <tr> <td>3356</td><td>3354</td><td>3352</td><td>3350</td><td>3348</td><td>3346</td><td>3344</td><td>3342</td><td>3340</td><td>3338</td><td>3336</td><td>3334</td><td>3332</td><td>3330</td><td>3328</td><td>3326</td><td>3324</td><td>3322</td><td>3320</td><td>3318</td> </tr> <tr> <td>3316</td><td>3314</td><td>3312</td><td>3310</td><td>3308</td><td>3306</td><td>3304</td><td>3302</td><td>3300</td><td>3298</td><td>3296</td><td>3294</td><td>3292</td><td>3290</td><td>3288</td><td>3286</td><td>3284</td><td>3282</td><td>3280</td><td>3278</td> </tr> <tr> <td>3276</td><td>3274</td><td>3272</td><td>3270</td><td>3268</td><td>3266</td><td>3264</td><td>3262</td><td>3260</td><td>3258</td><td>3256</td><td>3254</td><td>3252</td><td>3250</td><td>3248</td><td>3246</td><td>3244</td><td>3242</td><td>3240</td><td>3238</td> </tr> <tr> <td>3236</td><td>3234</td><td>3232</td><td>3230</td><td>3228</td><td>3226</td><td>3224</td><td>3222</td><td>3220</td><td>3218</td><td>3216</td><td>3214</td><td>3212</td><td>3210</td><td>3208</td><td>3206</td><td>3204</td><td>3202</td><td>3200</td><td>3198</td> </tr> <tr> <td>3196</td><td>3194</td><td>3192</td><td>3190</td><td>3188</td><td>3186</td><td>3184</td><td>3182</td><td>3180</td><td>3178</td><td>3176</td><td>3174</td><td>3172</td><td>3170</td><td>3168</td><td>3166</td><td>3164</td><td>3162</td><td>3160</td><td>3158</td> </tr> <tr> <td>3156</td><td>3154</td><td>3152</td><td>3150</td><td>3148</td><td>3146</td><td>3144</td><td>3142</td><td>3140</td><td>3138</td><td>3136</td><td>3134</td><td>3132</td><td>3130</td><td>3128</td><td>3126</td><td>3124</td><td>3122</td><td>3120</td><td>3118</td> </tr> <tr> <td>3116</td><td>3114</td><td>3112</td><td>3110</td><td>3108</td><td>3106</td><td>3104</td><td>3102</td><td>3100</td><td>3098</td><td>3096</td><td>3094</td><td>3092</td><td>3090</td><td>3088</td><td>3086</td><td>3084</td><td>3082</td><td>3080</td><td>3078</td> </tr> <tr> <td>3076</td><td>3074</td><td>3072</td><td>3070</td><td>3068</td><td>3066</td><td>3064</td><td>3062</td><td>3060</td><td>3058</td><td>3056</td><td>3054</td><td>3052</td><td>3050</td><td>3048</td><td>3046</td><td>3044</td><td>3042</td><td>3040</td><td>3038</td> </tr> <tr> <td>3036</td><td>3034</td><td>3032</td><td>3030</td><td>3028</td><td>3026</td><td>3024</td><td>3022</td><td>3020</td><td>3018</td><td>3016</td><td>3014</td><td>3012</td><td>3010</td><td>3008</td><td>3006</td><td>3004</td><td>3002</td><td>3000</td><td>2998</td> </tr> <tr> <td>2996</td><td>2994</td><td>2992</td><td>2990</td><td>2988</td><td>2986</td><td>2984</td><td>2982</td><td>2980</td><td>2978</td><td>2976</td><td>2974</td><td>2972</td><td>2970</td><td>2968</td><td>2966</td><td>2964</td><td>2962</td><td>2960</td><td>2958</td> </tr> <tr> <td>2956</td><td>2954</td><td>2952</td><td>2950</td><td>2948</td><td>2946</td><td>2944</td><td>2942</td><td>2940</td><td>2938</td><td>2936</td><td>2934</td><td>2932</td><td>2930</td><td>2928</td><td>2926</td><td>2924</td><td>2922</td><td>2920</td><td>2918</td> </tr> <tr> <td>2916</td><td>2914</td><td>2912</td><td>2910</td><td>2908</td><td>2906</td><td>2904</td><td>2902</td><td>2900</td><td>2898</td><td>2896</td><td>2894</td><td>2892</td><td>2890</td><td>2888</td><td>2886</td><td>2884</td><td>2882</td><td>2880</td><td>2878</td> </tr> <tr> <td>2876</td></tr></tbody></table>								1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	5325	5316	5312	5310	5308	5306	5304	5302	5300	5298	5296	5294	5292	5290	5288	5286	5284	5282	5280	5278	5276	5274	5272	5270	5268	5266	5264	5262	5260	5258	5256	5254	5252	5250	5248	5246	5244	5242	5240	5238	5236	5234	5232	5230	5228	5226	5224	5222	5220	5218	5216	5214	5212	5210	5208	5206	5204	5202	5200	5198	5196	5194	5192	5190	5188	5186	5184	5182	5180	5178	5176	5174	5172	5170	5168	5166	5164	5162	5160	5158	5156	5154	5152	5150	5148	5146	5144	5142	5140	5138	5136	5134	5132	5130	5128	5126	5124	5122	5120	5118	5116	5114	5112	5110	5108	5106	5104	5102	5100	5098	5096	5094	5092	5090	5088	5086	5084	5082	5080	5078	5076	5074	5072	5070	5068	5066	5064	5062	5060	5058	5056	5054	5052	5050	5048	5046	5044	5042	5040	5038	5036	5034	5032	5030	5028	5026	5024	5022	5020	5018	5016	5014	5012	5010	5008	5006	5004	5002	5000	4998	4996	4994	4992	4990	4988	4986	4984	4982	4980	4978	4976	4974	4972	4970	4968	4966	4964	4962	4960	4958	4956	4954	4952	4950	4948	4946	4944	4942	4940	4938	4936	4934	4932	4930	4928	4926	4924	4922	4920	4918	4916	4914	4912	4910	4908	4906	4904	4902	4900	4898	4896	4894	4892	4890	4888	4886	4884	4882	4880	4878	4876	4874	4872	4870	4868	4866	4864	4862	4860	4858	4856	4854	4852	4850	4848	4846	4844	4842	4840	4838	4836	4834	4832	4830	4828	4826	4824	4822	4820	4818	4816	4814	4812	4810	4808	4806	4804	4802	4800	4798	4796	4794	4792	4790	4788	4786	4784	4782	4780	4778	4776	4774	4772	4770	4768	4766	4764	4762	4760	4758	4756	4754	4752	4750	4748	4746	4744	4742	4740	4738	4736	4734	4732	4730	4728	4726	4724	4722	4720	4718	4716	4714	4712	4710	4708	4706	4704	4702	4700	4698	4696	4694	4692	4690	4688	4686	4684	4682	4680	4678	4676	4674	4672	4670	4668	4666	4664	4662	4660	4658	4656	4654	4652	4650	4648	4646	4644	4642	4640	4638	4636	4634	4632	4630	4628	4626	4624	4622	4620	4618	4616	4614	4612	4610	4608	4606	4604	4602	4600	4598	4596	4594	4592	4590	4588	4586	4584	4582	4580	4578	4576	4574	4572	4570	4568	4566	4564	4562	4560	4558	4556	4554	4552	4550	4548	4546	4544	4542	4540	4538	4536	4534	4532	4530	4528	4526	4524	4522	4520	4518	4516	4514	4512	4510	4508	4506	4504	4502	4500	4498	4496	4494	4492	4490	4488	4486	4484	4482	4480	4478	4476	4474	4472	4470	4468	4466	4464	4462	4460	4458	4456	4454	4452	4450	4448	4446	4444	4442	4440	4438	4436	4434	4432	4430	4428	4426	4424	4422	4420	4418	4416	4414	4412	4410	4408	4406	4404	4402	4400	4398	4396	4394	4392	4390	4388	4386	4384	4382	4380	4378	4376	4374	4372	4370	4368	4366	4364	4362	4360	4358	4356	4354	4352	4350	4348	4346	4344	4342	4340	4338	4336	4334	4332	4330	4328	4326	4324	4322	4320	4318	4316	4314	4312	4310	4308	4306	4304	4302	4300	4298	4296	4294	4292	4290	4288	4286	4284	4282	4280	4278	4276	4274	4272	4270	4268	4266	4264	4262	4260	4258	4256	4254	4252	4250	4248	4246	4244	4242	4240	4238	4236	4234	4232	4230	4228	4226	4224	4222	4220	4218	4216	4214	4212	4210	4208	4206	4204	4202	4200	4198	4196	4194	4192	4190	4188	4186	4184	4182	4180	4178	4176	4174	4172	4170	4168	4166	4164	4162	4160	4158	4156	4154	4152	4150	4148	4146	4144	4142	4140	4138	4136	4134	4132	4130	4128	4126	4124	4122	4120	4118	4116	4114	4112	4110	4108	4106	4104	4102	4100	4098	4096	4094	4092	4090	4088	4086	4084	4082	4080	4078	4076	4074	4072	4070	4068	4066	4064	4062	4060	4058	4056	4054	4052	4050	4048	4046	4044	4042	4040	4038	4036	4034	4032	4030	4028	4026	4024	4022	4020	4018	4016	4014	4012	4010	4008	4006	4004	4002	4000	3998	3996	3994	3992	3990	3988	3986	3984	3982	3980	3978	3976	3974	3972	3970	3968	3966	3964	3962	3960	3958	3956	3954	3952	3950	3948	3946	3944	3942	3940	3938	3936	3934	3932	3930	3928	3926	3924	3922	3920	3918	3916	3914	3912	3910	3908	3906	3904	3902	3900	3898	3896	3894	3892	3890	3888	3886	3884	3882	3880	3878	3876	3874	3872	3870	3868	3866	3864	3862	3860	3858	3856	3854	3852	3850	3848	3846	3844	3842	3840	3838	3836	3834	3832	3830	3828	3826	3824	3822	3820	3818	3816	3814	3812	3810	3808	3806	3804	3802	3800	3798	3796	3794	3792	3790	3788	3786	3784	3782	3780	3778	3776	3774	3772	3770	3768	3766	3764	3762	3760	3758	3756	3754	3752	3750	3748	3746	3744	3742	3740	3738	3736	3734	3732	3730	3728	3726	3724	3722	3720	3718	3716	3714	3712	3710	3708	3706	3704	3702	3700	3698	3696	3694	3692	3690	3688	3686	3684	3682	3680	3678	3676	3674	3672	3670	3668	3666	3664	3662	3660	3658	3656	3654	3652	3650	3648	3646	3644	3642	3640	3638	3636	3634	3632	3630	3628	3626	3624	3622	3620	3618	3616	3614	3612	3610	3608	3606	3604	3602	3600	3598	3596	3594	3592	3590	3588	3586	3584	3582	3580	3578	3576	3574	3572	3570	3568	3566	3564	3562	3560	3558	3556	3554	3552	3550	3548	3546	3544	3542	3540	3538	3536	3534	3532	3530	3528	3526	3524	3522	3520	3518	3516	3514	3512	3510	3508	3506	3504	3502	3500	3498	3496	3494	3492	3490	3488	3486	3484	3482	3480	3478	3476	3474	3472	3470	3468	3466	3464	3462	3460	3458	3456	3454	3452	3450	3448	3446	3444	3442	3440	3438	3436	3434	3432	3430	3428	3426	3424	3422	3420	3418	3416	3414	3412	3410	3408	3406	3404	3402	3400	3398	3396	3394	3392	3390	3388	3386	3384	3382	3380	3378	3376	3374	3372	3370	3368	3366	3364	3362	3360	3358	3356	3354	3352	3350	3348	3346	3344	3342	3340	3338	3336	3334	3332	3330	3328	3326	3324	3322	3320	3318	3316	3314	3312	3310	3308	3306	3304	3302	3300	3298	3296	3294	3292	3290	3288	3286	3284	3282	3280	3278	3276	3274	3272	3270	3268	3266	3264	3262	3260	3258	3256	3254	3252	3250	3248	3246	3244	3242	3240	3238	3236	3234	3232	3230	3228	3226	3224	3222	3220	3218	3216	3214	3212	3210	3208	3206	3204	3202	3200	3198	3196	3194	3192	3190	3188	3186	3184	3182	3180	3178	3176	3174	3172	3170	3168	3166	3164	3162	3160	3158	3156	3154	3152	3150	3148	3146	3144	3142	3140	3138	3136	3134	3132	3130	3128	3126	3124	3122	3120	3118	3116	3114	3112	3110	3108	3106	3104	3102	3100	3098	3096	3094	3092	3090	3088	3086	3084	3082	3080	3078	3076	3074	3072	3070	3068	3066	3064	3062	3060	3058	3056	3054	3052	3050	3048	3046	3044	3042	3040	3038	3036	3034	3032	3030	3028	3026	3024	3022	3020	3018	3016	3014	3012	3010	3008	3006	3004	3002	3000	2998	2996	2994	2992	2990	2988	2986	2984	2982	2980	2978	2976	2974	2972	2970	2968	2966	2964	2962	2960	2958	2956	2954	2952	2950	2948	2946	2944	2942	2940	2938	2936	2934	2932	2930	2928	2926	2924	2922	2920	2918	2916	2914	2912	2910	2908	2906	2904	2902	2900	2898	2896	2894	2892	2890	2888	2886	2884	2882	2880	2878	2876
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
5325	5316	5312	5310	5308	5306	5304	5302	5300	5298	5296	5294	5292	5290	5288	5286	5284	5282	5280	5278																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
5276	5274	5272	5270	5268	5266	5264	5262	5260	5258	5256	5254	5252	5250	5248	5246	5244	5242	5240	5238																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
5236	5234	5232	5230	5228	5226	5224	5222	5220	5218	5216	5214	5212	5210	5208	5206	5204	5202	5200	5198																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
5196	5194	5192	5190	5188	5186	5184	5182	5180	5178	5176	5174	5172	5170	5168	5166	5164	5162	5160	5158																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
5156	5154	5152	5150	5148	5146	5144	5142	5140	5138	5136	5134	5132	5130	5128	5126	5124	5122	5120	5118																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
5116	5114	5112	5110	5108	5106	5104	5102	5100	5098	5096	5094	5092	5090	5088	5086	5084	5082	5080	5078																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
5076	5074	5072	5070	5068	5066	5064	5062	5060	5058	5056	5054	5052	5050	5048	5046	5044	5042	5040	5038																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
5036	5034	5032	5030	5028	5026	5024	5022	5020	5018	5016	5014	5012	5010	5008	5006	5004	5002	5000	4998																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
4996	4994	4992	4990	4988	4986	4984	4982	4980	4978	4976	4974	4972	4970	4968	4966	4964	4962	4960	4958																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
4956	4954	4952	4950	4948	4946	4944	4942	4940	4938	4936	4934	4932	4930	4928	4926	4924	4922	4920	4918																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
4916	4914	4912	4910	4908	4906	4904	4902	4900	4898	4896	4894	4892	4890	4888	4886	4884	4882	4880	4878																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
4876	4874	4872	4870	4868	4866	4864	4862	4860	4858	4856	4854	4852	4850	4848	4846	4844	4842	4840	4838																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
4836	4834	4832	4830	4828	4826	4824	4822	4820	4818	4816	4814	4812	4810	4808	4806	4804	4802	4800	4798																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
4796	4794	4792	4790	4788	4786	4784	4782	4780	4778	4776	4774	4772	4770	4768	4766	4764	4762	4760	4758																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
4756	4754	4752	4750	4748	4746	4744	4742	4740	4738	4736	4734	4732	4730	4728	4726	4724	4722	4720	4718																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
4716	4714	4712	4710	4708	4706	4704	4702	4700	4698	4696	4694	4692	4690	4688	4686	4684	4682	4680	4678																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
4676	4674	4672	4670	4668	4666	4664	4662	4660	4658	4656	4654	4652	4650	4648	4646	4644	4642	4640	4638																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
4636	4634	4632	4630	4628	4626	4624	4622	4620	4618	4616	4614	4612	4610	4608	4606	4604	4602	4600	4598																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
4596	4594	4592	4590	4588	4586	4584	4582	4580	4578	4576	4574	4572	4570	4568	4566	4564	4562	4560	4558																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
4556	4554	4552	4550	4548	4546	4544	4542	4540	4538	4536	4534	4532	4530	4528	4526	4524	4522	4520	4518																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
4516	4514	4512	4510	4508	4506	4504	4502	4500	4498	4496	4494	4492	4490	4488	4486	4484	4482	4480	4478																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
4476	4474	4472	4470	4468	4466	4464	4462	4460	4458	4456	4454	4452	4450	4448	4446	4444	4442	4440	4438																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
4436	4434	4432	4430	4428	4426	4424	4422	4420	4418	4416	4414	4412	4410	4408	4406	4404	4402	4400	4398																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
4396	4394	4392	4390	4388	4386	4384	4382	4380	4378	4376	4374	4372	4370	4368	4366	4364	4362	4360	4358																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
4356	4354	4352	4350	4348	4346	4344	4342	4340	4338	4336	4334	4332	4330	4328	4326	4324	4322	4320	4318																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
4316	4314	4312	4310	4308	4306	4304	4302	4300	4298	4296	4294	4292	4290	4288	4286	4284	4282	4280	4278																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
4276	4274	4272	4270	4268	4266	4264	4262	4260	4258	4256	4254	4252	4250	4248	4246	4244	4242	4240	4238																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
4236	4234	4232	4230	4228	4226	4224	4222	4220	4218	4216	4214	4212	4210	4208	4206	4204	4202	4200	4198																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
4196	4194	4192	4190	4188	4186	4184	4182	4180	4178	4176	4174	4172	4170	4168	4166	4164	4162	4160	4158																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
4156	4154	4152	4150	4148	4146	4144	4142	4140	4138	4136	4134	4132	4130	4128	4126	4124	4122	4120	4118																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
4116	4114	4112	4110	4108	4106	4104	4102	4100	4098	4096	4094	4092	4090	4088	4086	4084	4082	4080	4078																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
4076	4074	4072	4070	4068	4066	4064	4062	4060	4058	4056	4054	4052	4050	4048	4046	4044	4042	4040	4038																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
4036	4034	4032	4030	4028	4026	4024	4022	4020	4018	4016	4014	4012	4010	4008	4006	4004	4002	4000	3998																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
3996	3994	3992	3990	3988	3986	3984	3982	3980	3978	3976	3974	3972	3970	3968	3966	3964	3962	3960	3958																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
3956	3954	3952	3950	3948	3946	3944	3942	3940	3938	3936	3934	3932	3930	3928	3926	3924	3922	3920	3918																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
3916	3914	3912	3910	3908	3906	3904	3902	3900	3898	3896	3894	3892	3890	3888	3886	3884	3882	3880	3878																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
3876	3874	3872	3870	3868	3866	3864	3862	3860	3858	3856	3854	3852	3850	3848	3846	3844	3842	3840	3838																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
3836	3834	3832	3830	3828	3826	3824	3822	3820	3818	3816	3814	3812	3810	3808	3806	3804	3802	3800	3798																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
3796	3794	3792	3790	3788	3786	3784	3782	3780	3778	3776	3774	3772	3770	3768	3766	3764	3762	3760	3758																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
3756	3754	3752	3750	3748	3746	3744	3742	3740	3738	3736	3734	3732	3730	3728	3726	3724	3722	3720	3718																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
3716	3714	3712	3710	3708	3706	3704	3702	3700	3698	3696	3694	3692	3690	3688	3686	3684	3682	3680	3678																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
3676	3674	3672	3670	3668	3666	3664	3662	3660	3658	3656	3654	3652	3650	3648	3646	3644	3642	3640	3638																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
3636	3634	3632	3630	3628	3626	3624	3622	3620	3618	3616	3614	3612	3610	3608	3606	3604	3602	3600	3598																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
3596	3594	3592	3590	3588	3586	3584	3582	3580	3578	3576	3574	3572	3570	3568	3566	3564	3562	3560	3558																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
3556	3554	3552	3550	3548	3546	3544	3542	3540	3538	3536	3534	3532	3530	3528	3526	3524	3522	3520	3518																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
3516	3514	3512	3510	3508	3506	3504	3502	3500	3498	3496	3494	3492	3490	3488	3486	3484	3482	3480	3478																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
3476	3474	3472	3470	3468	3466	3464	3462	3460	3458	3456	3454	3452	3450	3448	3446	3444	3442	3440	3438																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
3436	3434	3432	3430	3428	3426	3424	3422	3420	3418	3416	3414	3412	3410	3408	3406	3404	3402	3400	3398																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
3396	3394	3392	3390	3388	3386	3384	3382	3380	3378	3376	3374	3372	3370	3368	3366	3364	3362	3360	3358																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
3356	3354	3352	3350	3348	3346	3344	3342	3340	3338	3336	3334	3332	3330	3328	3326	3324	3322	3320	3318																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
3316	3314	3312	3310	3308	3306	3304	3302	3300	3298	3296	3294	3292	3290	3288	3286	3284	3282	3280	3278																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
3276	3274	3272	3270	3268	3266	3264	3262	3260	3258	3256	3254	3252	3250	3248	3246	3244	3242	3240	3238																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
3236	3234	3232	3230	3228	3226	3224	3222	3220	3218	3216	3214	3212	3210	3208	3206	3204	3202	3200	3198																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
3196	3194	3192	3190	3188	3186	3184	3182	3180	3178	3176	3174	3172	3170	3168	3166	3164	3162	3160	3158																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
3156	3154	3152	3150	3148	3146	3144	3142	3140	3138	3136	3134	3132	3130	3128	3126	3124	3122	3120	3118																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
3116	3114	3112	3110	3108	3106	3104	3102	3100	3098	3096	3094	3092	3090	3088	3086	3084	3082	3080	3078																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
3076	3074	3072	3070	3068	3066	3064	3062	3060	3058	3056	3054	3052	3050	3048	3046	3044	3042	3040	3038																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
3036	3034	3032	3030	3028	3026	3024	3022	3020	3018	3016	3014	3012	3010	3008	3006	3004	3002	3000	2998																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
2996	2994	2992	2990	2988	2986	2984	2982	2980	2978	2976	2974	2972	2970	2968	2966	2964	2962	2960	2958																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
2956	2954	2952	2950	2948	2946	2944	2942	2940	2938	2936	2934	2932	2930	2928	2926	2924	2922	2920	2918																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
2916	2914	2912	2910	2908	2906	2904	2902	2900	2898	2896	2894	2892	2890	2888	2886	2884	2882	2880	2878																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
2876																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																

A empresa em questão tentou, no passado, implementar o CEP em outra linha de envase C, de sólidos, também de alto valor agregado. Porém, a implementação não foi bem-sucedida.

Dessa vez, tomar-se-ão alguns cuidados, tais como:

- Alinhamento com alta liderança da área em questão (gerência sênior e gerência de produção);
- Criação de um sistema de informação que confira qualidade e confiabilidade na informação de tomada de decisão. Sistema esse que terá como base um banco de dados mapeado por um time multidisciplinar, com vasta experiência na linha de envase em questão; Far-se-á uso de tablet e ferramentas de IdC;
- Formalização documental, através de revisão do procedimento existente, enfatizando-se o novo processo e sistema de informação, estabelecidos.

Woiciekovski e Pereira (2015, p. 130) relatam que as organizações afoitas por utilizar o máximo dos dados e informações que possuem, investem em tecnologia da informação, porém esquecem-se da capacitação das pessoas, orientando-as para que possam identificar quais são as informações estratégicas da organização, aquelas que realmente contribuirão para o aumento da competitividade organizacional.

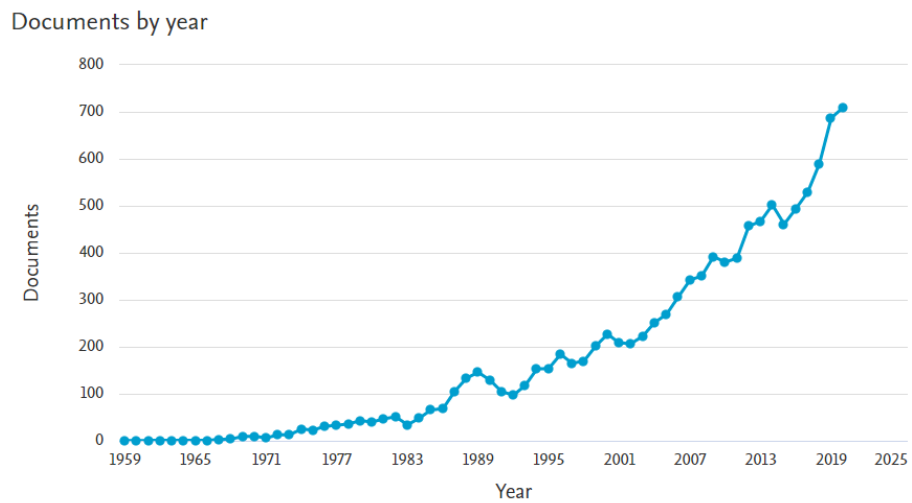
A justificativa reside na importância de redução das perdas do referido processo e na qualidade da informação, uma vez que esta última será padronizada, garantida por uma base de dados confiável e também pelo treinamento operacional.

Segundo Amaral e Sousa (2011, p. 99), utilizar a informação de forma racional e técnica permite às pessoas o desenvolvimento de sua capacidade analítica. Assim, saber ordenar os problemas organizacionais, analisá-los e buscar soluções, são habilidades fundamentais dos profissionais da atualidade, constantemente expostos à tomada de decisão nas organizações em que atuam.

Também no nível operacional, tal fato se faz presente no dia-a-dia dos operadores, sendo assim, de suma importância, o treinamento para que possam usar a informação com qualidade e da maneira correta.

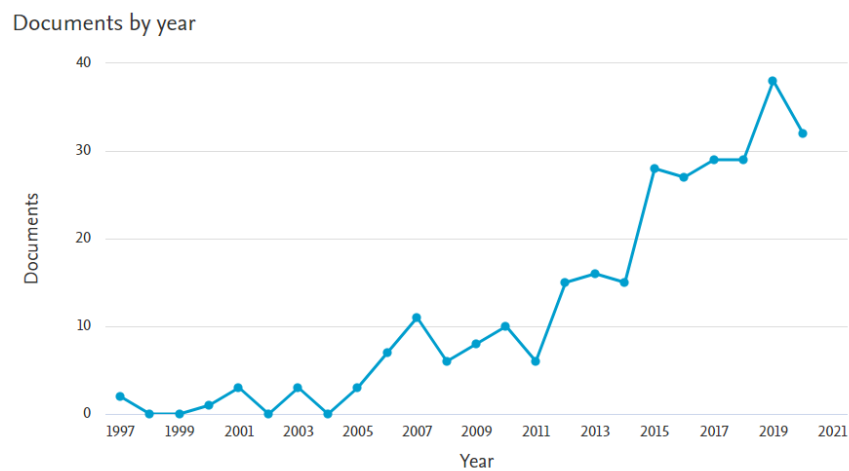
A quantidade de pesquisas e trabalhos publicados sobre o tema *statistical process control* (SPC), em inglês ou controle estatístico de processo, é relativamente elevada (Figura 5), porém quando pesquisada em conjunto com “*phase I*”, nota-se que há relativamente, poucas publicações (Figura 6).

Figura 5 – Publicações por ano sobre “SPC”, no título, *abstract* e palavras-chave, limitado a publicações tipo “artigo”



Fonte: Elsevier (2021).

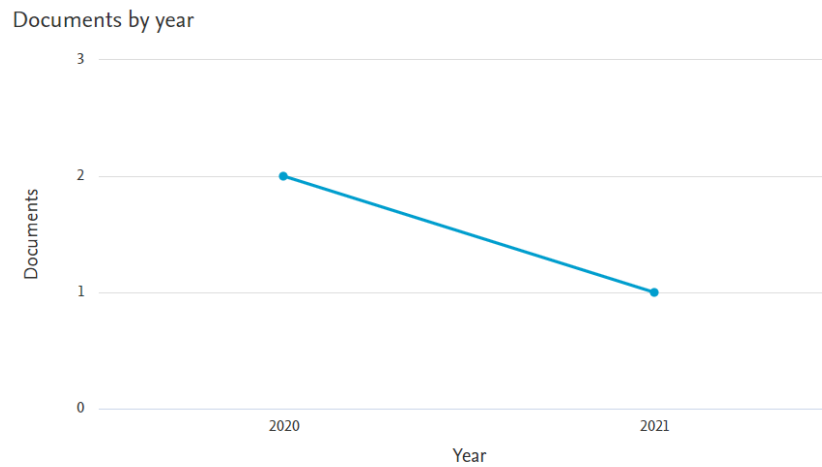
Figura 6 – Publicações por ano sobre “SPC” e “*phase I*” no título, *abstract* e palavras-chave, limitado a publicações tipo “artigo”



Fonte: Elsevier (2021).

Quando se adiciona em conjunto (“e”) na pesquisa, o termo “*industry 4.0*”, nota-se que há somente três publicações, sendo todas publicadas entre 2020 e 2021 (Figura 7).

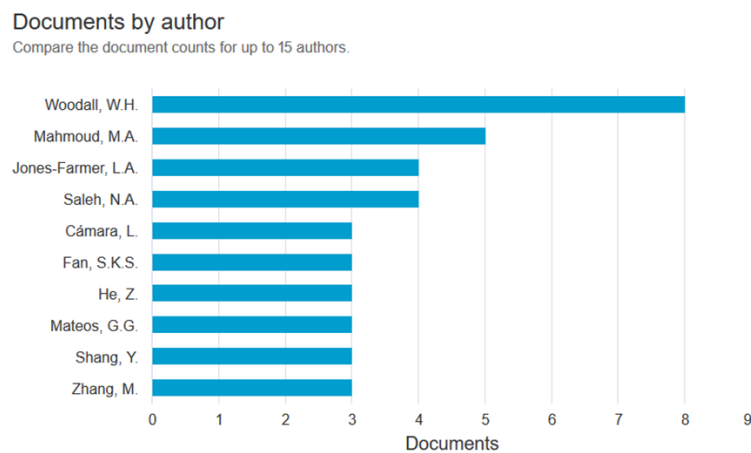
Figura 7 – Publicações por ano sobre “SPC”, “*phase I*” e “*industry 4.0*” no título, *abstract* e palavras-chave, limitado a publicações tipo “artigo”



Fonte: Elsevier (2021).

Quando se avalia os principais autores, para os termos e em conjunto, “SPC” e “*phase I*”, verifica-se que, dentre os três autores que mais publicaram, Woodall e Jones são referências para o estudo em questão. E os três mais citados, incluindo-se Mahmoud; foram fontes de pesquisa relevantes para o estudo (Figura 8).

Figura 8 – Publicações por autor sobre “SPC” e “*phase I*” no título, *abstract* e palavras-chave, limitado a publicações tipo “artigo”, de 2011 a 2021



Fonte: Elsevier (2021).

Com relação às bases de consulta utilizadas, o estudo está dividido conforme a Tabela 1.

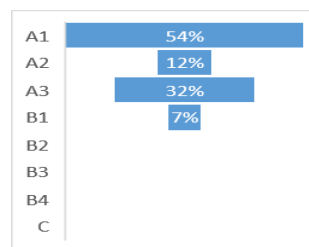
Tabela 1 – Fontes de pesquisa utilizados no estudo

Tipo	%
Livros e manuais	24%
Dissertações	1%
Teses	0%
Artigos	67%
Artigos - Conferência	8%

Fonte: Elaborador pelo autor.

Com relação aos artigos, em consulta à base Elsevier (Scopus), estão divididos conforme a Figura 9 em relação ao seu percentil.

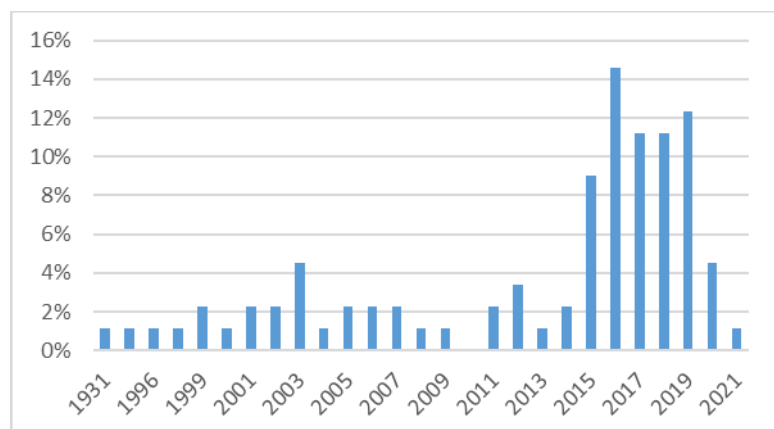
Figura 9 – Classificação percentil Elsevier (Scopus) dos artigos utilizados no estudo



Fonte: Elsevier (2021).

Ainda em relação aos artigos, 65% foram publicados nos últimos seis anos, na janela de 2016 a 2021, conforme gráfico na Figura 10.

Figura 10 – Distribuição dos artigos no tempo



Fonte: Elaborado pelo autor.

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

O estudo será aplicado em uma empresa privada do Vale do Paraíba do ramo de soluções para agricultura. O produto foco da pesquisa será um herbicida líquido tipo concentrado solúvel, envasado na linha B; devido haver maior quantidade de campanhas distribuídas ao longo do ano, e a apresentação foco será a bombona de 5 L devido ser também a apresentação de maior volume produzido ao longo do ano.

Importante mencionar que será realizado um piloto na linha de envase A, que tem como principal produto, um fungicida tipo suspensão concentrada, também na apresentação de 5 L.

1.5 OBJETIVO GERAL

Implementação da fase I do CEP, voltado para a indústria 4.0 e suportado por *big data*, em uma linha de envase de defensivos agrícolas.

1.6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Utilização de um *big data* para identificação de causas especiais do processo, assim como tipos de falhas envolvidas, a partir de análise estatística de dados históricos;
- Análise e padronização do processo de intervenção operacional no processo alvo do estudo;
- Implementar o uso de *tablet* pelos operadores e de uma interface amigável, que oriente o operador sobre como e quando realizar o ajuste no processo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste item será apresentado um breve histórico sobre o CEP e a contextualização com o processo na linha de envase do estudo, a importância da fase I na sua implementação, métodos de análise de falha e indústria 4.0.

2.1 BREVE HISTÓRICO DO CEP E A CONTEXTUALIZAÇÃO COM O PROCESSO NA LINHA DE ENVASE DO ESTUDO

Há diversos estudos publicados e tantos outros internos em empresas, que certamente nunca serão publicados; ambos se utilizam da estatística na tentativa de otimizar seus processos. Segundo Montgomery e Runger (2003), estatística é a ciência de coletar, analisar, interpretar e construir conclusões baseadas em dados do processo. E o objetivo dos métodos estatísticos é tornar o processo tão eficiente quanto possível (BOX; HUNTER; HUNTER, 1978).

A área de controle estatístico da qualidade pode ser amplamente definida como métodos estatísticos e de engenharia que são usados para medir, monitorar, controlar e melhorar a qualidade. O controle estatístico da qualidade é uma área que remonta aos anos 20. O doutor Walter A. Shewhart, empregado da *Bell Telephone Laboratories*, foi um dos pioneiros nesse campo. Em 1924 ele escreveu um trabalho mostrando uma carta de controle moderna, uma das ferramentas básicas para o controle estatístico de processo. Harold F. Dodge e Harry G. Romig, outros dois empregados da *Bell System*, foram responsáveis por muito da liderança no desenvolvimento de amostragem baseada em estatística e métodos de inspeção. O trabalho desses três homens formou grande parte da base para a área moderna de controle estatístico de qualidade (MONTGOMERY, 2001).

A definição de controle estatístico:

Um fenômeno será dito sob controle quando, com uso de experiência passada, pudermos prever, ao menos dentro de determinados limites, como é esperada a variação do fenômeno no futuro. Aqui é entendido que a predição significa que podemos afirmar, ao menos aproximadamente, a probabilidade de que o fenômeno observado, cairá dentro dos limites estabelecidos (SHEWHART, 1931, p. 6).

Aplicações industriais anteriores tem demonstrado que a carta de controle estatístico de processo de Shewhart é uma ferramenta simples e ao mesmo tempo poderosa para se detectar uma mudança repentina e anormal nos dados, sem frequentes falsos alarmes (FRANCO *et al.*, 2014; BENNEYAN; LLOYD; PLSEK, 2003; HARIDY; WU, 2009; WOODALL *et al.*, 2004; GARZA-VENEGAS *et al.*, 2018).

Dentre as ferramentas do CEP, as cartas de controle são, inegavelmente, as mais usadas na indústria para melhoria da qualidade e produtividade (PARK; TSUI, 2018; WU *et al.*, 2019).

Sendo a carta de Shewhart ineficiente para se determinar pequenas variações (YANG; LIN; CHENG, 2011; WU *et al.*, 2019). Para se detectar pequenas variações na média do processo, pode-se adotar o uso da carta de controle da média móvel ponderada exponencialmente (*Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA)), por exemplo (CLARO; COSTA; MACHADO, 2007; KHALIQ; RIAZ; ALEMI, 2015).

Khaliq, Riaz e Alemi (2015, p. 14), em seu estudo comparativo entre eficiência da carta *tukey control chart* (TCC) e a carta de *individual moving range* (I-MR) para examinar observações individuais em um período de tempo, aponta que a carta TCC detecta de forma mais rápida, desvio de processo que a carta I-MR, para distribuições normais e também diversas outras não normais.

Costa, Epprecht e Carpinetti (2016), citam que as cartas EWMA e *cumulative sum* (CUSUM) são indicadas para monitoramento de processos sujeitos à pequenas variações. Outro ponto importante mencionado pelo mesmo autor é que, ambas as cartas EWMA e CUSUM, não sinalizam desajustes de imediato, afastando-se gradualmente da linha central, sendo o gráfico de I, mais ágil para tal.

Também Noskievičová, Smajdorová e Tylečková (2020, p. 1) mencionam que a carta CUSUM é considerada uma eficiente alternativa às cartas de Shewhart quando é de interesse detectar pequenas variações no processo.

De acordo com Sayuti e Pertiwi (2018, p. 3) e Mukundam *et al.* (2013, p. 1004), a carta I-MR é usada para processos cujo tamanho da amostra é um ($n = 1$). Os mesmos autores também citam que que isso ocorre comumente quando a inspeção é feita automaticamente ou quando o nível de produção é lento, tornando dificultoso ter-se tamanho de amostra maior que um ($n > 1$). Mencionam ainda que é comum de se ocorrer em indústria química. Montgomery e Runger (2018), citam que a carta I-MR é usada quando a taxa de produção é muito lenta e é inconveniente permitir tamanho de amostra maior que um ($n > 1$) e acumular antes de analisar. Ainda de acordo com os mesmos autores, as medições individuais são assumidas como sendo

descorrelacionadas, e qualquer padrão aparente nas cartas de valores individuais de X (gráfico de I) devem ser cuidadosamente investigados.

Montgomery e Runger (2018), citam que a carta I-MR é muito insensível para pequenas variações na média do processo. Sendo assim indicada para grandes mudanças na média do processo. Mukundam *et al.* (2013, p. 1004), recomendam seu uso para desvios maiores que 1,5 vezes o desvio padrão.

Na pesquisa em questão, não há o objetivo de se detectar pequenas variações, assim como também de se detectar o mais cedo possível um ponto fora dos limites de controle, reduzindo-se assim, as intervenções no processo de envase em questão. Devido à baixa precisão da máquina de envase em questão e também devido à intenção de se reduzir o nível de intervenção operacional no processo. Dessa maneira, decidiu-se por não fazer uso da carta EWMA, da carta CUSUM ou da carta TCC.

Outro cuidado que se deve atentar é com a autocorrelação entre as amostras, que segundo Claro, Costa e Machado (2007, p. 543), sua presença positiva, em “lags” baixos é muito comum em processos discretos de manufatura, onde, dados os avanços nas tecnologias de automação e medição, as observações são tomadas a intervalos muito curtos. Também Franco *et al.* (2014, p. 122), cita que em muitos processos contínuos e batelada, a autocorrelação se faz presente e reduz performance estatística da carta de controle.

Faz-se necessário ainda, atender os aspectos legais e atentar para a satisfação contínua do cliente, assim como para a viabilidade econômica em um cenário competitivo. Tais critérios somente podem ser alcançados através da melhoria contínua da qualidade de ambos, produto e processo e da capacidade com custos mínimos (ANTONY *et al.*, 2001, p. 51).

Para atender ao anteriormente exposto, o CEP se aplica perfeitamente, pois busca monitorar o processo em relação aos seus limites de controle e, como cita Montgomery (2001), podemos também utilizar as cartas de controle, desde que exibam um controle estatístico, para estimar parâmetros como média, desvio padrão e fração de não conformes; estes então, podem ser usados para se determinar a capacidade do processo em questão. O estudo da capacidade pode ter impacto direto em muitas decisões da liderança. No ambiente industrial, principalmente para avaliação de implementação de melhorias no processo, de maneira geral, com alto investimento; mais especificamente, na linha de envase em questão.

Todo processo é projetado para gerar produtos capazes de atender aos requisitos dos clientes e/ou legais, em relação a uma certa característica de interesse. As especificações de processo são os valores aceitáveis para uma determinada característica de saída de processo, que farão com que o produto atenda às necessidades dos clientes.

Desta forma, um processo que produz produtos não defeituosos é aquele cujas variabilidades são mantidas dentro de valores adequados (MERGULHÃO, 2003).

No estudo em questão, as variáveis de entrada e controláveis (causas) são os ajustes que podem ser realizados no equipamento de envase da linha B. A saber, ajustes nos “pulsos” dos dosadores semiautomáticos, tipo ModuFlex[®], que dosam para dois bicos de envase, cada. Uma vez que a Portaria INMETRO nº 248 de 17 de julho de 2008, exige controle na unidade de venda, neste caso líquido (L), porém, o controle é realizado via peso, através de balanças manuais. Sendo assim, necessária a conversão através da densidade analisada de cada lote do produto (LEGISWEB, 2008).

Importante mencionar que, para o piloto, na linha de envase A, as variáveis de entrada e controláveis (causas) são os ajustes que podem ser realizados no equipamento de envase. A saber, ajustes nos “pulsos” dos medidores mássicos, que são individuais para cada bico de envase. Sendo o controle também realizado de forma manual.

Para o processo do estudo na linha B, um exemplo de variável de entrada e incontrolável (causa), é uma variação no instrumento de medição (dosadores semiautomáticos, tipo ModuFlex[®]), devido manutenção não prevista; ou uma variação na densidade analisada do lote de produto.

De acordo com Montgomery e Runger (2003), uma variável aleatória contínua é uma variável aleatória com um intervalo (finito ou infinito) cuja amplitude é composta de números reais. Nesse estudo, a característica de qualidade, ou variável de saída (efeito), é o peso de produto em cada bombona, como pode-se comparar na Figura 11. Dessa maneira, é caracterizada como variável aleatória contínua.

- Ajuste da velocidade da esteira, em termos do percentual do inversor do motor da esteira; de acordo com a apresentação;
- No PLC da rosqueadora, selecionar a receita (de acordo com a apresentação) e a quantidade de frascos ou bombonas por minuto;
- Ajustar a altura da rosqueadora de acordo com a apresentação, de maneira a se evitar falha de rosqueamento e risco de vazamento durante o transporte;
- Ajustar a potência da seladora de acordo com a apresentação;
- No PLC da impressora InkJet®, ajustar texto e *layout* de impressão dos dados de fabricação, vencimento e lote de produto; assim como a velocidade de impressão nos frascos ou bombonas;
- Ajuste mecânico da largura das guias da esteira de frascos e bombonas;
- Dentre outros.
- Verificação das quantidades e tipos de materiais de embalagem, de acordo com a lista técnica do produto a ser envasado;
- Impressão das etiquetas de movimentação logística do lote a ser envasado;
- Ajuste da máquina que arma as caixas, posiciona os frascos ou bombonas dentro das caixas e fecha as caixas com fita filamentosa ou *biaxially oriented polypropylene* (BOPP);
- Ajuste nos parâmetros no PLC da máquina unitizadora de filme *stretch*, de acordo com a apresentação;
- Verificação do alinhamento de válvulas, bomba de transferência e vaso de produto granel, liberado para envase;
- Verificação dos resultados de laboratório e liberação para envase do lote;
- Verificação da densidade analisada pelo laboratório, e registro no *tablet* para ajuste do volume nominal na envasadora. Este ajuste deverá ser realizado passando-se três frascos ou bombonas na envasadora e medindo-se o peso e registrando-se no campo de ajuste de peso. Estes valores de ajuste deverão ser apagados no botão “deletar pesagem” mostrado na Figura 29, de maneira a não interferir no correto funcionamento da carta I-MR.

Como a linha de envase B do estudo apresenta uma capacidade nominal de aproximadamente 30 bombonas por minuto, sendo oito bicos de envase, com controles individuais, e a linha toda é operada por um único operador, faz-se necessário espaçar-se a amostragem, para que o operador possa observar e controlar toda a linha sozinho. Vide detalhe da máquina de envase com oito bicos na Figura 13.

Figura 13 – Máquina de envase da linha do estudo B

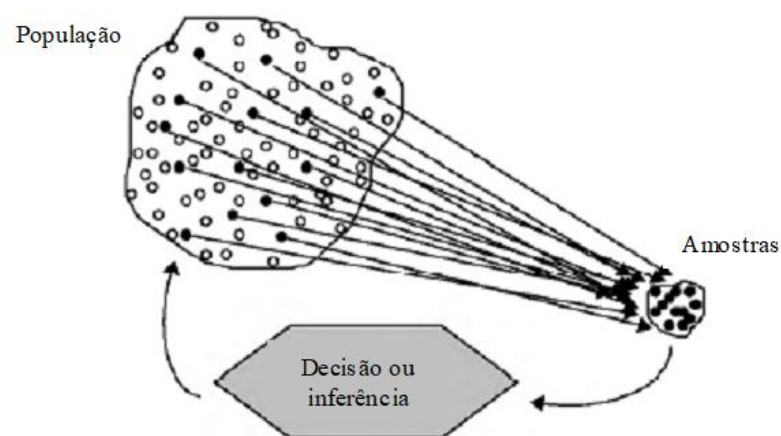


Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise do processo, especialmente o estudo da relação de causa e efeito podem gerar inferências através de um número finito de amostras. Um objetivo importante na definição do processo de amostragem é que sejam produtivos, de baixo custo e que possam prover suficientes dados para um senso quantitativo (TOUTENBURG, 2002), como exemplificado na Figura 14.

Com intuito de se manter a produtividade e o baixo custo mencionados anteriormente, por decisão exclusiva da empresa, adotou-se subgrupo de tamanho $n=1$.

Figura 14 – Ilustração de um processo de amostragem

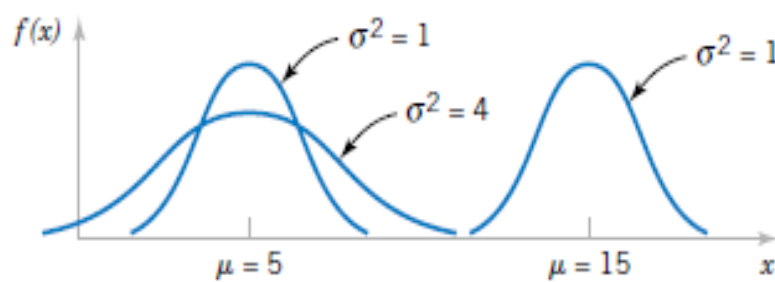


Fonte: Manson, Gunst e Hess (2003).

Para o processo específico na linha B, o peso em cada bico de envase corresponde a uma variável de saída, com controle separado, uma vez que cada par de bicos de envase é ajustado individualmente, como na Figura 15.

Importante mencionar que, para o piloto, na linha de envase A, cada bico é ajustado individualmente.

Figura 15 – Ilustração de um processo de com diferentes variáveis de saída e funções densidade (distribuições normais), para os valores selecionados de μ e σ^2



Fonte: Montgomery e Runger (2003).

2.1.1 A carta de valores individuais de X/amplitude móvel (I-MR)

A carta I-MR é composta pelo limite superior de controle (LSC), limite inferior de controle (LIC) e da linha central (LC), ou valor esperado para a média.

Para a carta de I-MR, espera-se que os valores variem sempre entorno da média, com dispersão limitada e seguindo padrão aleatório, também há maior incidência de pontos mais próximos ao valor médio, e os pontos mais afastados são menos frequentes; não há relação aparente entre os valores consecutivos de “X” (COSTA, EPPRECHT e CARPINETTI, 2016).

Para a criação de uma carta de controle, é preciso calcular limites e valor esperado para a média, com as equações (1), (2) e (3):

$$LSC = \mu_0 + \frac{k\sigma_0}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

$$LC = \mu_0 \quad (2)$$

$$LIC = \mu_0 - \frac{k\sigma_0}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

Entretanto, é importante ressaltar que este tipo de gráfico se aplica para processos onde tem-se a variável de controle como sendo contínua, como por exemplo um processo de envase de leite e normalmente, o valor de $k = 3$ é utilizado para criação desse gráfico (COSTA, 2007).

Durante o monitoramento do processo utilizando o gráfico de controle, amostras de tamanho n são retiradas do processo com frequência constante, como por exemplo, a cada 30 minutos. Segundo Costa (2007), a cada período, são testadas as seguintes hipóteses, indicadas na expressão (4) e (5):

$$H_0: \text{Processo em controle} \quad (4)$$

$$H_1: \text{Processo fora de controle} \quad (5)$$

Entende-se por processo sob controle, um processo isento de causas especiais, as quais por sua vez são toda perturbação no processo que faz com que sua média seja deslocada de μ_0 para μ_1 (COSTA, 2007).

Para tal análise de teste de hipóteses, pode-se cometer dois tipos de erros, o erro tipo I e o erro tipo II. Para a probabilidade de ocorrência do erro tipo I, utiliza-se a letra grega α e β para a probabilidade de ocorrência do erro tipo II (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2016).

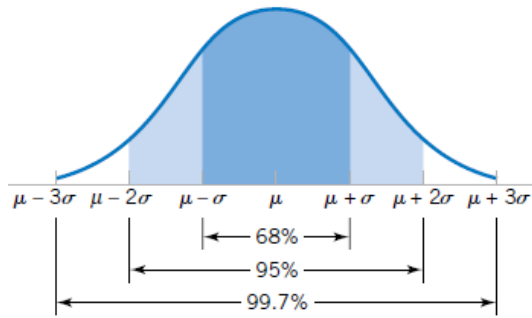
$$\alpha = P\{\text{Erro do Tipo I}\} = P\{\text{Rejeitar } H_0 | H_0 \text{ verdadeiro}\} \quad (6)$$

$$\beta = P\{\text{Erro do Tipo II}\} = P\{\text{Não rejeitar } H_0 | H_0 \text{ falso}\} \quad (7)$$

2.1.2 A distribuição normal

Em diversos casos, para utilização de uma ferramenta estatística é requerido que os dados estejam normalmente distribuídos. Tal classificação significa que, para a população estudada, 68,25% dos dados estarão localizados a menos de 1σ da média, 95,46% distará não mais que 2σ e por fim 99,73% dos dados estarão distribuídos a no máximo 3σ da média. Essas condições geram um gráfico em forma de curva simétrica com concavidade negativa, como mostrado na Figura 16.

Figura 16 – Exemplo de distribuição normal



Fonte: Montgomery e Runger (2003).

2.1.3 Testes de normalidade

Normalmente aplicados em conjunto com representações gráficas os testes de normalidade tem como finalidade determinar se a distribuição estudada corresponde à uma distribuição normal ou não. Tal validação é realizada através da aceitação ou rejeição da hipótese nula (H_0) - “a distribuição é normal” (GHASEMI; ZAHEDIASL, 2012, p. 487).

Segundo Ghasemi e Zahediasl (2012, p. 487), os principais testes para se determinar se uma distribuição é normal ou não são:

- teste de Kolmogorov – Smirnov;
- teste K-S corrigido por Liliefors;
- teste de Shapiro-Wilk;
- teste de Anderson-Darling;
- teste de Cramer-von Mises;
- teste de espalhamento de D’Agostino;
- teste de curtose de Anscombe-Glynn.

Segundo Henderson (2006, p. 128), os testes de normalidade de Shapiro-Wilk e Anderson-Darling normalmente apresentam os melhores resultados de poder de detecção da normalidade dos dados.

2.1.4 Análise de capacidade

Como citado anteriormente, a conformidade com as especificações é um parâmetro essencial para que um produto tenha qualidade na visão do cliente e para que as mesmas possam ser devidamente respeitadas é necessário que tenha-se um processo capaz de atendê-las.

Segundo a *Automotive International Action Group* (2005), pode-se prever o resultado de um processo com base na distribuição estatística gerada com amostras retiradas do mesmo. Para isto, segundo Montgomery (2012) pode-se utilizar alguns índices e taxas estatísticas para quando o processo está sob controle estatístico:

- **Índice Cp:** compara variabilidade do processo com os limite superior de especificação (LSE) e limite inferior de especificação (LIE). E pode ser calculado com a equação:

$$Cp = \frac{LSE - LIE}{6\sigma^{\wedge}} \quad (8)$$

- **Índice Cpi:** compara variabilidade do processo com o LIE e pode ser calculado com a equação:

$$Cpi = \frac{\mu - LIE}{3\sigma^{\wedge}} \quad (9)$$

- **Índice Cps:** compara variabilidade do processo com o LSE e pode ser calculado com a equação:

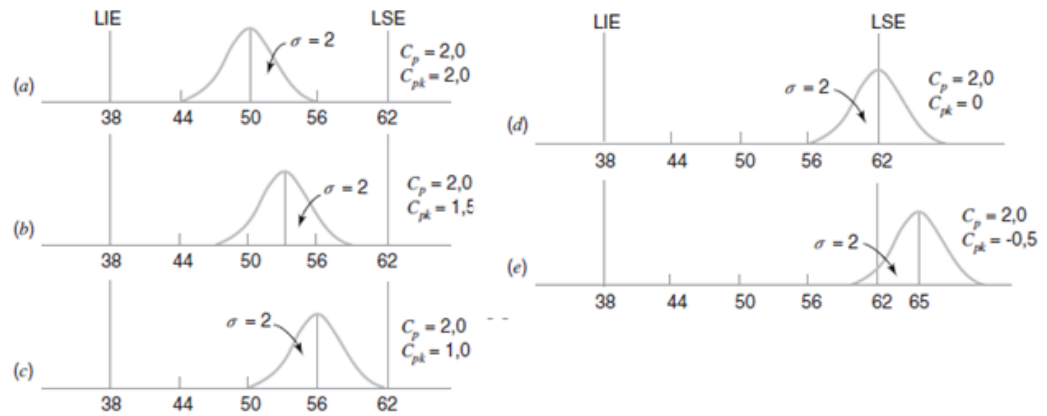
$$Cps = \frac{LSE - \mu}{3\sigma^{\wedge}} \quad (10)$$

- **Índice Cpk:** este é um índice bastante interessante, com vasta aplicação na indústria e pode ser utilizado para medir a descentralização do processo em questão. Pode-se notar que o índice Cp, também conhecido como razão da capacidade de um processo não leva em conta onde a média do processo está localizada em relação aos limites LSE e LIE. Já o índice Cpk leva em consideração esta média para ser calculado através a equação:

$$Cpk = \text{mín}(Cps, Cpi) \quad (11)$$

Nota-se portanto que o Cpk nada mais é que o menor valor encontrado entre os índices Cpi e Cps. Para exemplificar a diferença entre o Cpk e o Cp utilizar-se-á a imagem na Figura 17.

Figura 17 – Diferenças entre Cp e Cpk



Fonte: Montgomery (2012).

Já para processos fora de controle estatístico o *Automotive International Action Group* (2005) recomenda o uso dos índices de desempenho de processo Pp e Ppk detalhados a seguir:

- **Pp:** compara variabilidade global do processo com os ambos os limites de especificação (LSE e LIE) e pode ser calculado com a equação a seguir:

$$Pp = \frac{LSE - LIE}{6s} \quad (12)$$

Em que “s” é calculado pela equação:

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1} \right)} \quad (13)$$

- **Ppk:** semelhante ao índice Cpk, já apresentado, o índice Ppk também é sensível a descentralizações e pode ser utilizado como alerta para identificar quando um processo está deslocado e próximo aos limites de especificação LIE e LSE.

Com os índices mostrados anteriormente, consegue-se saber se um processo é capaz de atender aos requisitos do cliente ou não. Frequentemente, na literatura adota-se o valor de 1,33 para os índices como valor mínimo para considerar um processo capaz, para valores entre 1,00 e 1,33 o processo é considerado parcialmente capaz e incapaz para valores abaixo de 1,00, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Condições de qualidade e valores de Cp para processos centrados

Condição de qualidade	Cp
Capaz - Excelente	$Cp \geq 2,00$
Capaz - Ótimo	$1,67 \leq Cp < 2,00$
Capaz	$1,33 \leq Cp < 1,67$
Parcialmente Capaz	$1,00 \leq Cp < 1,33$
Incapaz	$0,67 \leq Cp < 1,00$
Inadequado	$Cp < 0,67$

Fonte: Adaptado de Arcidiacono e Nuzzi (2017).

2.2 FASE I DO CEP E MÉTODOS DE ANÁLISE DE FALHA

Muitos autores de publicações de pesquisa sobre MEP simplesmente assumem a existência de estimadores de acurácia dos parâmetros sob controle oriundos de um conjunto de dados sob controle e então, mudam diretamente para a discussão do monitoramento da fase II atual (WOODALL, 2017; JONES-FARMER *et al.*, 2014). Não dando a devida importância à fase I.

Esse quadro vem evoluindo constantemente; como cita Capizzi (2015, p. 63), a análise da fase I vem recebendo bem mais atenção dos pesquisadores e profissionais.

Segundo Yazdi, Hamadani e Amiri (2019, p. 2); Zwetsloot e Ajadi (2019, p. 2), e Adegoke *et al.* (2019, p. 9586), basicamente, cada abordagem ao monitoramento de processos é conduzida em duas fases, fase I a fase II, que possuem diferentes objetivos entre si.

Ainda segundo Yazdi, Hamadani e Amiri (2019, p. 2) e Adegoke *et al.* (2019, p. 9586), diferentes métodos de monitoramento são aplicados em cada fase. Na fase I, um conjunto de amostras é retirado do processo para eliminar as amostras fora de controle, devido às causas especiais. Quando todos os dados são plotados dentro dos limites de controle, pode-se inferir, com certa certeza, que o processo é afetado apenas por causas aleatórias, e está,

consequentemente, sob controle. No final da fase I, os parâmetros de processo são estimados baseados nos dados sob controle e usados como input na fase II.

O objetivo principal da fase II, é detectar rapidamente pontos amostrais fora de controle (SALEH *et al.*, 2016, p. 1).

Segundo Jones-Farmer *et al.* (2014, p. 265), na fase I, o profissional coleta um tamanho fixo de amostras com frequência estabelecida, para aprender sobre o processo.

Na fase I, de maneira geral, o tamanho da amostra e a extensão do período observacional precisam ser grandes e extensos o suficiente para caracterizar por completo o processo em estudo; ou seja, para entender as variações de curto e longo prazo, checagem da suposição de distribuição; estimar parâmetros, etc. (CAPIZZI, 2015, p. 46).

Zwetsloot e Woodwall (2019, p. 11), citam que o monitoramento de processo na chamada fase II depende do conhecimento obtido usando análise de dados históricos da fase I. A maioria da solução de problemas e o entendimento do processo, é tipicamente oriundo da fase I.

Na fase I, também é importante estabelecer a estabilidade do processo através da investigação dos dados dos resultados incomuns, e remover as causas anormais de variação. Assim, os dados remanescentes são usados para estimar os parâmetros do processo sob controle (FAN; JEN; LEE, 2019; GOEDHART; SCHOONHOVEN; DOES, 2020; JONES-FARMER *et al.*, 2014; YAZDI; HAMADANI; AMIRI, 2019).

Um dos objetivos da análise na fase I inclui quantificar a performance da qualidade atual do processo e o melhor entendimento da natureza da variação no tempo (JONES-FARMER *et al.*, 2014, p. 265).

Esse entendimento irá auxiliar na definição de qual carta de controle será melhor para a aplicação no estudo. A performance de cada carta de controle dependerá da estimativa realizada na fase I (ZWETSLOOT; AJADI, 2019, p. 2).

O objetivo do MEP é fazer distinção entre causa comum e causa especial de variação. Genericamente, é desconhecido qual variação é comum. Diversas técnicas de cartas de controle vêm sendo desenvolvidas para estimar o comportamento sob controle dos dados. O primeiro e mais provavelmente o mais fácil exemplo, de tal técnica, é a carta de controle de Shewhart, baseada no limite 3-sigma (GOEDHART; SCHOONHOVEN; DOES, 2019, p. 1).

Cartas de controle previnem ajustes desnecessários no processo. Uma carta de controle pode distinguir entre causa especial e causa comum de variação; nenhum outro instrumento, incluindo-se o operador do processo, é tão efetivo em se fazer tal distinção. Se os operadores do processo ajustam o processo baseado em testes periódicos não relacionados com um programa de carta de controle, eles irão, na maioria das vezes, tomar uma ação exagerada à causa comum de variação e fazer ajustes desnecessários no processo (MONTGOMERY; RUNGER, 2003, p 601).

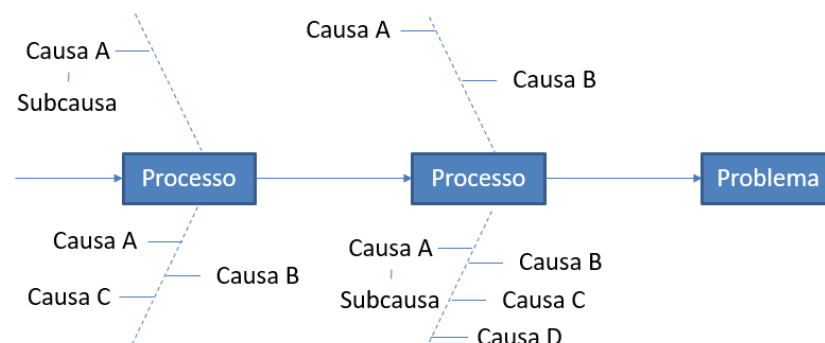
Cartas de controle são ferramentas essenciais no monitoramento de processos (DOVOEDO; CHAKRABORTI, 2016, p. 1). Há diversas ferramentas para se identificar e mapear as causas de variação de um processo.

Pyzdek (1999), cita que o número de causas para um problema pode ser enorme. O doutor Kaoru Ishikawa desenvolveu um método simples de mostrar graficamente qualquer problema.

O método desenvolvido por Ishikawa possui diversos nomes conhecidos, como diagrama de Ishikawa (diagrama espinha de peixe/diagrama de causa e efeito) (Figura 18).

Um fato importante é que o diagrama de Ishikawa mostra o estado de conhecimento atual do processo e deve ser usado como ferramenta de uso constante, toda vez que algo novo sobre o processo vier à tona (PYZDEK, 1999).

Figura 18 – Exemplo diagrama causa e efeito



Fonte: Adaptado de Montgomery e Runger (2003).

2.3 INDÚSTRIA 4.0

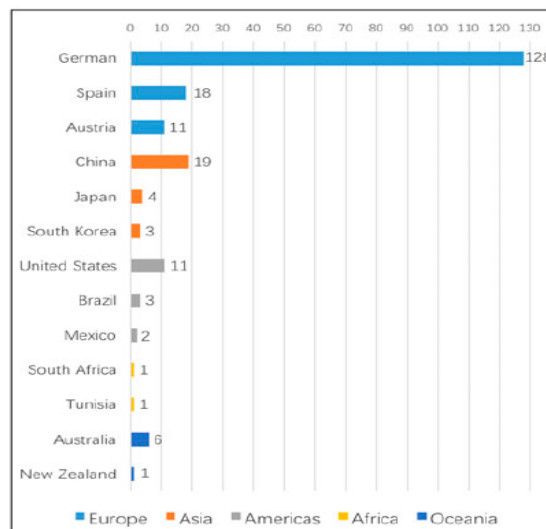
Segundo Xu, Xu e Li. (2018, p. 2941), a indústria 4.0 foi inicialmente introduzida durante a Feira de *Hannover* em 2011; depois, foi oficialmente anunciada em 2013 como uma iniciativa estratégica alemã para assumir um papel de pioneirismo nas indústrias que estão atualmente revolucionando o setor de manufatura.

O governo alemão criou um projeto para promover “computadorização” profunda e inovação da produção, nesses poucos anos, as empresas alemãs tem transformado a teoria (nascida durante a Segunda Guerra Mundial) em uma aplicação de sucesso (ZAMBON *et al.*, 2019, p. 3).

Quando se avalia o período inicial (entre 2012 e 2016), os países com maior concentração de estudos, identifica-se a Alemanha como líder e como era de se esperar, por ser o berço da indústria 4.0 (Figura 19).

China e Estados Unidos figurava como o quarto e sétimo colocados, respectivamente. E o Brasil como o oitavo colocado, com três trabalhos sobre o tema.

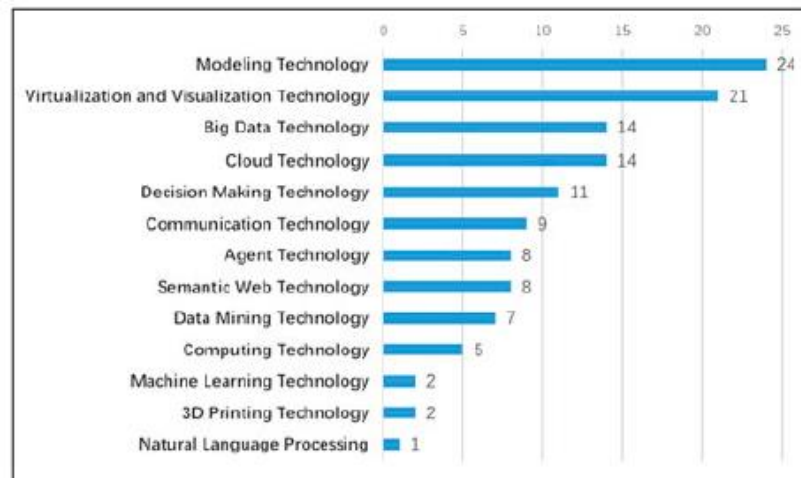
Figura 19 – Distribuição geográfica dos artigos relacionados à indústria 4.0 - 2012 e 2016



Fonte: Liao *et al.* (2017).

A Figura 20 descreve dentre os artigos do estudo de Liao *et al.* (2017, p. 3617) (em seu estudo objetiva realizar uma revisão de literatura e definição do estado da arte da 4ª Revolução Industrial, além de apresentar as lacunas ainda presentes sobre o tema no meio acadêmico); voltados para a indústria 4.0, quais palavras-chave são mais representativas, ou seja, ordenadas pelo número de vezes em que são citadas em cada artigo consultado pelos autores. Nota-se que os quatro primeiros são: “*Modeling Technology*”, “*Virtualization and Visualization Technology*”, “*Big Data*” e “*Cloud Technology*”, todos estão presentes no estudo. E na Figura 21, mostra as regiões mais citadas para o termo “*Industry 4.0*” no título.

Figura 20 – Palavras-chave relacionadas a tecnologias de abertura



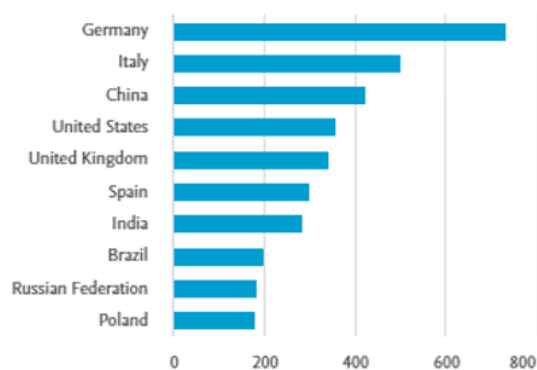
Fonte: Liao *et al.* (2017).

Porém, agora já com mais tempo de desenvolvimento acadêmico e aplicações industriais, ao se ampliar o tempo para entre 2011 e 2021 (Figura 21), pode-se notar algumas mudanças.

China e Estados Unidos figuram como terceiro e quarto colocados, respectivamente. Porém, com cerca de 20 e 33 vezes mais trabalhos, também respectivamente. Ocupando a segunda colocação, depara-se com a Itália, que não figurava nem entre os 13 mais países mais citados no primeiro período.

E o Brasil, ainda como o oitavo colocado, porém com 66 vezes mais estudos sobre o tema, mostrando uma evolução bastante relevante. Nota-se uma verdadeira corrida para se implementar avanços no tema indústria 4.0 entre vários países, e iniciado pela Alemanha.

Figura 21 – Regiões mais citadas entre 2011 e 2021 para o termo “*industry 4.0*” no título, limitado a publicações tipo “artigo”



Fonte: Elsevier (2021).

Há uma evolução constante e acelerada, cita-se já na literatura, inclusive o termo indústria 5.0, que é definida como uma transformação mais sistemática, e que inclui impactos na sociedade civil, governança e estruturas, e na identidade humana em adição para ramificações na economia/manufatura, unicamente (VAIDYA; AMBAD; BHOSLE, 2018, p. 238).

Zambon *et al.* (2019, p. 8) citam que os maiores avanços esperados da indústria 5.0 dizem respeito a interação entre máquinas, IdC e pessoas que é esperado levar a produção a novos níveis de velocidade e acurácia. E que em alguns anos, operários e robôs acabarão trabalhando juntos na definição e no compartilhamento das tarefas de trabalho em uma grande variedade de processos de manufatura.

2.3.1 Definição de indústria 4.0

Nenhuma definição clara e específica foi encontrada durante a revisão bibliográfica. Segue doravante, resumo das mais relevantes.

Hermann, Pentek e Otto (2016, p. 2), definem como “a convergência de produção industrial e informação e tecnologias de comunicação, chamado indústria 4.0”, nesse estudo, os autores nomeiam como seus principais componentes IdC, SFC e fábricas inteligentes.

Kolberg Knobloch e Zuhlke (2017, p. 1) definem indústria 4.0 como a visão de componentes inteligentes e máquinas que são integrados em uma rede comum digital baseada nos padrões comprovados de *internet*.

Kamble, Gunasekaran e Gawankar (2018, p. 108) e Ghobakhloo (2018, p. 911) definiram indústria 4.0 baseados nas tecnologias interconectadas que são usadas na implementação da indústria 4.0.

A transformação digital permite às organizações se tornarem mais eficientes por meio da adoção das tecnologias mais recentes no sistema de produção (JAYASHREE *et al.*, 2021, p. 2).

Bajic, Rikalovic e Piuri (2020, p. 1) diz que indústria 4.0 é um conceito que almeja alcançar a integração das partes físicas do processo de manufatura (por exemplo máquinas complexas, diversos dispositivos e sensores) com as partes cibernéticas (por exemplo *softwares* avançados), via rede.

Castelo-Branco, Cruz-Jesus e Oliveira (2019, p. 23) citam que o conceito de indústria 4.0 é um conceito que utiliza um conjunto de tecnologias, dispositivos e processos para oferecer modelos de produção autossuficientes, capazes de operar com o mínimo e indispensável de intervenção humana.

Fato importante é a escassez de implementação prática, em nível industrial, como mencionado por Bajic, Rikalovic e Piuri (2020, p. 1) que citam que, embora pesquisas com o tema indústria 4.0 estejam crescendo exponencialmente, evidências de sua implementação prática é ainda algo escasso e que não passam de estudos piloto em áreas específicas da empresa. Além disso, os desafios industriais encontrados na implementação do conceito de indústria 4.0 é algo menos endereçado ainda.

De acordo com Müller (2019, p. 2193), conhecimento e habilidades sobre indústria 4.0 devem ser criados nas empresas para uma correta implementação da indústria 4.0. Em adição, um alto nível em tecnologia da informação (TI) é de grande vantagem para a empresa.

Para Lasi *et al.* (2014, p. 240) e Müller (2019, p. 2189), os SFC são as tecnologias de propósito geral na indústria 4.0 e são dependentes da IdC.

Por sua vez e conforme mencionam Müller, Buliga e Voigt (2018, p. 2189), o uso de SFC em produção industrial, logística e processos relacionados, oferecem diferentes potenciais, como monitoramento em tempo real, prognóstico, diagnóstico e controle remoto.

Bajic, Rikalovic e Piuri (2020, p. 2) classifica as tecnologias da indústria 4.0 em 10 categorias: SFC, IdC, análise de *big data*, computação em nuvem, realidade aumentada e realidade virtual, entre outros. Também Ghobakhloo (2018, p. 914) menciona que indústria 4.0 trata-se de um sistema integrado de 14 tendências tecnológicas, e cita SFC, IdC, análise de *big data*, computação em nuvem, entre outros em seu estudo.

Foi observado que os conceitos de SFC, IdC, do inglês *internet of things* (IoT) e computação em nuvem, do inglês “*cloud computing*”, estão intimamente relacionados à indústria 4.0.

Definições das principais tecnologias:

- Sistemas físico-cibernéticos: Integração do sistema físico básico e o sistema de *software*: novas opções por meio do uso de informação em tempo real via *radio-frequency identification* (RFID), sensores etc. (LASI *et al.*, 2014, p. 240). Yao *et al.* (2017) definem como sendo a integração da computação com processos físicos. O mesmo autor vai além e complementa como sendo um sistema complexo composto de muitos elementos heterogêneos, e que estruturas de sistemas específicas são geralmente requeridas para diferentes cenários de implementação. De acordo com a *National Science Foundation* (2021), SFC são sistemas projetados e que são construídos e dependentes, da forte integração dos componentes computacionais e físicos. Os SFC são criados da integração entre sistemas de TI, componentes

mecânicos e eletrônicos conectados através de redes *online* IdC (LEE; BAGHERI; KAO, 2015, p. 18);

- IdC: É uma rede dinâmica onde entidades físicas e virtuais possuem identidades e atributos e usam interfaces inteligentes (SIKORSKI; HAUGHTON; KRAFT, 2017, p. 235). Outra definição, agora de Bajic, Rikalovic e Piuri (2020, p. 2) e Atzori, Iera e Morabito (2010, p. 2), é que IdC representa uma rede que fornece comunicação entre “coisas” (por exemplo objetos ou dispositivos), via estrutura de informação e comunicação, que resulta em possibilidade de atuação em tempo real;

- Computação em nuvem: representa um serviço computacional que fornece armazenagem de dados, compartilhamento e processamento via fontes visuais e em escala por meio da *internet* (CHEN *et al.*, 2016, p. 32). Liu *et al.* (2016, p. 1) mencionam que computação em nuvem está no núcleo da IdC.

Há outros conceitos, como o de manufatura inteligente e fábrica inteligente, que começam a se misturar e estarem relacionados com os conceitos de indústria 4.0.

Manufatura inteligente, no contexto de indústria 4.0 e conforme citado por Wan *et al.* (2016, p. 8978), atrai interesse de governos, empresas e pesquisadores acadêmicos. Ainda segundo os mesmos autores, os padrões de construção do termo “fábrica inteligente” são amplamente discutidos, mesmo que os padrões de implementação ainda não tenham sido estabelecidos.

Já para Li e Xu (2017), a indústria 4.0 foca no conceito de “fábrica inteligente” e SFC, que integra tecnologias avançadas como automação, compartilhamento de dados em tecnologia de manufatura, IdC, computação em nuvem, bens e pessoas.

Li *et al.* (2017, p. 25), definem o *layout* da indústria 4.0 na Figura 22.

Figura 22 – *Layout* da indústria 4.0



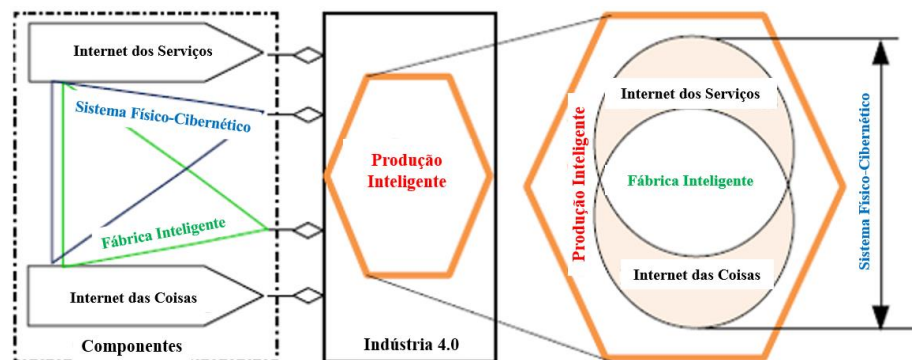
Fonte: Li *et al.* (2017).

A respeito dos *layers*, Li *et al.* (2017, p. 25), citam os requerimentos de cada *layer* para atendimento ao conceito de fábrica inteligente, doravante sumarizados:

- *Layer* dispositivos: equipamentos físicos necessitam ter suporte para aquisição de informações em tempo real e os dispositivos de comunicação deveriam prover uma transmissão de dados de alta velocidade;
- *Layer* de rede: internet industrial das coisas (IIoC) deveriam suportar novos protocolos e novos formatos de dados com alta flexibilidade e escalada, enquanto os sensores sem fio industriais (SSFI) trazem novas oportunidades de desenvolvimento de redes industriais;
- *Layer* de nuvem: as nuvens (ou *big data* ou servidores) são responsáveis pela armazenagem, “limpeza”, alta performance computacional e outros serviços, além de proverem a ponte entre as redes e as aplicações;
- *Layer* de aplicação de dados: plataforma de nuvem deveria ser capaz de analisar dados diversos. Análise de dados deveriam prover base científica para tomada de decisão.

Yao *et al.* (2017, p. 2), mostram um pouco sobre a interconexão dos termos relacionados à indústria 4.0 na Figura 23.

Figura 23 – Quatro componentes da indústria 4.0 e fábrica inteligente dentro da indústria 4.0



Fonte: Yao *et al.* (2017).

Oborski (2018, p. 50), em seu trabalho “Integração de operadores de máquinas com o sistema de controle de chão de fábrica para Indústria 4.0”, cita que as empresas enxergam uma demanda para integração em tempo real dos operadores de máquinas, processo e sistemas de monitoramento de máquinas com processamento avançado de dados. Nesse estudo, o autor mostra a implementação de sistemas especializados de TI, baseados em painéis dedicados por operador de máquina. Permitindo acesso estável e permanente a vários sistemas de suporte à produção, como instruções, além do desenvolvimento da integração de sistema manual de medição para medição da geometria de peças.

Uma comparação entre o sistema de produção atual e a indústria 4.0 é feita, onde um dos principais pontos mencionados desde um ponto de vista gerencial, é a falta de informação em tempo real relacionada ao processo produtivo e a realização das ordens de produção (OBORSKI, 2018, p. 48).

Ainda segundo o mesmo autor, o operador tem a informação sobre a correção da peça medida e informação sobre a estabilidade das máquinas do processo de maneira imediata (Figura 24).

Figura 24 – Esquema do sistema de medição



Fonte: Oborski (2018).

Após revisão bibliográfica e como humilde tentativa de dissertar sobre o tema de indústria 4.0, segue definição desse estudo:

- Indústria 4.0 é a convergência ou o caminho natural da produção industrial, na tentativa de aprimorar o uso de informações de processo (obtidas via *big data*) disponíveis em tempo real; sendo que para tal, há a demanda de tecnologias de comunicação e tratamento de dados. Dentre as mais relevantes até o presente momento: SFC, IdC, análise de *big data* e computação em nuvem. Tornando os processos capazes de operar com o mínimo e indispensável de intervenção humana e permitindo acesso em tempo real ao processo em si e à vários sistemas de suporte à produção, como instruções operacionais, de qualidade, de planejamento, de manutenção, entre outros.

2.3.2 Enquadramento do estudo em indústria 4.0

No estudo em questão, fez-se uso do *tablet* em linha de envase, integrando-se consultas automáticas ao sistema de *enterprise resource planning* (ERP) da empresa, SAP®, buscando dados de ajuste de processo, como densidade analisada do lote de produto, seguindo definição de Oborski (2018, p. 54).

Há elementos de todos os *layers* conforme citado por Li *et al.* (2017, p. 25):

- *Layer* dispositivos: máquina de envase e o *tablet*;
- *Layer* de rede: uso de rede sem fio (*wi-fi*);
- *Layer* de nuvem: uso de servidores e banco de dados em nuvem;

- *Layer* de aplicação de dados: uso plataforma Skelta® e outras aplicações internas, como algoritmos para cálculo dos parâmetros das cartas de controle e cálculo do ajuste de peso a ser utilizado pelo operador.

No estudo, há a integração da máquina de envase (máquina complexa), o *tablet* (dispositivo) e *software* (aplicações internas à plataforma Skelta®), via rede sem fio; atendendo ao sugerido por Bajic, Rikalovic e Piuri (2020, p. 1).

Conforme citam Castelo-Branco, Cruz-Jesus e Oliveira (2019, p. 23), o processo conta com um conjunto de tecnologias, como o uso de *quick response code* (QR Code) para identificação e registro automático dos insumos de embalagem, de maneira a garantir a rastreabilidade e a avaliação quanto ao uso correto; e oferece um modelo de produção autossuficiente em relação ao ajuste de peso, definido por algoritmos, sendo a intervenção humana (do operador), reduzida ao mínimo e indispensável.

Conforme mencionam Müller, Buliga e Voigt (2018, p. 2189), há a geração de base de dados para alimentação, em tempo real das cartas I-MR, por bico. Proporciona monitoramento em tempo real, prognóstico, diagnóstico e controle remoto, já que podem ser acessadas por telefone celular ou computador corporativos, de qualquer lugar e em tempo real.

Conforme Oborski (2018, p. 49), desde o ponto de vista gerencial, haverá o compartilhamento em tempo real, das informações relacionadas ao processo produtivo e quanto à realização/finalização das ordens de produção.

Assim como mencionado no esquema da Figura 24, o operador possui a informação sobre correção (necessidade de) e a informação sobre a estabilidade das máquinas do processo, de forma imediata.

No estudo há uma semelhança forte com o estudo de Oborski (2018, p. 52), onde o operador faz uso do *tablet* (painel) para acesso estável e permanente a vários sistemas de suporte à produção, como instruções, consultas etc.

Com relação aos SFC, há a integração do sistema físico básico e o sistema de *software*: novas opções por meio do uso de informação em tempo real via QR Code, como indicado por Lasi *et al.* (2014, p. 240).

Como citado por Yao *et al.* (2017, p. 2) e pela *National Science Fundation* (2021), há a integração da computação (base de dados, plataforma Skelta® e outras aplicações internas, como algoritmos para cálculo dos parâmetros das cartas de controle e ajuste de peso), com processos físicos.

Há um sistema complexo, elementos heterogêneos e uma estrutura de sistema específica para atender à necessidade do estudo, como mencionado por Yao *et al.* (2017, p. 2).

Com relação à IdC, no estudo, máquinas possuem identidades e atributos, assim como entidades como o lote de produto (virtuais) e que usam interfaces inteligentes (*tablet*), como sugerido por Sikorski, Haughton e Kraft (2017, p. 235).

Com relação à computação em nuvem, o estudo fornece armazenamento de dados, compartilhamento e processamento via fontes visuais (*tablet* e cartas de controle) e em escala por meio da *internet*, como proposto por Chen *et al.* (2016, p. 32).

Dessa maneira, entende-se que há o enquadramento do estudo ao tema indústria 4.0.

3 MÉTODO DE PESQUISA

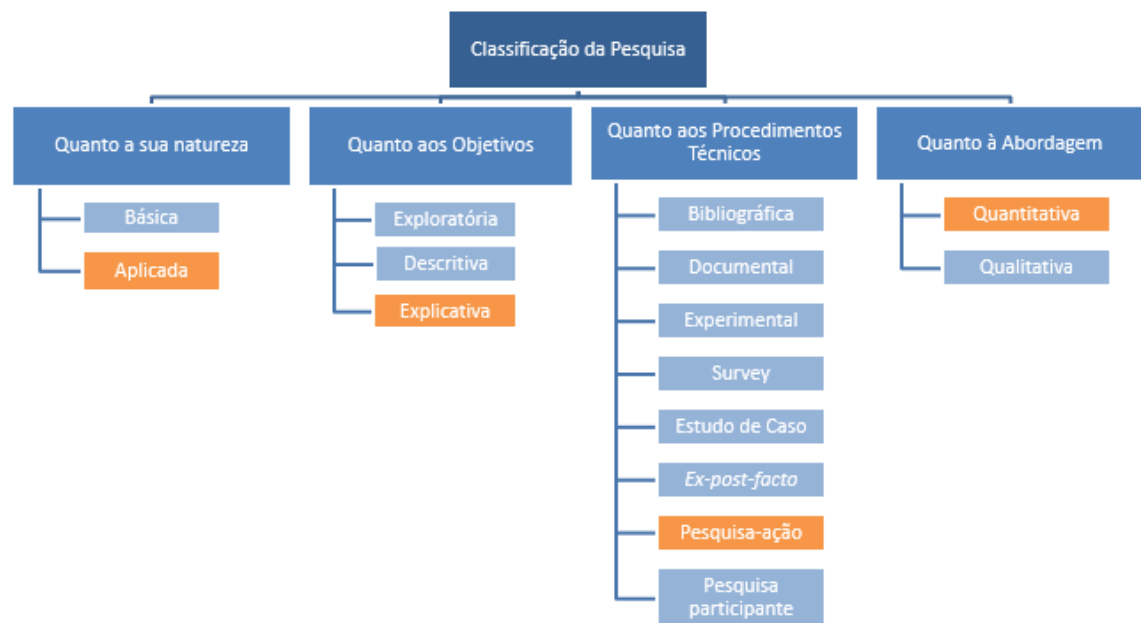
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa em questão, quanto à sua natureza, classifica-se como aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos e envolve verdades e interesses locais (PRODANOV; FREITAS, 2013), conforme a Figura 25.

O problema é a variação do peso das bombonas de 5 L na linha de envase específica e a falta de padrão do operador ao realizar o ajuste de peso, manualmente.

Quanto aos objetivos, a pesquisa é explicativa, pois pretende explicar os porquês do problema de variação de peso e suas causas.

Figura 25 – Classificação da pesquisa



Fonte: Adaptado de Prodanov e Freitas (2013).

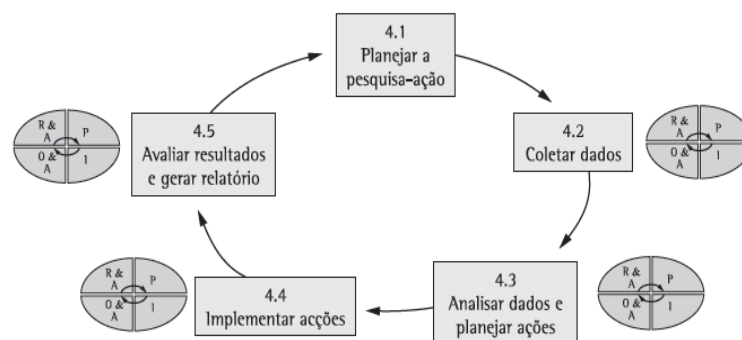
Quanto aos procedimentos técnicos, trata-se de uma pesquisa-ação, pois ela é concebida em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo e no qual os pesquisadores e os participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo (THIOLLENT, 2002).

A pesquisa-ação é participativa e ocorre quando há interesse coletivo na resolução de um problema (COUGHLAN; COUGHLAN, 2002, p. 224; PRODANOV; FREITAS, 2013).

A pesquisa-ação é o método a ser utilizado para o desenvolvimento deste estudo, subsidiado por outras estratégias de pesquisa, como por exemplo, as ferramentas típicas de um estudo de caso. De acordo com Bernardes, Muniz Junior e Nakano (2019), ação permite ao pesquisador compreender um problema e nele intervir, em tempo real, ou seja, trata-se de uma metodologia em que o processo-alvo da pesquisa é aprimorado por meio da prática, gerando aprendizado e conhecimento sobre o processo e sobre a pesquisa no decorrer da resolução do problema.

Para Mello *et al.* (2012, p. 5), a pesquisa-ação é aplicada por meio de um ciclo composto por quatro passos: planejar uma melhoria, agir para implantar a melhoria planejada, monitorar e descrever os efeitos da melhoria implantada e avaliar os resultados da ação, retroalimentando o ciclo (Figura 26).

Figura 26 – Estruturação para condução da pesquisa-ação



Fonte: Mello *et al.* (2012).

No estudo em questão, a criação da base de dados será feita com time multidisciplinar, incluindo-se os participantes representativos da situação ou do problema (engenheiros, supervisor e operadores), de maneira cooperativa com os pesquisadores.

A abordagem será de solução do problema (variação do peso), com aplicação de método científico e experimentação no problema prático, e requererá soluções e envolverá a colaboração e cooperação dos pesquisadores e membros do sistema organizacional, tal qual mencionam Coughlan e Coughlan (2002, p. 223).

Será feito de maneira cíclica, com avaliação pós implementação das medidas, principalmente nas aplicações tecnológicas relacionadas a IdC, desenvolvidas em conjunto.

Quanto a forma de abordagem do problema, trata-se de uma pesquisa quantitativa, pois o problema é quantificável, variável peso, e serão adotados recursos e técnicas estatísticas, como uso de cartas de controle, avaliação da média e desvio-padrão do processo de envase.

3.2 PLANEJAMENTO DA PESQUISA AÇÃO

Foi realizada uma revisão da literatura sobre o tema da pesquisa com o intuito de analisar as estratégias do desenvolvimento da fase I do CEP e técnicas presentes na indústria 4.0. Após a determinação da lacuna de pesquisa, foi proposto à empresa um projeto de implementação do CEP estruturado com ferramentas alinhadas em indústria 4.0.

3.2.1 Linha piloto A

Foi proposta a execução de teste piloto em uma linha de envase A, cujo principal produto é um fungicida tipo *suspension concentrate* (SC), envasado principalmente em bombonas de 5 L.

3.2.2 Objeto do estudo linha B

Após implementação na linha piloto A, foi proposta a implementação em outra linha de envase B, dessa vez cujo principal produto é um herbicida líquido tipo *soluble concentrate* (SL), envasado principalmente em bombonas de 5 L.

3.3 COLETA DE DADOS

Consistiu em três etapas distintas:

- 1 – Coleta de dados históricos, armazenados em folhas de processo de cada lote de produto, na linha piloto A, onde cada um dos sete bicos foi registrado individualmente. E na linha B, objeto do estudo, onde cada um dos oito bicos também foi registrado individualmente;
- 2 – Coleta de dados reais, durante o piloto na linha A, após implementação do CEP;
- 3 – Coleta de dados reais, na linha B, objeto do estudo, após implementação do CEP.

3.3.1 Implementação do CEP

Dentro do CEP, há a opção de diversos tipos de cartas de controle. Cada qual com sua indicação de aplicação.

Costa, Epprecht e Carpinetti (2016), juntamente com Montgomery (2001), citam que as cartas EWMA e CUSUM são indicadas para monitoramento de processos sujeitos à pequenas variações. Outro ponto importante mencionado pelo mesmo autor é que, ambas as cartas EWMA e CUSUM, não sinalizam desajustes de imediato, afastando-se gradualmente da linha central, sendo o gráfico de I, mais ágil para tal. Também Noskievičová, Smajdorová e Tylečková (2020, p. 1) mencionam que a carta CUSUM é considerada uma eficiente alternativa às cartas de Shewhart quando é de interesse detectar pequenas variações no processo.

De acordo com Sayuti e Pertiwi (2018, p. 3), e Mukundam *et al.* (2013, p. 1004), a carta I-MR é usada para processos cujo tamanho da amostra é um ($n = 1$). Os mesmos autores também citam que que isso ocorre comumente quando a inspeção é feita automaticamente ou quando o nível de produção é lento, tornando dificultoso ter-se tamanho de amostra maior que um ($n > 1$). Mencionam ainda que é comum de se ocorrer em indústria química.

Montgomery e Runger (2018), citam que a carta I-MR é usada quando a taxa de produção é muito lenta e é inconveniente permitir tamanho de amostra maior que um ($n > 1$) e acumular antes de analisar. Ainda de acordo com os mesmos autores, as medições individuais são assumidas como sendo descorrelacionadas, e qualquer padrão aparente nas cartas de valores individuais de X (gráfico de I) devem ser cuidadosamente investigados.

A carta I-MR é muito insensível para pequenas variações na média do processo. Sendo assim indicada para grandes mudanças na média do processo (MONTGOMERY; RUNGER, 2018). Mukundam *et al.* (2013, p. 1004), recomendam seu uso para desvios maiores que 1,5 vezes o desvio padrão.

Na pesquisa em questão, não há o objetivo de se detectar pequenas variações, assim como também de se detectar o mais cedo possível um ponto fora dos limites de controle, reduzindo-se assim, as intervenções no processo de envase em questão. Devido à baixa precisão da máquina de envase em questão e também devido à intenção de se reduzir o nível de intervenção operacional no processo.

Na linha estudo B, temos uma capacidade (taxa de produção) de aproximadamente 30 bombonas por minuto. Se compararmos com fabricação de bebidas, onde se opera com aproximadamente 2.000 garrafas por minuto, notamos que a linha de estudo B, possui capacidade bem reduzida. Dessa maneira, poucas amostras em cada bico são geradas durante o processo de envase. O procedimento amostral está definido para uma amostra por bico a cada 60 minutos, ou quando houver alguma mudança no processo, como por exemplo, alteração de fornecedor da bombona, mudança de lote de produto, limpeza na linha ocasionada por

derramamento de produto, ocorrência/problema de manutenção em qualquer parte da máquina envasadora, entre outros.

O produto a ser envasado é formulado em lotes e liberado em granel ou *bulk* para ser envasado em suas diferentes apresentações, caso haja. Como o produto é homogêneo e há certo tempo entre amostras do mesmo bico (cerca de 60 minutos), há o entendimento de que não há correlação entre amostras consecutivas.

Um ponto a se atentar é em relação à autocorrelação que segundo Montgomery (2001), processos de manufatura, em geral, são regidos por elementos inerciais, e quando o intervalo entre observações torna-se pequeno em relação a estas forças, elas se tornam correlacionadas ao longo do tempo. É o que ocorre por exemplo em subgrupos maiores que um ($n > 1$).

Segundo Claro, Costa e Machado (2007, p. 543), a autocorrelação (que causa aumento no número de alarmes falsos) na variável sob monitoramento pode ser gerada por uma causa especial ou ainda ser inerente ao processo. Os mesmos autores citam que em muitas aplicações, a dinâmica do processo faz com que observações consecutivas ou próximas tornem-se correlacionadas.

Como alternativa para se evitar ou reduzir a autocorrelação, segundo Claro, Costa e Machado (2007, p. 543), pode-se por exemplo, aumentar o intervalo de tempo entre observações (no exemplo citado no trabalho dos autores, espaçamento de 15 observações entre subgrupos já se mostrou suficiente para tal).

Outra medida citada pelos mesmos autores é adotar-se o uso de gráficos de controle com limites “alargados”. Os autores ainda citam como medida para se evitar a autocorrelação, monitorar o processo com cartas de controle para os resíduos independentes e identicamente distribuídos resultantes.

Para o estudo em questão, as seguintes medidas contribuem para se evitar a autocorrelação:

- Subgrupo igual a um ($n = 1$);
- Espaçamento de aproximadamente 225 observações entre amostras por bico.

Número este bem maior o espaçamento de 15 observações mencionado no trabalho de Claro, Costa e Machado (2007, p. 543).

As outras duas opções foram consideradas inviáveis ou demasiado complexas para o estudo e aplicação real.

Além disso, é preciso ter em mente que o operador possui uma gama de outras responsabilidades e atividades de verificação que demanda muito do seu tempo. Essa é a estratégia de turnos implementada pela empresa.

Dessa maneira, decidiu-se por não fazer uso da Carta EWMA, da carta CUSUM ou da carta TCC. Optando-se por fazer uso da carta I-MR.

3.3.1.1 Linha piloto A

Todos os dados históricos foram digitalizados e analisados por meio de *software* estatístico Minitab®18. A coleta de dados foi realizada coletando-se uma amostra (bombona) de cada bico de hora em hora, e a bombona foi pesada em balança de mesa, calculado o volume por meio da densidade analisada do lote de produto e o valor plotado individualmente na cartas I-MR.

3.3.1.2 Objeto do estudo linha B

Todos os dados históricos foram digitalizados e analisados por meio de *software* estatístico Minitab®18. Após implementação na linha piloto A, foi proposto implementação em outra linha de envase B, da mesma forma, será realizada coletando-se uma amostra (bombona) de cada bico de hora em hora, e a bombona será pesada em balança de mesa, calculado o volume por meio da densidade analisada do lote de produto e o valor plotado individualmente na cartas I-MR.

3.3.2 Indústria 4.0

Na pesquisa em questão, há o objetivo de utilizar-se de ferramentas relacionadas à indústria 4.0 para se conseguir a padronização do processo de intervenção operacional no processo alvo do estudo, tendo como pano de fundo, o uso do *tablet* em linha de envase, integrando-se consultas automáticas ao sistema ERP da empresa, SAP®, buscando dados de ajuste de processo, como densidade analisada do lote de produto. Também será gerada base de dados para alimentação, em tempo real das cartas I-MR, por bico.

Os dados de resultados de outras inspeções realizadas pelo operador, como “teste de selagem”, para verificar possível vazamento de produto, também serão alimentados no banco de dados, de maneira que o algoritmo fará o espaçamento automático da amostragem para tal inspeção, na medida que problemas não são detectados e reduzindo-se o intervalo, caso algum problema seja detectado.

Foram desenvolvidos QR *Codes* para identificação e registro automático dos insumos de embalagem, de maneira a garantir a rastreabilidade e a avaliação quanto ao uso correto, de acordo com a lista técnica do produto a ser envasado; através de consulta ao ERP da empresa - SAP®. Também foram gerados QR *Codes* para as linhas de envase, para identificação e garantir a rastreabilidade e a avaliação quanto ao envase na linha correta, de acordo com o plano de produção; através de consulta ao ERP da empresa - SAP® evitando-se erros operacionais.

Tais desenvolvimentos/soluções citadas anteriormente, estão em linha com Li e Xu (2017) sobre indústria 4.0, pois focam no conceito de “fábrica inteligente” e SFC, que integra tecnologias avançadas como automação, compartilhamento de dados em tecnologia de manufatura, IdC, computação em nuvem, bens e pessoas. Além, atendem aos requerimentos dos *layers* no conceito de Fábrica Inteligente mencionados por Li *et al.* (2017).

Também atendem aos *layouts* e os *layers* da indústria 4.0 mostrados na Figura 22 por Li *et al.* (2017) e à definição de IdC de Sikorski, Haughton e Kraft (2017), onde cita que IdC é uma rede dinâmica onde entidades físicas e virtuais possuem identidades e atributos e usam interfaces inteligentes.

3.3.2.1 Linha piloto A

Antes da implementação propriamente dita do piloto na linha A, foram realizados diversos pequenos testes, seguindo-se o conceito de pesquisa-ação, nos quais o time do projeto identificou várias “usabilidades” possíveis, relacionadas com indústria 4.0, as quais foram arquivadas nos arquivos gerados para registro, as planilhas de acompanhamento em ciclos, chamada de *patch notes* ou *work cycles* (Figura 27).

Figura 27 – Exemplo *patch notes* ou *work cycles*

ID	Patch	Responsável	Descrição da atividade	Motivo	Data de Entrega	Status
2.4.1	2.4	Edson	Inserir mensagem na cor verde para quando as pesagens estiverem dentro dos limites de controle. Ex: "Peso (5000) está dentro dos Limites de Controle."	User Stories: "Seria interessante a solução nos mostrasse de maneira mais visual, quando o ponto está dentro dos limites aceitáveis."	22-10-20	Cancelar?
2.4.2	2.4	Edson	Inserir filtro na carta de controle (gráfico) com a opção: "Visualizar dados do: "Lote atual" ou "Produto Atual"	User Stories: "Seria interessante se a solução nos mostrasse de maneira filtrada no gráfico somente os valores do lote atual e caso necessário também todos os valores do produto atual"	OK	Backlog
2.4.3	2.4	Guilherme/Edson	Instalar a Televisão no LAB I e solicitar qual é o switch e porta do switch utilizada para conexão do ponto de rede. E Edson Configurar a porta do Switch na Vlan 230.	IoT : Instalação de Dashboard para visualização de dados em tempo real no Laboratório de Embalagens AGRO	30-10-20	Backlog
2.4.4	2.4	Edson	Reorganização dos itens da aba Finalizar Lote/Turno: Teste com osímetro irá para a aba "Checklists"	User Stories: "Seria interessante que todos os testes realizados na produção fiquem em uma mesma aba na solução. Idem para as alterações realizadas em embalagens."	03-11-20	Backlog
2.4.5	2.4	Edson	Inserção do texto informando que após qualquer parada da envasadora ou troca de turno, uma nova pesagem se faz necessária.	RU 02 - FTA: Medida criada para contenção de possíveis causas especiais	Após férias do Edson	Backlog
2.4.6	2.4	Edson	Alteração do texto "Realize os ajustes necessários" para "Abaixe/Aumente XX pulsos no módulo". 100x (Pesagem Realizada (g) - Alvo (g)) / 100(pulsos) / 40 (g) Se for negativo label muda para "abaixe" e se for positivo "Aumente".	RU 02 - FTA: Medida criada para contenção de possíveis causas especiais	OK	Backlog
2.4.7	2.4	Edson	Inserção do texto informando que deverão ser aguardados 3 ciclos de envase para realização de novo registro pesagem após a execução de ajustes no processo.	RU 02 - FTA: Medida criada para contenção de possíveis causas especiais	Após férias do Edson	Backlog
2.4.8	2.4	Edson	Alteração da aba "Reportar NCM envolvendo embalagens: Como está a funcionalidade das Embalagens na linha de envase atual? 			Backlog
2.4.9	2.4	Edson/Guilherme	Efetivar o uso do powerBI LEA de suporte ao envase. (NCMs embalagens)			
2.4.10	2.4	Edson	Adicionar tanque B102 para as linhas do F60 a1000 a1001 e a1003		OK	
2.4.11	2.4	Edson	Continuar Lote 20L, pusando volume errado no target LSC LIC LSE e LIE.		OK	
2.4.12	2.4	Edson	Foto da NCM não é carregada no report. O App salva a foto no servidor global e consulta no servidor local.	bug		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Antes de cada pequeno teste, o time se reuniu em sala de reunião para planejar o que seria testado, buscando oportunidades de automatização e digitalização do processo.

Após cada pequeno teste, o time se reuniu em sala de reunião, avaliou os resultados e definiu que mudanças seriam de fato implementadas.

Para o teste piloto na linha A, somente foram coletados os valores de peso e plotados em tempo real nas cartas I-MR, por bico.

As informações necessárias para as demais “usabilidades”, não foram coletadas no piloto.

3.3.2.2 Objeto do estudo linha B

Após implementação na linha piloto A, foi proposto implementação em outra linha de envase B e também foram realizados diversos pequenos testes, seguindo-se o conceito de pesquisa-ação, nos quais o time do projeto identificou várias “usabilidades” possíveis, relacionadas com indústria 4.0, as quais foram arquivadas em acompanhamento em ciclos, usadas no piloto, os *patch notes* ou *work cycles* da Figura 27.

Antes de cada pequeno teste, o time se reuniu em sala de reunião para planejar o que seria testado, buscando oportunidades de automatização e digitalização do processo.

Após cada pequeno teste, o time se reuniu em sala de reunião, avaliou os resultados e definiu que mudanças seriam de fato implementadas. O time de *smart manufacturing* desenvolveu a programação das soluções testadas e definidas para implementação de fato.

Para o teste na linha B objeto do estudo, foram coletados os valores de peso e plotados em tempo real nas cartas I-MR, por bico.

3.4 ANÁLISE DOS DADOS E PLANEJAMENTO DAS AÇÕES

Esta etapa visou avaliação por time multidisciplinar do estudo avaliou os dados coletados a cada ciclo de implementação e definiu as ações necessárias para o próximo ciclo *plan, do, check, act* (PDCA), traduzido como: planejar, fazer, verificar e agir. Seguindo-se o conceito de pesquisa-ação.

3.4.1 Implementação do CEP

3.4.1.1 Linha piloto A

Consistiu basicamente em análise de dados históricos sobre o processo de envase dessa linha, assim como identificação de possíveis razões para as causas especiais de variação.

Foram realizadas algumas reuniões com o time multidisciplinar do estudo.

Devido janelas de produção para a linha de envase e iminente substituição da envasadora dessa linha, não houve oportunidade de realizar muitos testes em campo.

Dessa forma, os resultados foram analisados com suporte do *software* estatístico Minitab® 18, conforme apresentado no item 4. Resultados e Discussão.

3.4.1.2 Objeto do estudo linha B

Consistiu em diversas reuniões com o time multidisciplinar do estudo para análise de dados históricos sobre o processo de envase dessa linha, identificação de possíveis razões para as causas especiais de variação e planejamento das ações a serem testadas e implementadas na linha do estudo B. Conforme apresentado no item 4. Resultados e Discussão.

Na linha do estudo B, foi de fato utilizado o conceito de pesquisa-ação, conforme Mello *et al.* (2012).

3.4.2 Indústria 4.0

3.4.2.1 Linha piloto A

Para os primeiros testes na linha piloto A, foi desenvolvido uma solução de baixo custo e que permitia relativamente fácil alteração, além de interface amigável ao operador, atendendo a agilidade necessária e que já fosse de uso comum na linha envase, para tanto, utilizou-se o *software* Microsoft® Excel 365. Dessa maneira, com o andamento da pesquisa-ação na linha piloto A, foi necessário alteração constante da solução.

3.4.2.1.1 Software para testes iniciais em linha de envase (Excel + Visual Basic)

A solução foi desenhada combinando-se fórmulas do *software* e a linguagem de programação *Visual Basic* sendo composta por quatro páginas distintas:

- Página inicial (Microsoft® Excel + *Visual Basic*): Composta pelos campos “motivação”, “comandos” e “barra de navegação”, tem como objetivo informar ao usuário o motivo da utilização do aplicativo e servir como apresentação da solução. O *layout* desta página é exibido na Figura 28;

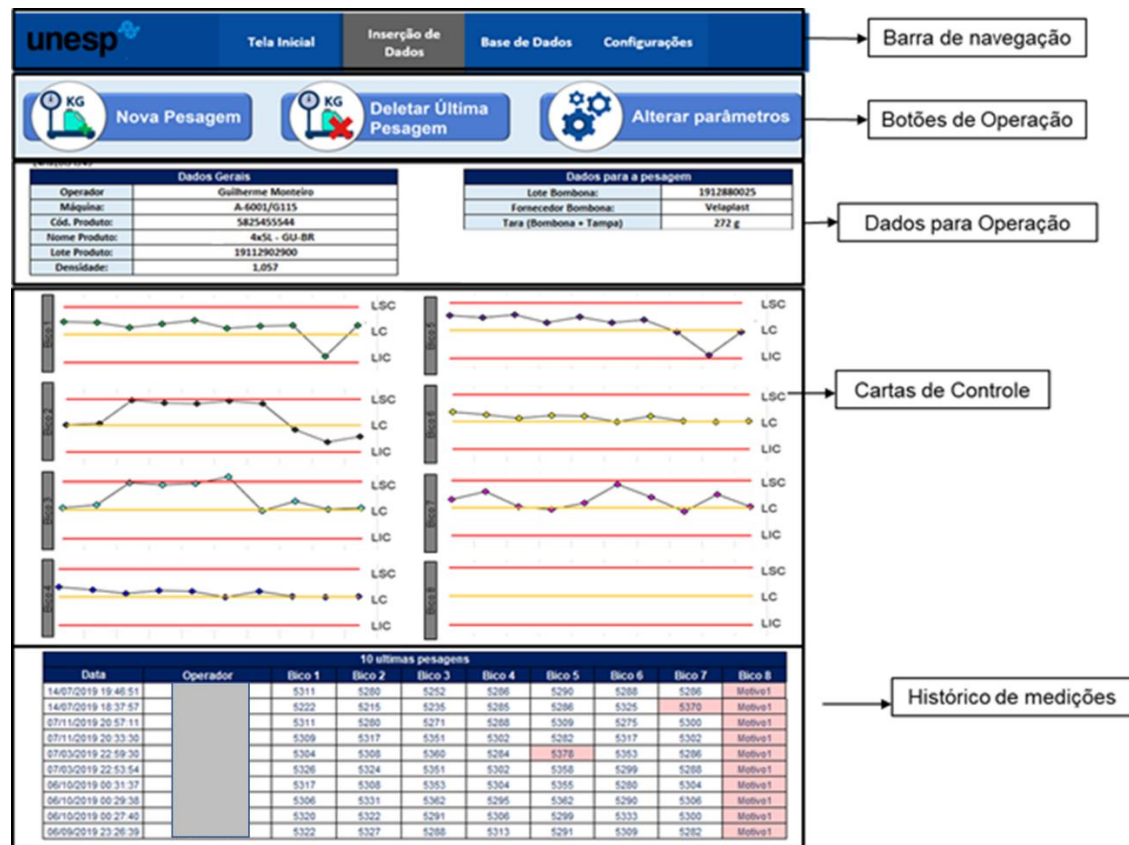
Figura 28 – Página inicial (solução em Microsoft® Excel + *Visual Basic*)



Fonte: Elaborado pelo autor.

- CEP (Microsoft® Excel + *Visual Basic*): Composta pelos setores “barra de navegação”, “botões de operação”, “dados para operação”, “cartas de controle”, e “histórico de medições” contém as principais funções da ferramenta desenvolvida para os testes iniciais. O *layout* desta página é exibido na Figura 29;

Figura 29 – Central de CEP (solução em Microsoft® Excel + *Visual Basic*)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesta tela, buscou-se a criação de uma interface rápida, visual e amigável de modo a auxiliar o operador de envase na tomada de decisão, informando quando intervir ou não no processo com a ajuda da carta I-MR por bico, a qual é plotada em tempo real durante a operação do equipamento.

Ao selecionar o botão “nova pesagem” uma janela para inserção de dados é exibida e é solicitado ao usuário a inserção das medições coletadas em cada um dos oito bicos de envase de uma em uma hora na linha de envase. Nesta janela os limites de controle são exibidos ao usuário de forma a orientá-lo quanto aos parâmetros de controle do processo. Em adicional, criou-se um campo que permite que o operador informe se cada bico de envase está realmente

em uso, pois sabe-se que um bico pode ser desativado devido à manutenção e com isso o volume envasado pelo mesmo é igual a zero. O *layout* desta página é exibido na Figura 30.

Figura 30 – Janela inserção de dados (solução em Microsoft® Excel + *Visual Basic*)

Inserção de dados de pesagem

Dados

Bico 1 (g): 5200 ☒ Operante
 Bico 2 (g): 5285 ☒ Operante
 Bico 3 (g): 5265 ☒ Operante
 Bico 4 (g): 5285 ☒ Operante
 Bico 5 (g): 5285 ☒ Operante
 Bico 6 (g): 5256 ☒ Operante
 Bico 7 (g): 5268 ☒ Operante
 Bico 8 (g): -- ☐ Operante

Motivo do não funcionamento:

Produto: 4x5L - GU-BR
 Data: 22/11/2019 20:34:01
 Lote: 19112902900
 Usulino: Guilh
 Máquina:

Minimo	Alvo	Máximo
5206 g	5285 g	5364 g

Inserir Dados

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a inserção dos dados na aplicação, a carta de controle é atualizada com os valores inseridos e uma nova janela, conforme a Figura 31, é exibida ao usuário informando quais bicos se encontram sob controle estatístico e quais não se encontram sob controle estatístico no momento da medição. Em adicional, é solicitado que os ajustes necessários para reestabelecimento do controle sejam executados.

Figura 31 – *Pop-up* de informação: “o processo está sob controle?” (solução em Microsoft® Excel + *Visual Basic*)

Microsoft Excel

Bico 1:
1 ponto fora dos limites de controle!
Realize os ajustes necessários!

Bico 2:
Sob controle.

Bico 3:
Sob controle.

Bico 4:
Sob controle.

Bico 5:
Sob controle.

Bico 6:
Sob controle.

Bico 7:
Sob controle.

Bico 8:
--Inoperante--

OK

Fonte: Elaborado pelo autor.

- Base de dados (Microsoft® Excel + *Visual Basic*): A base de dados utilizada para a criação da solução foi armazenada dentro do *software* Microsoft® Excel 365 e encontra-se disponível para consulta conforme a Figura 32. Esta base, simplifica o processo de coleta de dados para próximas análises históricas do processo, isto pois não será necessária consulta de registros em papel e transcrição destes para o Microsoft® Excel, a base é construída automaticamente;

Figura 32 – Base de dados (solução em Microsoft® Excel + *Visual Basic*)

unesp		Tela Inicial		Inserção de Dados	Base de Dados	Configurações		
Numero de Pesagens:		20						
Data	Operador	Máquina	Cód. Produto	Lote Produto	Densidade	Tara Bombona	Bico 1 (g)	Bico 2 (g)
06/09/2019 23:26		X	Y	19112902900	1,057	272	5296	5300
06/09/2019 23:26		X	Y	19112902900	1,057	272	5286	5292
06/09/2019 23:26		X	Y	19112902900	1,057	272	5306	5302
06/09/2019 23:26		X	Y	19112902900	1,057	272	5308	5286
06/09/2019 23:26		X	Y	19112902900	1,057	272	5308	5302
06/09/2019 23:26		X	Y	19112902900	1,057	272	5308	5300
06/09/2019 23:26		X	Y	19112902900	1,057	272	5310	5306
06/09/2019 23:26		X	Y	19112902900	1,057	272	5310	5300
06/09/2019 23:26		X	Y	19112902900	1,057	272	5308	5286
06/09/2019 23:26		X	Y	19112902900	1,057	272	5302	5322
06/09/2019 23:26		X	Y	19112902900	1,057	272	5322	5327
06/10/2019 00:27		X	Y	19112902900	1,057	272	5320	5322
06/10/2019 00:29		X	Y	19112902900	1,057	272	5306	5331
06/10/2019 00:31		X	Y	19112902900	1,057	272	5317	5308
07/03/2019 22:53		X	Y	19112902900	1,057	272	5326	5324
07/03/2019 22:59		X	Y	19112902900	1,057	272	5304	5308
07/11/2019 20:33		X	Y	19112902900	1,057	272	5309	5317
07/11/2019 20:57		X	Y	19112902900	1,057	272	5311	5280
14/07/2019 18:37:57		X	Y	19112902900	1,057	272	5222	5215
14/07/2019 19:46:51		X	Y	19112902900	1,057	272	5311	5280

Fonte: Elaborado pelo autor.

- Configurações (Microsoft® Excel + *Visual Basic*): A página nomeada como “configurações” tem como objetivo permitir que o usuário administrador da solução consiga de forma rápida alterar qualquer parâmetro das demais páginas apresentadas nos tópicos anteriores (Página inicial (Microsoft® Excel + *Visual Basic*), CEP (Microsoft® Excel + *Visual Basic*), Base de dados (Microsoft® Excel + *Visual Basic*)) do presente estudo.

3.4.2.2 Objeto do estudo linha B

O modelo da solução em Microsoft® Excel + *Visual Basic* foi apresentado à área de *smart manufacturing* e à gerência sênior da produção, sendo aprovado e nomeado como “projeto CEP”.

Entretanto, para atender à requisitos internos da empresa e à questão de pesquisa três “avaliar a viabilidade da implementação de ferramentas (*tablet* e *big data*) para auxiliar a empresa a implementar melhorias voltadas à indústria 4.0 [...]. Porém, sem incorrer em riscos à segurança da informação corporativa e à privacidade de dados”, conforme Li e Xu (2017) e Müller (2019, p. 2193).

Para atender ao mencionado por Li e Xu (2017) e Müller (2019) e para prover uma solução que fosse capaz de se comunicar, via *wi-fi* com a rede interna da empresa, decidiu-se criar um modelo que reproduzisse a solução aplicada na linha piloto A. A solução definida foi a criação de um *software* utilizando-se a plataforma *Wonderware Skelta®* BPM, doravante denominada somente como Skelta®; desenvolvida internamente pela área de *smart manufacturing* e que atende aos requisitos internos de segurança da informação da empresa e, por consequência, às normas vigentes da Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD), lei nº 13.709, aprovada em agosto de 2018 e com vigência a partir de agosto de 2020 (BRASIL, 2020).

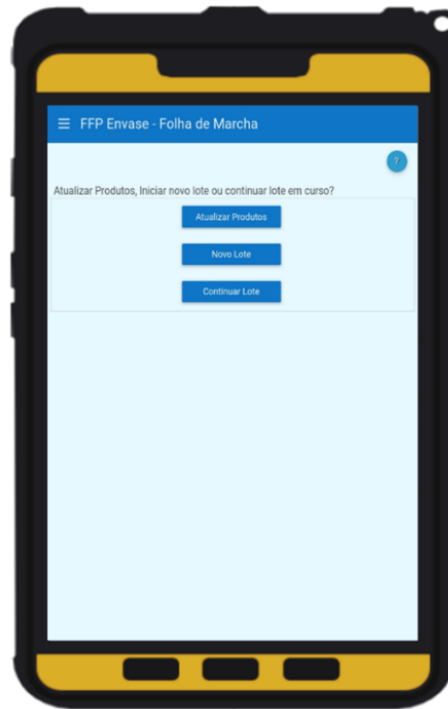
3.4.2.2.1 O que é o Skelta® BPM?

O *Wonderware Skelta®* BPM é uma plataforma de gestão e automação de processos utilizado na criação de fluxos de trabalho complexos, envolvendo pessoas de dentro ou fora de uma organização privada. Esta plataforma permite a programação de fluxos e criação de relatórios, combinando a utilização de diversas linguagens, tais como: *java script*, *cascading style sheet* (CSS), *hyperText markup language* (HTML), C#, entre outras.

Como o Skelta® BPM é compatível com dispositivos Android®, o desenvolvimento do “projeto CEP” na plataforma, tornou-se atrativo, pois a empresa já possui *tablets* utilizando esse sistema operacional. Sendo composta por:

- Página inicial (Skelta® BPM): Composta pelos botões “novo lote”, “continuar lote” e “atualizar produtos”, tem como objetivo servir como apresentação da aplicação, e é a primeira etapa do acesso à central de controle estatístico do processo. O *layout* desta página é exibido na Figura 33.

Figura 33 – Página inicial (Skelta®)



Fonte: Elaborado pelo autor.

- Página de coleta de dados (Skelta® BPM): Nesta página, ilustrada na Figura 34, o operador informará todos os dados necessários para registro de um lote no sistema, alguns destes dados são:
 - Código do produto: identifica o produto no sistema de gestão ERP da empresa, o SAP®;
 - Lote do produto: composto de 10 dígitos e de acordo com o Decreto nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002 (BRASIL, 2019); é um identificador único para cada lote de material produzido/envasado;
 - Nome do usuário: identifica o operador que envasou o lote em questão;
 - Densidade do produto: corresponde à razão entre massa e volume do produto envasado e é de suma importância para obtenção do volume envasado; sendo a variável resposta o peso, obtido por meio de balança de mesa;
 - Informações sobre os equipamentos utilizados para envase: necessários para a rastreabilidade do processo e para que em caso de defeito no produto final, possam ser estudadas quais foram as causas raízes da falha.

Figura 34 – Página de coleta de dados da produção (Skelta®)

The image shows a tablet with a data collection form. The form is titled 'Parâmetros' and contains several sections with input fields and dropdown menus. The sections are: 'Operador' with a text field containing 'GUILHERME DE CARVALHO MONTEIRO'; 'Turno' with a dropdown menu labeled 'Selecionar o Turno'; 'Envaseadora' with a dropdown menu labeled 'Selecionar a máquina envasadora'; 'Tanque pulmão' with a dropdown menu labeled 'Selecionar o tanque pulmão'; 'Código do Produto' with a text field containing '30304014'; 'Descrição' with a text field containing '0001 00000001 000 14001 1,00'; and 'Lote do Produto' with a text field containing '129'. There are two buttons: 'Salvar Produto' and 'Checar Lote'.

Fonte: Elaborado pelo autor.

- Central de controle estatístico do processo (Skelta® BPM): A nomeada “central de controle estatístico do processo” e exibida na Figura 35. Esta é a tela principal da solução e tem como objetivo controlar estatisticamente o processo, auxiliando o operador com a informação de quando é necessário e quando não é necessário intervir no processo. Auxiliando diretamente em um dos objetivos específicos do estudo: “implementar o uso de *tablet* pelos operadores e de uma interface amigável, que oriente o operador sobre como e quando realizar o ajuste no processo.” A carta I-MR é exibida individualmente para cada bico de envase e, em caso de uma medição exceder os limites de controle, uma mensagem em amarelo aparece na tela do operador, alertando-o sobre a presença de uma causa especial no processo e informando que existe a necessidade de ajuste para reestabelecimento do controle. No caso de a medição exceder os limites de especificação definidos pela “Portaria Inmetro nº 248 de 17 de julho de 2008” (LEGISWEB, 2008), uma mensagem em vermelho aparece na tela para o operador e, conforme definido em procedimento interno da empresa, o processo é interrompido e as embalagens envasadas desde a última medição, são 100% inspecionadas de modo a evitar que haja impactos para o cliente.

Figura 35 – Central de controle estatístico do processo (Skelta®)



Fonte: Elaborado pelo autor.

- Base de dados (Skelta® BPM): Um dos principais benefícios da implementação da solução proposta é a criação de uma base de dados digital, robusta e confiável contendo valiosas informações sobre o processo, as quais poderão ser utilizadas para avaliação do processo pelos supervisores de turno e /ou engenharia de processo, além de tomada de decisões pela liderança. A base de dados foi criada utilizando o banco de dados do Skelta® BPM, tendo como linguagem a *structured query language* (SQL).
- Relatório gerencial (Skelta® BPM): O relatório gerencial, mostrado na Figura 36 (os dados da empresa e do operador foram suprimidos), foi desenvolvido com auxílio do *software* Microsoft® Power BI, e tem como principal objetivo, fornecer à liderança de produção, a agilidade na tomada de decisão, exibindo de forma gráfica e visual, os detalhes do processo de envase em tempo real em dispositivos móveis e/ou computadores corporativos. Pode ser utilizado clicando-se em cada bico de envase, e avaliando-se os valores da carta I-MR por bico. Este recurso, também disponível na tela do *tablet*, para o operador, pode auxiliá-lo na tomada decisão quanto à solicitação de suporte da área de manutenção, por exemplo, pois pode indicar que o instrumento de dosagem, o Moduflex®, está com variação excessiva, quando comparada com os demais bicos de envase/Moduflex®.

Figura 36 – Relatório gerencial do processo (Skelta®)



3.4.2.2.2 Validação dos equipamentos de medição da linha do estudo B

Para atender ao item “avaliação do processo de medição”, mencionado como parte da fase I por Woodall (2017), verificou-se que a balança de mesa possui plano de calibração semestral (de seis em seis meses) e evidenciou-se que o plano de calibração estava em dia. Durante todo o período de coleta de dados não foram evidenciados desvios na qualidade de obtenção dos dados pelo equipamento e com isso, não houve necessidade de manutenção ou substituição do equipamento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CAUSAS ESPECIAIS – PHASE I E IMPLEMENTAÇÃO DO CEP

4.1.1 Linha piloto A

Com base nos relatórios de envase impressos em papel, gerados entre o período de 01/jan/2019 até 31/dez/2019 para o produto fungicida tipo SC, na linha piloto A da empresa. Foi gerada uma base de dados com 6.256 amostras (Figura 37).

Figura 37 – Ilustração parcial do resultado da elaboração da base de dados, linha piloto A

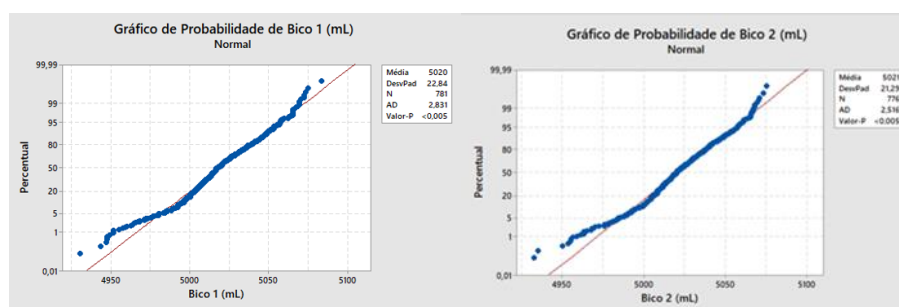
Nº Material	Nº Lote	Data de envase	Hora de Envase	Operador	Medição	Densidade	Fornecedor da Bombona	Lote Bombona	Tara embalagem+tam	Bico 1 (g)	Bico 1 (mL)
Y	11940000	20/01/2019	19:40	H	1	1,23	X	1810570280	289	6195	5036,585366
Y	11940000	20/01/2019	20:40	H	2	1,23	X	1810570280	289	6210	5048,780488
Y	11940000	21/01/2019	16:30	H	1	1,23	X	1810570280 / 1810570134	280	6156	5004,878049
Y	11940000	21/01/2019	17:30	S	2	1,23	X	1810570280 / 1810570134	280	6200	5040,850407
Y	11940000	21/01/2019	20:00	S	3	1,23	X	1810570280 / 1810570134	280	6190	5032,520325
Y	11940000	21/01/2019	21:00	S	4	1,23	X	1810570280 / 1810570134	280	6200	5040,850407
Y	11940000	21/01/2019	14:30	S	3	1,23	X	1810570280	289	6119	4974,796748
Y	11940000	22/01/2019	18:30	S	1	1,23	X	1810570283	274	6215	5052,845528
Y	11940000	22/01/2019	20:00	T	2	1,23	X	1810570283	274	6167	5013,621138
Y	11940000	22/01/2019	21:00	T	3	1,23	X	1810570283	274	6189	5031,707317
Y	11940000	22/01/2019	14:30	R	1	1,23	X	1810570283 / 1810570282	284	6191	5033,333333
Y	11940000	22/01/2019	15:30	R	2	1,23	X	1810570283 / 1810570282	284	6216	5053,658537
Y	11940000	22/01/2019	16:30	T	3	1,23	X	1810570283 / 1810570282	284	6206	5045,528455
Y	11940000	22/01/2019	17:30	T	4	1,23	X	1810570283 / 1810570282	284	6211	5049,593496
Y	11940000	22/01/2019	07:00	C	5	1,23	X	1810570280 / 1810570134	280	6144	4995,121951
Y	11940000	22/01/2019	08:00	C	6	1,23	X	1810570280 / 1810570134	280	6142	4993,495935
Y	11940000	22/01/2019	09:00	T	7	1,23	X	1810570280 / 1810570134	280	6176	5021,138211
Y	11940000	22/01/2019	10:00	T	8	1,23	X	1810570280 / 1810570134	280	6215	5052,845528
Y	11940000	22/01/2019	11:00	T	9	1,23	X	1810570280 / 1810570134	280	6200	5040,850407
Y	11940000	22/01/2019	12:30	T	10	1,23	X	1810570280 / 1810570134	280	6198	5039,02439
Y	11940000	23/01/2019	07:00	T	4	1,23	X	1810570283	274	6000	4943,089431
Y	11940000	23/01/2019	08:00	R	5	1,23	X	1810570283	274	6182	5026,01626
Y	11940000	23/01/2019	09:00	R	6	1,23	X	1810570283	274	6213	5051,219512
Y	21920000	24/01/2019	07:20	T	1	1,23	X	1810570134	285	6140	4991,869919
Y	21920000	24/01/2019	08:20	T	2	1,23	X	1810570134	285	6142	4993,495935
Y	21920000	24/01/2019	09:30	C	3	1,23	X	1810570134	285	6145	4995,934959

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.1.1 Análise normalidade do processo por bico de envase

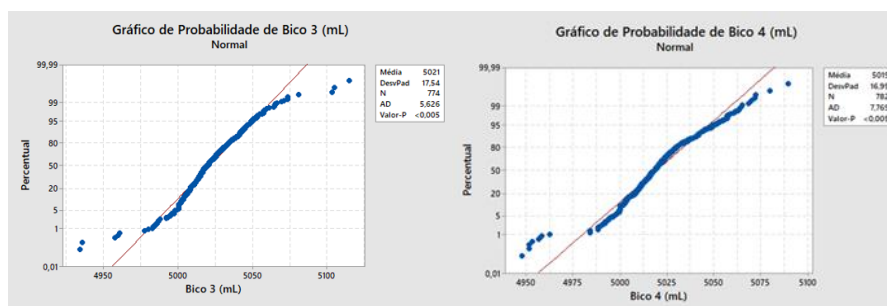
A primeira análise realizada foi o teste de normalidade de Anderson-Darling do processo, considerando a estratificação dos dados no nível “bico de envase”, isto pois, para cada bico existe uma bomba diferente no equipamento e portanto, cada bico corresponde a um processo de envase diferente. Os resultados são exibidos nas Figuras 38, 39, 40 e 41.

Figura 38 – Testes de normalidade de Anderson-Darling para os bicos 1 e 2



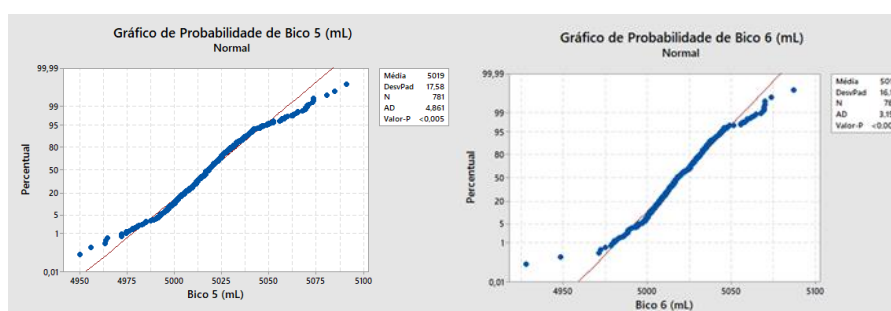
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 39 – Testes de normalidade de Anderson-Darling para os bicos 3 e 4



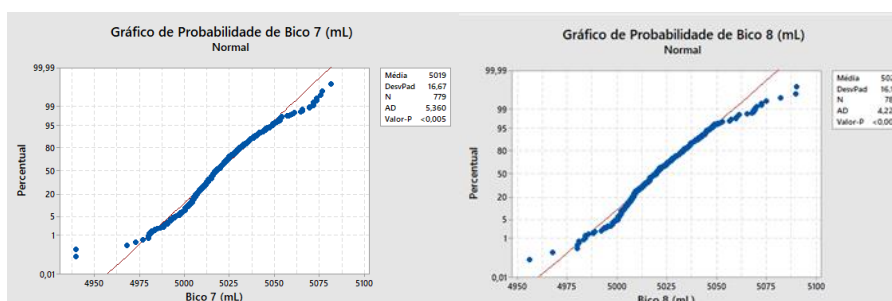
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 40 – Testes de normalidade de Anderson-Darling para os bicos 5 e 6



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 41 – Testes de normalidade de Anderson-Darling para os bicos 7 e 8



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode-se observar pelo valor $P < 0,005$, em nenhum dos bicos testados, o teste de normalidade de Anderson-Darling resultou na comprovação da hipótese de que os dados seguem uma distribuição normal.

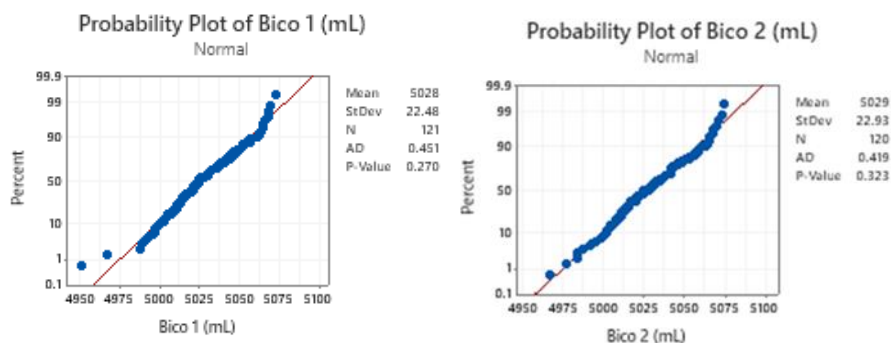
4.1.1.2 Análise normalidade do processo por bico de envase e lote/campanha

Com base nos resultados apresentados na análise anterior, um time multidisciplinar foi reunido de modo a entender se o processo ainda poderia ser estratificado, pois segundo Toutenburg (2002), quanto melhor for a estratificação, maior será a qualidade dos dados estudados. Resultando em um menor esforço para alcançar o objetivo do estudo.

Conforme mencionado por Pyzdek (1999), que o diagrama de Ishikawa deve ser ferramenta constante, uma vez que mostra o estado atual do processo, fez-se uso de tal ferramenta, junto com o time multidisciplinar do projeto (engenheiros, supervisor, operadores e pesquisadores).

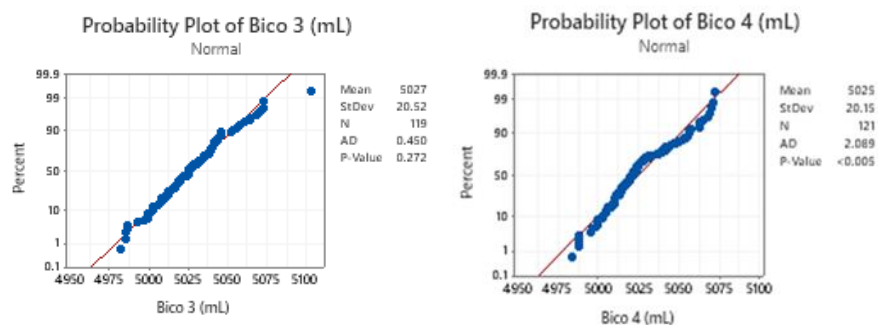
Chegou-se à conclusão de que a não normalidade dos dados poderia ser originada devido a presença de manutenções preventivas e ajustes grosseiros nos equipamentos, entre campanhas. Dessa forma, selecionou-se a o lote cinco, pois verificou-se que se tratava de um lote no meio de uma campanha sequencial, evitando-se assim, os riscos e possíveis causas geradas no gráfico de Ishikawa. Os resultados são exibidos nas Figuras 42, 43, 44 e 45.

Figura 42 – Testes de normalidade de Anderson-Darling para os bicos 1 e 2, lote cinco



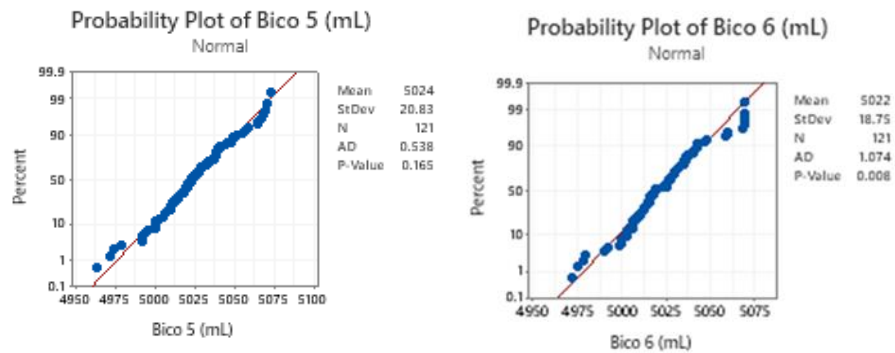
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 43 – Testes de normalidade de Anderson-Darling para os bicos 3 e 4, lote cinco



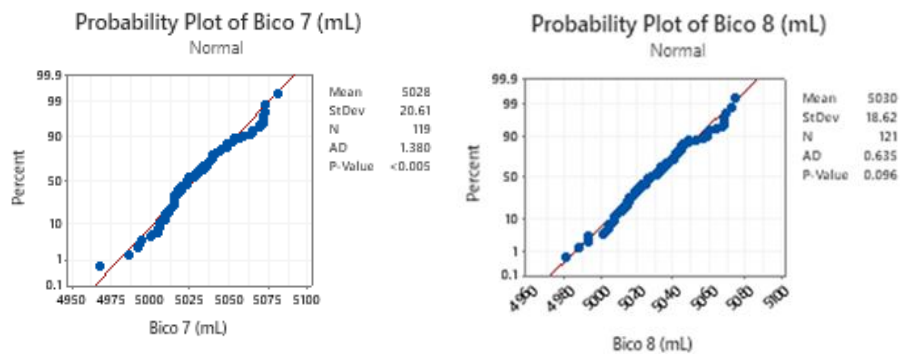
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 44 – Testes de normalidade de Anderson-Darling para os bicos 5 e 6, lote cinco



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 45 – Testes de normalidade de Anderson-Darling para os bicos 7 e 8, lote cinco



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados do teste de normalidade de Anderson-Darling para os bicos de envase no lote cinco da campanha escolhida para estudo foram satisfatórios e a Tabela 3 foi criada com intuito de sumarizar os dados obtidos.

Tabela 3 – Resultado dos testes de normalidade linha piloto A

Bico de Envase	N	P-Value	Distribuição normal?
1	121	0,27	Sim
2	120	0,323	Sim
3	119	0,272	Sim
4	121	<0,005	Não
5	121	0,165	Sim
6	121	0,008	Não
7	119	<0,005	Não
8	121	0,096	Sim

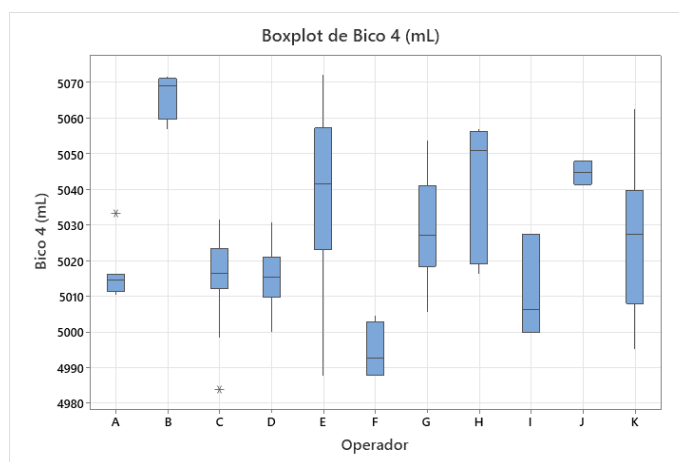
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.1.2.1 Avaliação dos bicos não normais – bicos 4, 6 e 7

Verificou-se registros físicos (folha de marcha do produto), porém não foi evidenciada nenhuma possível causa especial, que pudesse justificar a não normalidade dos bicos 4, 6 e 7.

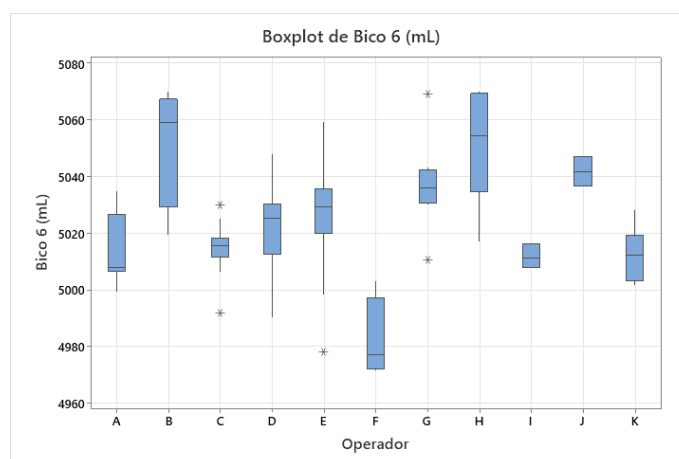
Para se avaliar a possível interferência dos operadores quanto à normalidade dos bicos 4, 6 e 7, foram montados os gráficos de *box plot* conforme Figuras 46, 47 e 48.

Figura 46 – *Box plot* bico 4, lote cinco, por operador

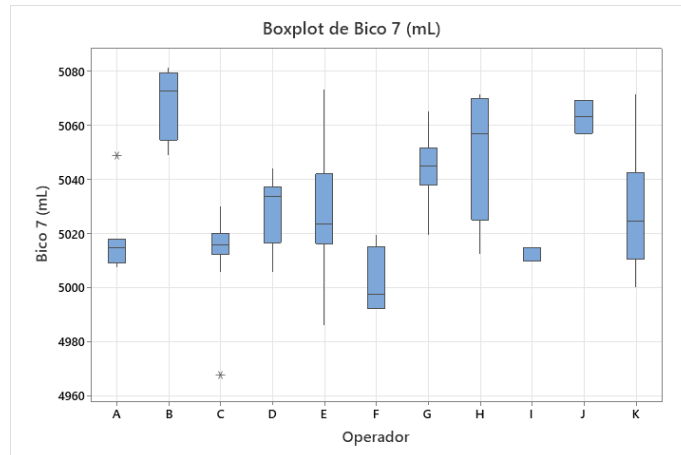


Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 47 – *Box plot* bico 6, lote cinco, por operador



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 48 – *Box plot* bico 7, lote cinco, por operador

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nos gráficos *box plot* dos bicos 4, 6 e 7 nas Figura 46, 47 e 48, pode-se notar uma grande variação entre o volume envasado por operador. Para o bico 4, por exemplo, o maior valor de mediana encontrado foi de 5.069 mL e o menor foi de 4.993 mL (Tabela 4), o que corresponde a uma diferença de 76 mL entre operadores. Dessa forma, a única possível causa especial (mais provável), está residida na variação entre operadores, ou seja, no ajuste utilizado por cada operador para operar a máquina de envase.

Tabela 4 – Estatística descritiva do bico 4, lote cinco, por operador

Bico	Operador	Média	Desvio padrão	Mínimo	Mediana	Máximo
4	A	5017	8	5011	5015	5033
4	B	5067	7	5057	5069	5072
4	C	5016	11	4984	5017	5032
4	D	5016	8	5000	5015	5031
4	E	5039	23	4988	5042	5072
4	F	4995	8	4988	4993	5005
4	G	5029	15	5006	5027	5054
4	H	5042	19	5016	5051	5057
4	I	5011	14	5000	5007	5028
4	J	5045	5	5042	5045	5048
4	K	5026	19	4995	5028	5063

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.1.2.2 Análise de capacidade dos bicos normais

Para o processo em questão, o LSE e LIE são informados pela “Portaria Inmetro nº 248 de 17 de julho de 2008” (LEGISWEB, 2008), conforme Tabela 5.

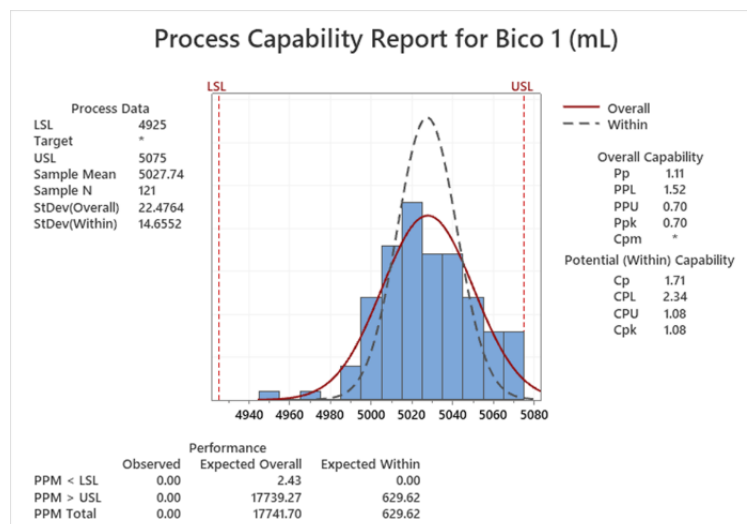
Tabela 5 - Tolerâncias individuais permitidas

Conteúdo Nominal (g ou ml ou cm ³)	Percentual do conteúdo nominal	g ou ml ou cm ³
0 a 50	9	-
50 a 100	-	4,5
100 a 200	4,5	-
200 a 300	-	9
300 a 500	3	-
500 a 1000	-	15
1000 a 10000	1,5	-

Fonte: Adaptado de Legisweb (2008).

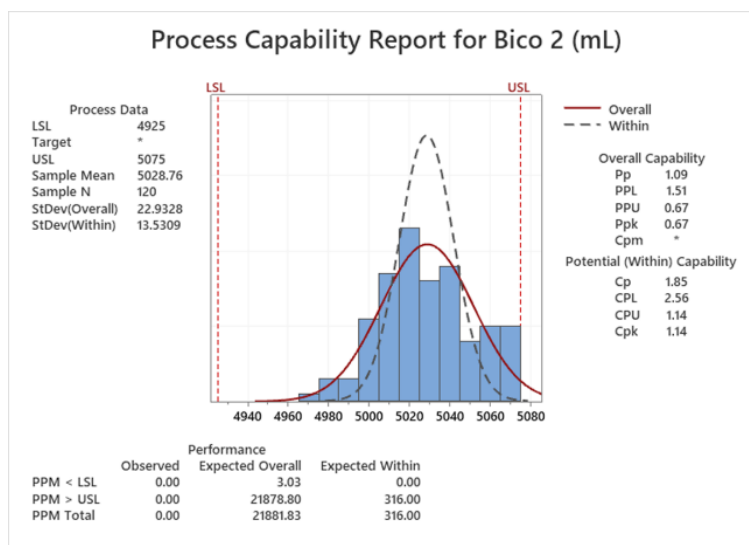
Segundo Montgomery (2012), uma análise de capacidade de dados que não seguem uma distribuição normal pode resultar em conclusões falsas sobre o processo, deste modo, para esta análise, foram selecionados apenas os bicos 1, 2, 3, 5 e 8 e a análise é mostrada nas Figuras 49, 50, 51, 52 e 53.

Figura 49 – Teste de capacidade para o bico 1



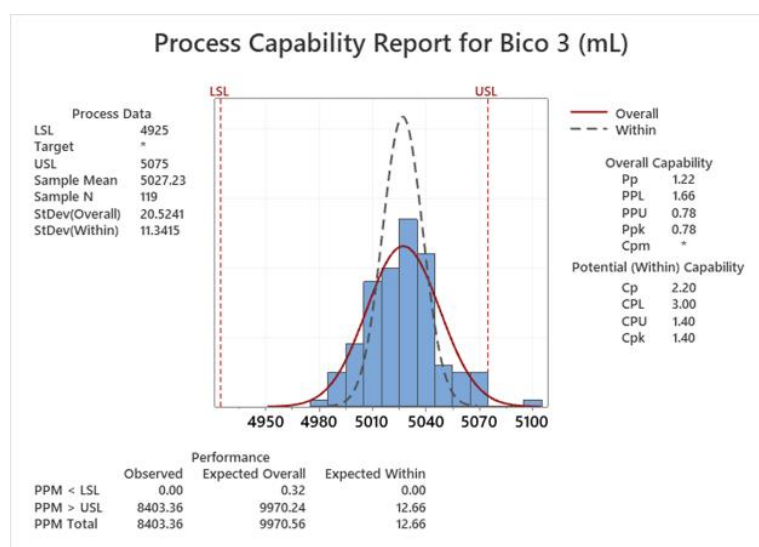
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 50 – Teste de capacidade para o bico 2



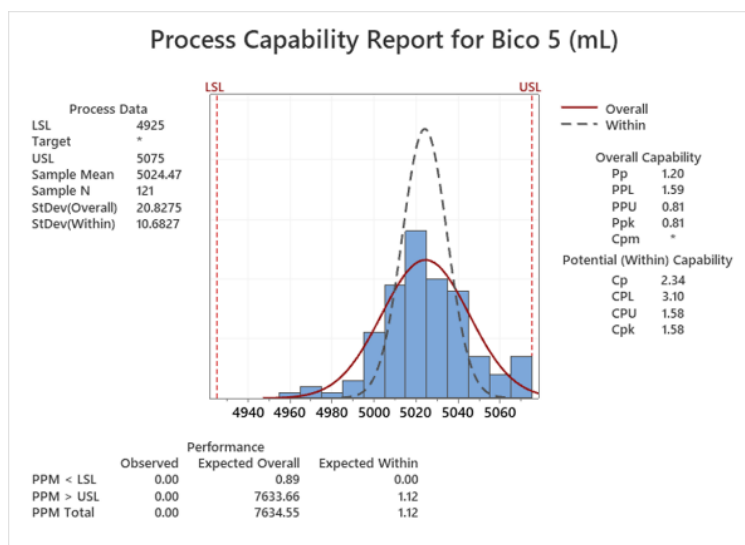
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 51 – Teste de capacidade para o bico 3



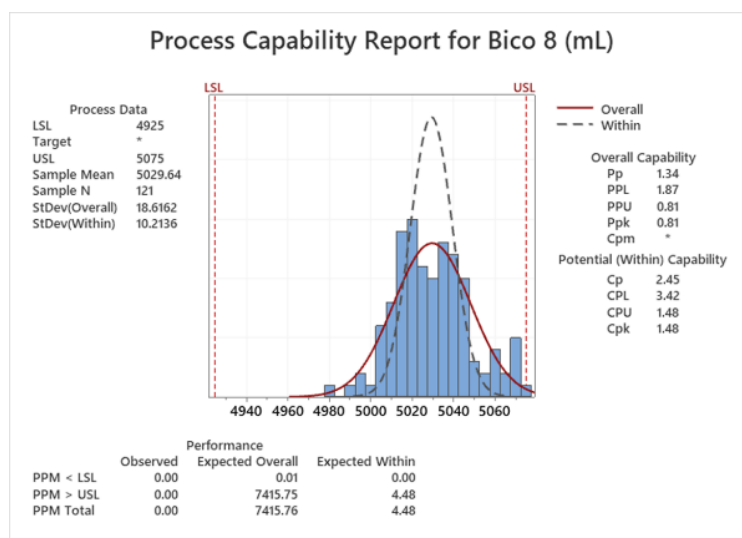
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 52 – Teste de capacidade para o bico 5



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 53 – Teste de capacidade para o bico 8



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nos resultados obtidos nas análises de capacidade dos bicos 1, 2, 3, 5 e 8, com subgrupo igual 1 para os dados do lote cinco na campanha em questão, a Tabela 6 foi elaborada com intuito de sumarizar as informações.

Tabela 6 – Resultados dos testes de capacidade linha piloto A

Bico de Envase	N	Cp	Cpk
1	121	1,71	1,08
2	120	1,85	1,14
3	119	2,2	1,4
4	121	-	-
5	121	2,34	1,58
6	121	-	-
7	119	-	-
8	121	2,45	1,48

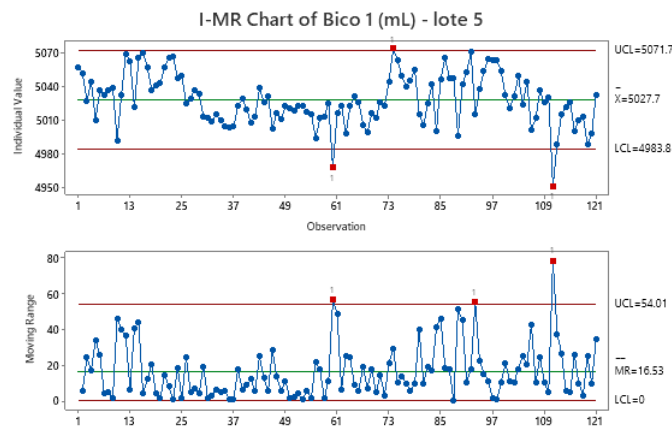
Fonte: Elaborado pelo autor.

Para os Cpk's obtidos, pode-se concluir que os bicos 1 e 2 analisados são parcialmente capazes, pois situam-se dentro do intervalo $1 < Cpk < 1,33$ e os bicos 3, 5 e 8 superam o valor comumente adotado comumente na literatura de $Cpk > 1,33$, vide Tabela 2 no item 2.1.4. Entretanto, quando é analisado o conjunto Cp e Cpk, nota-se que há uma redução de aproximadamente 36% no índice Cpk quando comparado com o Cp. Tal comportamento dos indicadores sugere a presença de um deslocamento na distribuição dos dados, visto que Cpk é numericamente igual ao índice de capacidade do processo (CPU), este deslocamento é para o limite superior de especificação e pode ser visualmente observado nas Figuras 49, 50, 51, 52 e 53.

4.1.1.2.3 Cartas I-MR para os bicos normais

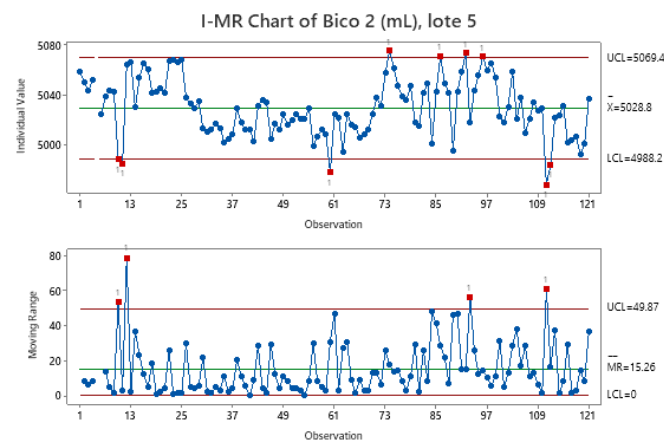
Para a criação das cartas de controle de valores individuais e amplitude móvel (I-MR) para os bicos com distribuição normal, utilizou-se o *software* Minitab® 18, programado para realizar unicamente o teste “1 ponto > 3 desvios padrão da LC, a análise é mostrada nas Figuras 54, 55, 56, 57 e 58.

Figura 54 – Carta I-MR do bico 1, lote cinco



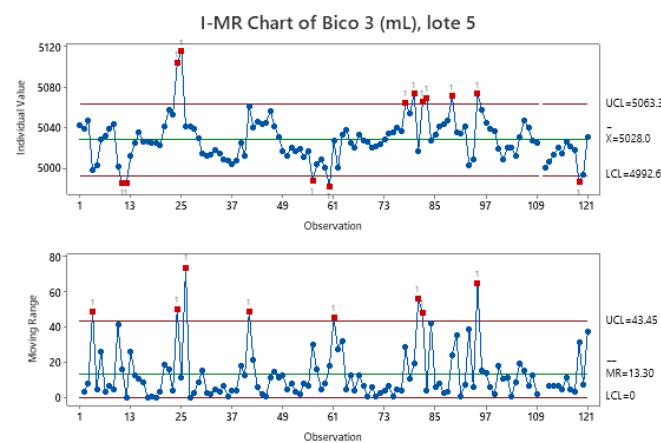
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 55 – Carta I-MR do bico 2, lote cinco



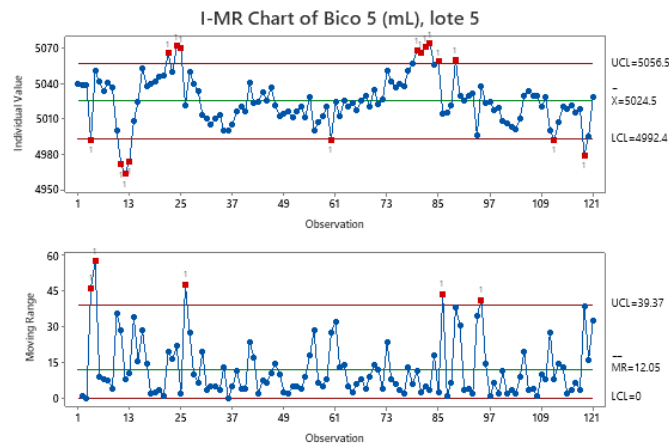
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 56 – Carta I-MR do bico 3, lote cinco



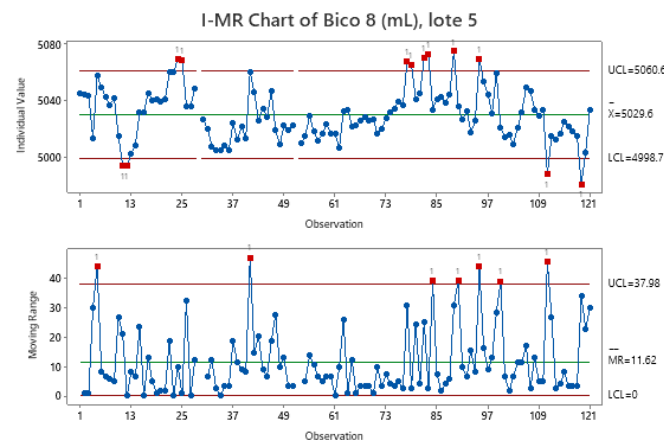
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 57 – Carta I-MR do bico 5, lote cinco



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 58 – Carta I-MR do bico 8, lote cinco



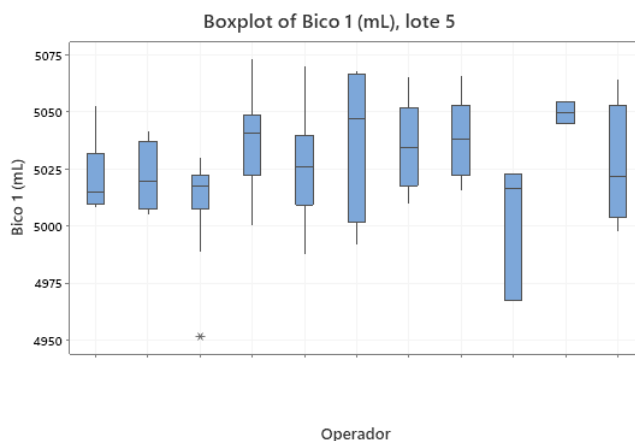
Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando os gráficos nas Figuras 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57 e 58, nota-se que o processo de envase no lote cinco da campanha selecionada, encontra-se fora de controle estatístico para os bicos estudados na linha piloto A.

4.1.1.2.4 Análise box plot e estatísticas descritivas lote cinco

Após a conclusão de que o processo em questão pode ser considerado capaz e fora de controle estatístico, gerou-se os *box plot* apresentados nas Figuras 59 e 60 com intuito de se avaliar o comportamento do processo quando este é segmentado pela variável humana, “operador”. Os gráficos utilizados para análise foram os do bico 1 e 2 do lote cinco da campanha selecionada.

Figura 59 – *Box plot* bico 1, lote cinco, por operador



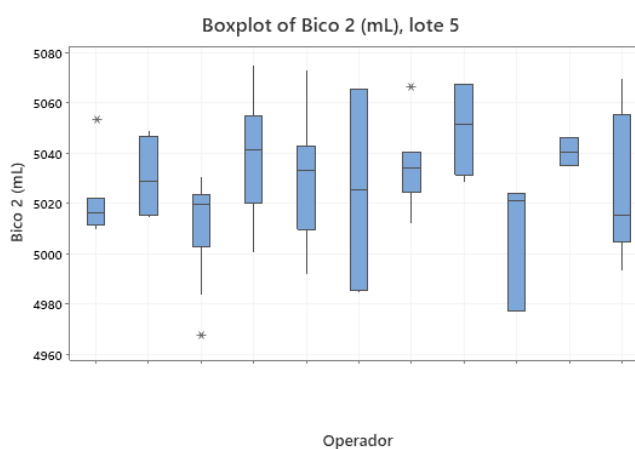
Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 7 – Estatística descritiva do bico 1, lote cinco, por operador

Bico	Operador	Média	Desvio padrão	Mínimo	Mediana	Máximo
1	A	5021	16	5008	5015	5053
1	B	5021	16	5005	5020	5042
1	C	5012	19	4951	5017	5030
1	D	5038	20	5000	5041	5073
1	E	5026	21	4988	5026	5070
1	F	5038	35	4992	5047	5068
1	G	5035	19	5010	5034	5065
1	H	5039	19	5015	5038	5066
1	I	5002	30	4968	5016	5023
1	J	5050	7	5045	5050	5055
1	K	5027	24	4998	5022	5064
1	Total	5028	23	4951	5025	5073

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 60 – *Box plot* bico 2, lote cinco, por operador



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 8 – Estatística descritiva do bico 2, lote cinco, por operador

Bico	Operador	Média	Desvio padrão	Mínimo	Mediana	Máximo
2	A	5020	15	5010	5016	5054
2	B	5030	17	5015	5029	5049
2	C	5013	17	4968	5020	5031
2	D	5038	20	5001	5042	5075
2	E	5029	22	4992	5033	5073
2	F	5025	45	4985	5026	5066
2	G	5035	17	5012	5034	5067
2	H	5050	19	5028	5052	5068
2	I	5008	26	4977	5021	5024
2	J	5041	8	5035	5041	5046
2	K	5025	25	4994	5015	5070
2	Total	5029	23	4968	5028	5075

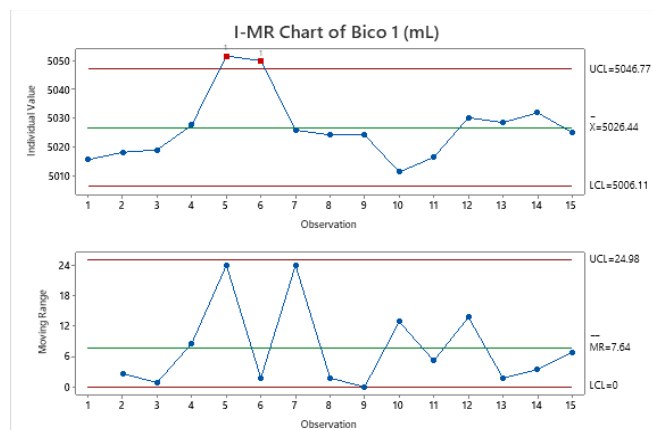
Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nos gráficos gerados, e principalmente pelo *box plot* do bico 1, na Figura 59, pode-se notar uma grande variação entre o volume envasado por operador. Para o bico 1, por exemplo, o maior valor de mediana encontrado foi de 5.047 mL e o menor foi de 5.015 mL, o que corresponde a uma diferença de 32 mL entre operadores (Tabela 7).

Nota-se também na Figura 59, a diferença entre o comprimento das caixas, e, quanto menor, mais próximos da mediana estão os dados presentes entre o primeiro e o terceiro quartil. Esta diferença sugere a existência de uma oportunidade de padronização nas intervenções realizadas pelos operadores no equipamento de envase, porém, não sendo suficiente para responder à questão de pesquisa 4: “a padronização da interferência do operador no ajuste de peso traz benefícios ao processo de envase?”

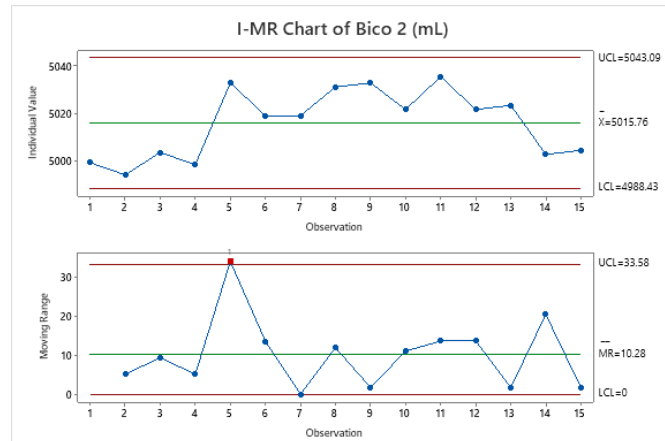
4.1.1.3 Resultados pós-implementação CEP – linha piloto A

Figura 61 – Gráfico carta I-MR, bico 1, teste piloto linha A, pós CEP



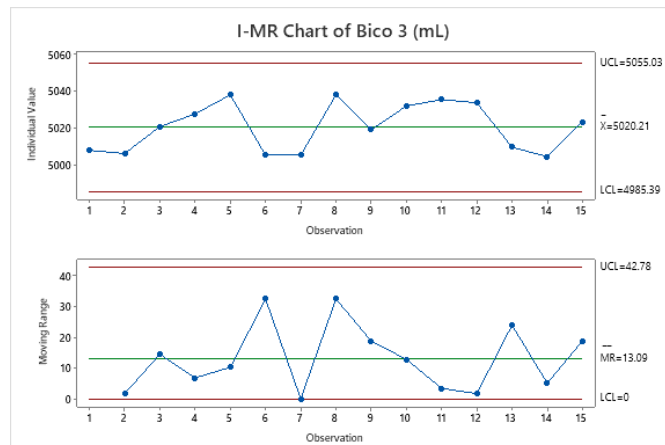
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 62 – Gráfico carta I-MR, bico 2, teste piloto linha A, pós CEP



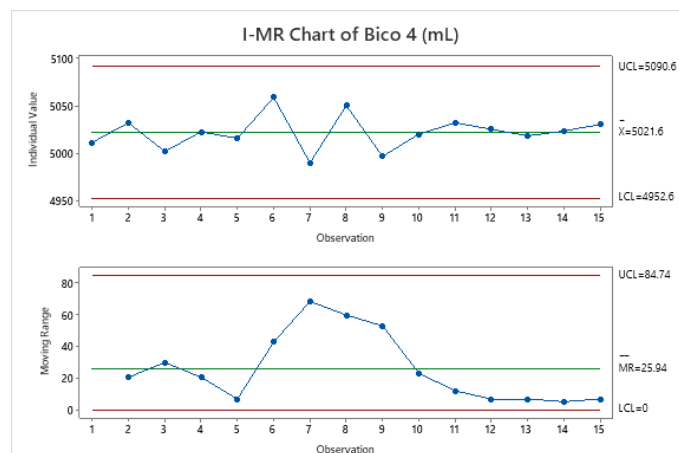
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 63 – Gráfico carta I-MR, bico 3, teste piloto linha A, pós CEP



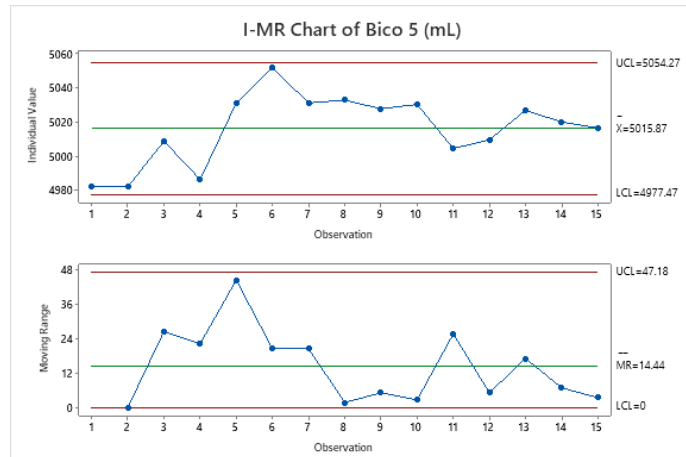
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 64 – Gráfico carta I-MR, bico 4, teste piloto linha A, pós CEP



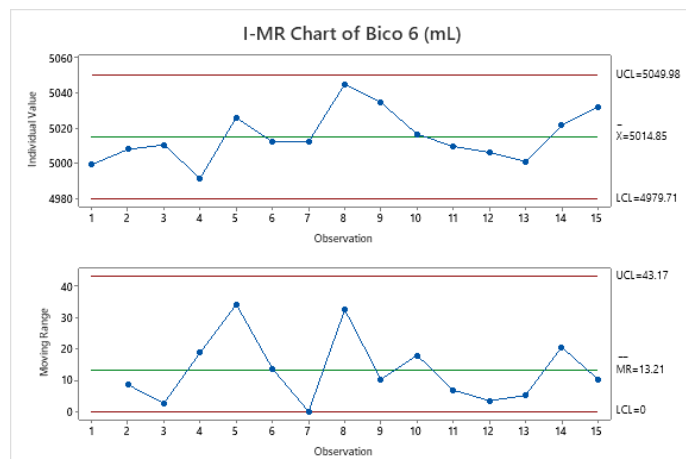
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 65 – Gráfico carta I-MR, bico 5, teste piloto linha A, pós CEP



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 66 – Gráfico carta I-MR, bico 6, teste piloto linha A, pós CEP



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os bicos 7 e 8 não foram utilizados por motivo de espuma e por estar em manutenção, respectivamente. Quanto ao fato de o bico 7 apresentar espuma em excesso, trata-se de uma particularidade da formulação do produto em questão, sendo que em campanhas passadas, foi checado o histórico e também este bico não foi usado, sendo praxe trabalhar somente com 6 bicos de envase.

4.1.1.3.1 Avaliação dos bicos fora de controle estatístico – bicos 1 e 2

Ao avaliarmos a base de dados gerada para o teste piloto na linha A na Figura 67, notamos que houve troca de operador e também troca de lote de produto acabado, sendo que:

- Bico 1: pontos 5 e 6 no gráfico de valores individuais de X;
- Bico 2: ponto 5 no gráfico de amplitude móvel.

Ao questionarmos o operador sobre ajustes no processo, foi-nos relatado que, mesmo após orientações, ele fez ajustes devido troca de lote e devido “julgar” que os valores estavam todos abaixo do valor nominal.

Porém, tratou-se de caso único no teste piloto na linha A, demais operadores seguiram a instrução e não houve valores fora do limite de controle do processo.

Fica claro a “cultura” existente entre os operadores de que, “não se pode enviar bombonas com quantidade a menor de produto que o valor nominal”. Mostra também a necessidade de treinamentos constantes e diálogo com a liderança, para que haja mudança da cultura entre os operadores. Dessa maneira, como possível causa especial de variação, está a intervenção sem necessidade, por parte do operador.

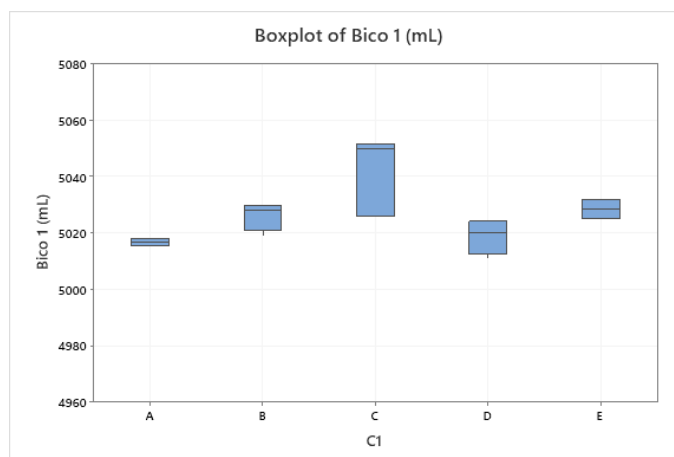
Figura 67 – Base de dados gerada no teste piloto linha A, pós CEP

Lote do Produto	N	Data_Operador	Data	Densidade	Turno	Bico 1 (mL)	Bico 2 (mL)	Bico 3 (mL)	Bico 4 (mL)	Bico 5 (mL)	Bico 6 (mL)	Bico 7	Bico 8
0392010450	1	02/03/20 09:19	ASTOS	02/03/20 09:19	1,167	A	5015	4999	5008	5011	4982	4999	
0392010450	2	02/03/20 10:01	ASTOS	02/03/20 10:01	1,167	A	5018	4994	5006	5032	4982	5008	
0402010450	3	02/03/20 12:06	ONTEIRO	02/03/20 12:06	1,168	B	5019	5003	5021	5002	5009	5010	
0402010450	4	02/03/20 12:11	ONTEIRO	02/03/20 12:11	1,168	B	5027	4998	5027	5022	4986	4991	
0422010450	5	03/03/20 12:29	RA	03/03/20 12:29	1,168	C	5051	5033	5038	5015	5031	5026	
0422010450	6	03/03/20 12:37	RA	03/03/20 12:37	1,168	C	5050	5019	5005	5058	5051	5012	
0422010450	7	03/03/20 12:39	RA	03/03/20 12:39	1,168	C	5026	5019	5005	4990	5031	5012	
0422010450	8	03/03/20 15:44	RA	03/03/20 15:44	1,168	D	5024	5031	5038	5050	5033	5045	
0422010450	9	03/03/20 16:09	RA	03/03/20 16:09	1,168	D	5024	5033	5019	4997	5027	5034	
0432010450	10	03/03/20 21:03	RA	03/03/20 21:03	1,167	D	5011	5021	5032	5020	5030	5016	
0432010450	11	03/03/20 22:38	RA	03/03/20 22:38	1,167	D	5016	5035	5035	5032	5004	5009	
0442010450	12	04/03/20 08:29	ONTEIRO	04/03/20 08:29	1,167	B	5030	5021	5033	5025	5009	5006	
0442010450	13	04/03/20 09:04	ONTEIRO	04/03/20 09:04	1,167	B	5028	5023	5009	5018	5027	5001	
0442010450	14	04/03/20 10:29	LOPES	04/03/20 10:29	1,167	E	5032	5003	5004	5023	5020	5021	
0442010450	15	04/03/20 12:32	LOPES	04/03/20 12:32	1,167	E	5025	5004	5023	5030	5016	5032	

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.1.3.2 Análise box plot pós implementação CEP e estatísticas descritivas linha piloto A

Figura 68 – *Box plot* bico 1, por operador, pós-implementação CEP, linha A



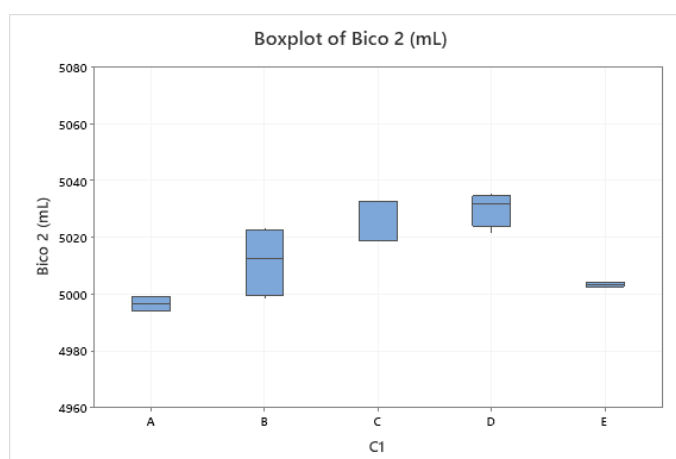
Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 9 – Estatística descritiva do bico 1, linha A, pós implementação, por operador

Bico	Operador	Média	Desvio padrão	Mínimo	Mediana	Máximo
1	A	5017	2	5015	5017	5018
1	B	5026	5	5019	5028	5030
1	C	5042	14	5026	5050	5051
1	D	5019	6	5011	5020	5024
1	E	5028	5	5025	5028	5032
1	Total	5026	11	5011	5025	5051

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 69 – *Box plot* bico 2, por operador, pós-implementação CEP, linha A



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 10 – Estatística descritiva do bico 2, linha A, pós implementação, por operador

Bico	Operador	Média	Desvio padrão	Mínimo	Mediana	Máximo
2	A	4997	4	4994	4997	4999
2	B	5012	13	4998	5012	5023
2	C	5023	8	5019	5019	5033
2	D	5030	6	5021	5032	5035
2	E	5003	1	5003	5003	5004
2	Total	5016	14	4994	5019	5035

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao se avaliar os valores de média, e desvio padrão nas Tabelas 7 e 9, referentes ao bico 1, antes e após implementação do CEP na linha A; nota-se que houve grande redução da dispersão dos dados, pois o desvio padrão total foi de 23 mL para 11 mL. Porém a média total manteve-se elevada, indo de 5.028 mL para 5.026 mL.

O mesmo ocorreu com o bico 2 (Tabelas 8 e 10), com desvio padrão indo de 23 mL para 14 mL, porém com a média total indo de 5.029 mL para 5.016 mL, ainda relativamente distante do valor alvo de 5.000 mL.

Como o processo encontra-se sob controle estatístico para o conjunto de dados, entende-se que o fator humano, neste caso, o operador, foi preponderante no ajuste do equipamento, mantendo a média, acima do valor nominal, reforçando a “cultura” existente entre os operadores de que, “não se pode enviar bombonas com quantidade a menor de produto que o valor nominal”.

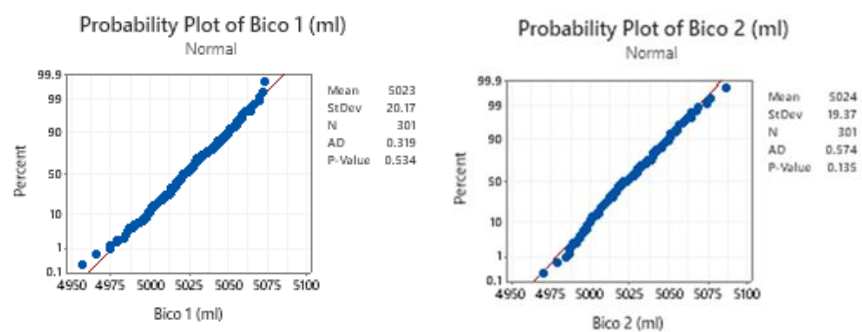
4.1.2 Objeto do estudo linha B

Com base nos relatórios de envase impressos em papel, gerados entre o período de 08/jul/2020 até 22/jul/2020 para o produto herbicida líquido tipo SL, na linha objeto do estudo B, da empresa. Foi gerada uma base de dados com 2.107 amostras.

4.1.2.1 Análise normalidade do processo por bico de envase

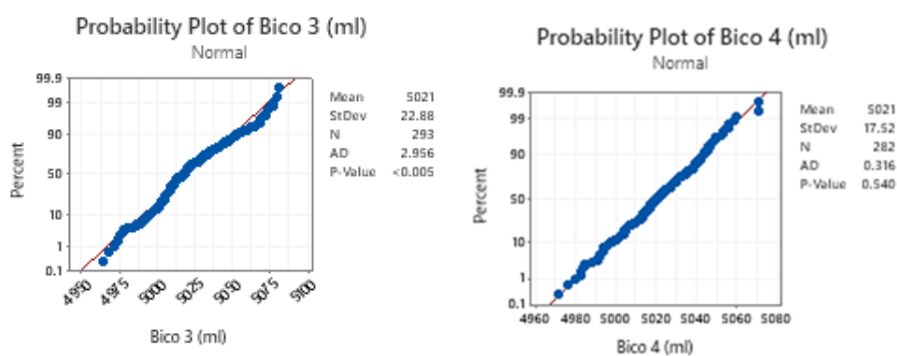
A primeira análise realizada foi o teste de normalidade de Anderson-Darling do processo, considerando a estratificação dos dados no nível “bico de envase”, isto pois, para cada bico existe uma bomba diferente no equipamento e portanto, cada bico corresponde a um processo de envase diferente. Os resultados são exibidos nas Figuras 70, 71, 72 e 73.

Figura 70 – Testes de normalidade de Anderson-Darling para os bicos 1 e 2, linha B



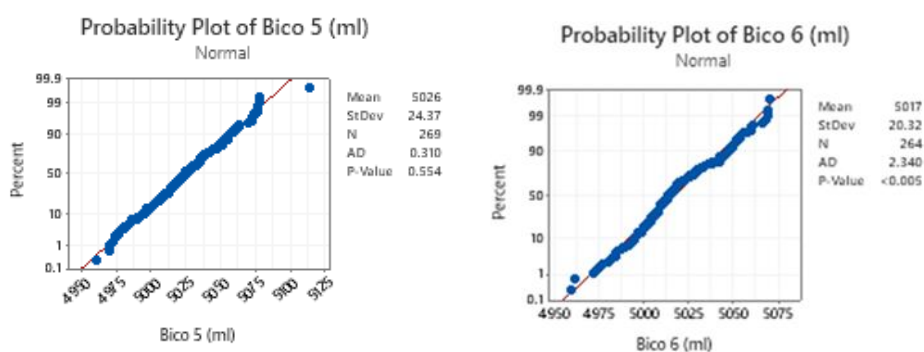
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 71 – Testes de normalidade de Anderson-Darling para os bicos 3 e 4, linha B



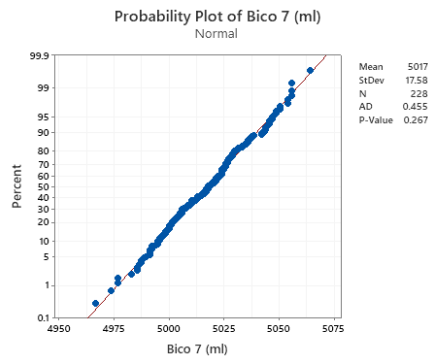
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 72 – Testes de normalidade de Anderson-Darling para os bicos 5 e 6, linha B



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 73 – Testes de normalidade de Anderson-Darling para o bico 7, linha B



Fonte: Elaborado pelo autor.

O bico 8 encontrava-se desativado no momento devido manutenção.

Tabela 11 – Resultado dos testes de normalidade linha estudo B

Bico de Envase	N	P-Value	Distribuição normal?
1	301	0,534	Sim
2	301	0,135	Sim
3	293	<0,005	Não
4	282	0,54	Sim
5	269	0,554	Sim
6	264	<0,005	Não
7	228	0,267	Sim

Fonte: Elaborado pelo autor.

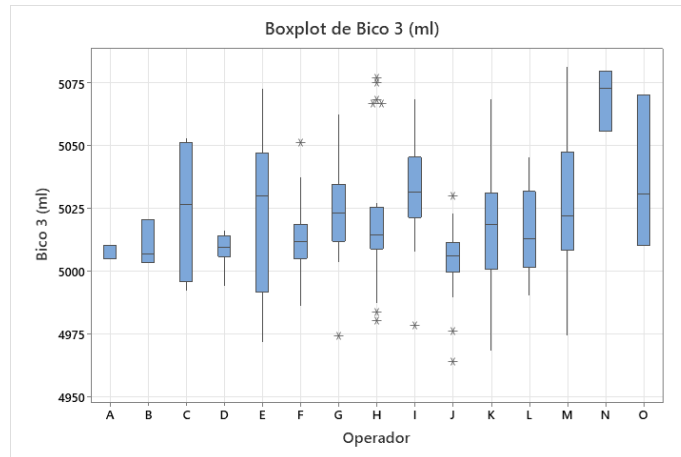
Como pode-se observar pelo valor $P < 0,005$ na Tabela 11, dos bicos testados, o teste de normalidade de Anderson-Darling resultou na comprovação da hipótese de que os dados seguem uma distribuição normal, exceto para os bicos 3 e 6.

4.1.2.2 Avaliação dos bicos não normais – bicos 3 e 6

Verificou-se registros físicos (folha de marcha do produto), porém não foi evidenciada nenhuma possível causa especial, que pudesse justificar a não normalidade dos bicos 3 e 6.

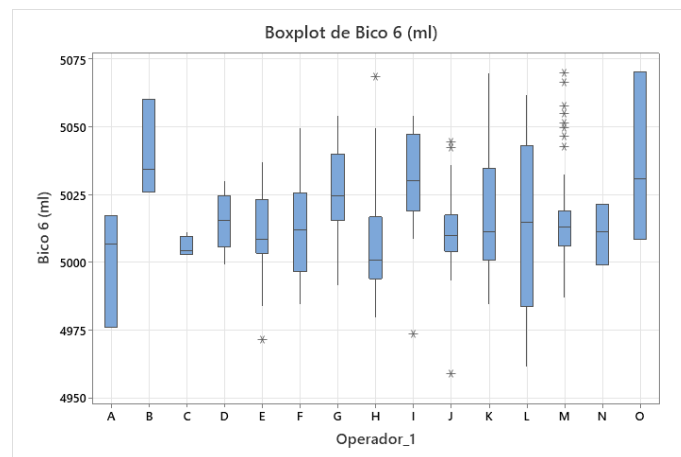
Para se avaliar a possível interferência dos operadores quanto à normalidade dos bicos 3 e 6, foram montados os gráficos de *box plot* conforme Figuras 74 e 75.

Figura 74 – *Box plot* bico 3, linha B, antes, por operador



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 75 – *Box plot* bico 6, linha B, antes, por operador



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nos gráficos *box plot* dos bicos 3 e 6 nas Figura 74 e 75, pode-se notar uma grande variação entre o volume envasado por operador. Para o bico 3, por exemplo, o maior valor de mediana encontrado foi de 5.073 mL e o menor foi de 5.005 mL (Tabela 12), o que corresponde a uma diferença de 68 mL entre operadores. Dessa forma, a única possível causa especial (mais provável), está residida na variação entre operadores, ou seja, no ajuste utilizado por cada operador para operar a máquina de envase.

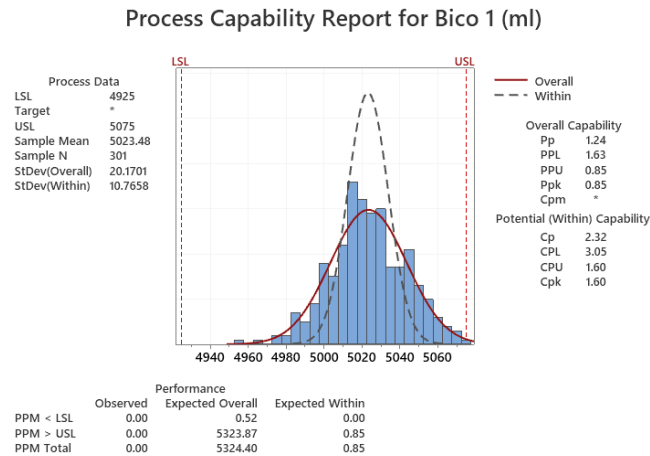
Tabela 12 – Estatística descritiva do bico 3, linha B, antes, por operador

Bico	Operador	Média	Desvio padrão	Mínimo	Mediana	Máximo
3	A	5007	3	5005	5005	5010
3	B	5010	9	5003	5007	5021
3	C	5024	29	4992	5027	5053
3	D	5008	7	4994	5009	5016
3	E	5022	32	4972	5030	5073
3	F	5012	14	4986	5012	5052
3	G	5024	16	4974	5023	5063
3	H	5023	27	4980	5015	5077
3	I	5031	24	4979	5032	5069
3	J	5004	14	4964	5006	5030
3	K	5018	24	4968	5019	5069
3	L	5015	18	4991	5013	5046
3	M	5027	25	4974	5022	5082
3	N	5070	12	5056	5073	5080
3	O	5037	30	5010	5031	5070

Fonte: Elaborado pelo autor.

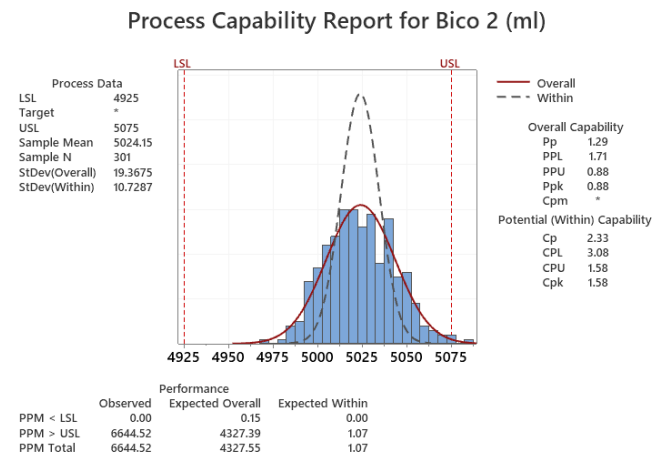
4.1.2.3 Análise de capacidade dos bicos normais

Figura 76 – Teste de capacidade para o bico 1, linha B, antes



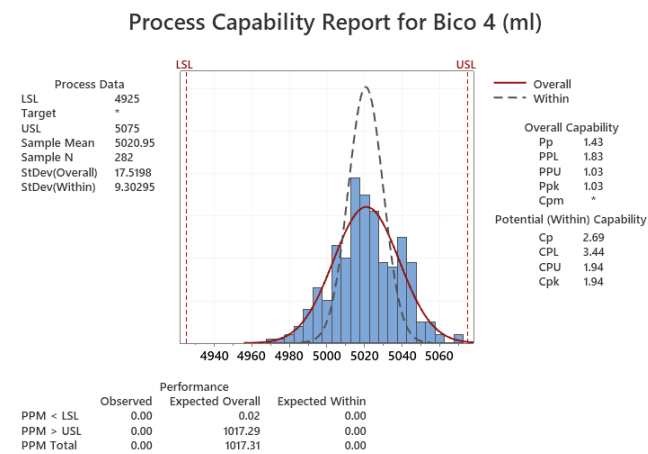
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 77 – Teste de capacidade para o bico 2, linha B, antes



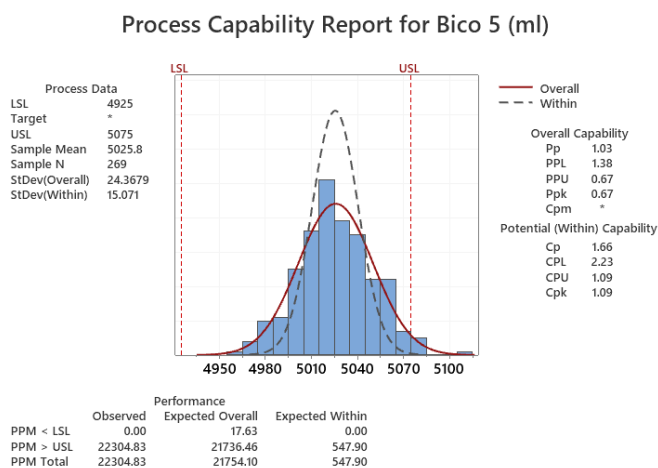
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 78 – Teste de capacidade para o bico 4, linha B, antes



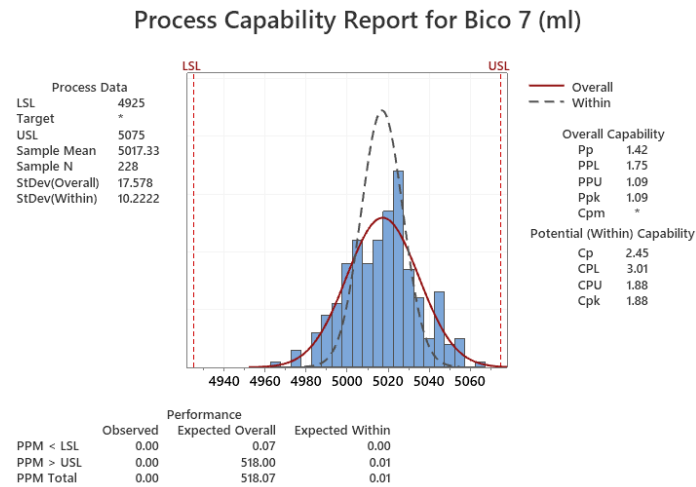
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 79 – Teste de capacidade para o bico 5, linha B, antes



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 80 – Teste de capacidade para o bico 7, linha B, antes



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nos resultados obtidos nas análises de capacidade dos bicos 1, 2, 3, 5 e 8, com subgrupo igual 1 para os dados do lote cinco na campanha em questão, a Tabela 13 foi elaborada com intuito de sumarizar as informações.

Tabela 13 – Resultados dos testes de capacidade linha do estudo B, antes

Bico de Envase	N	Cp	Cpk
1	301	2,32	1,6
2	301	2,33	1,58
3	293	-	-
4	282	2,69	1,94
5	269	1,66	1,09
6	264	-	-
7	220	2,45	1,88

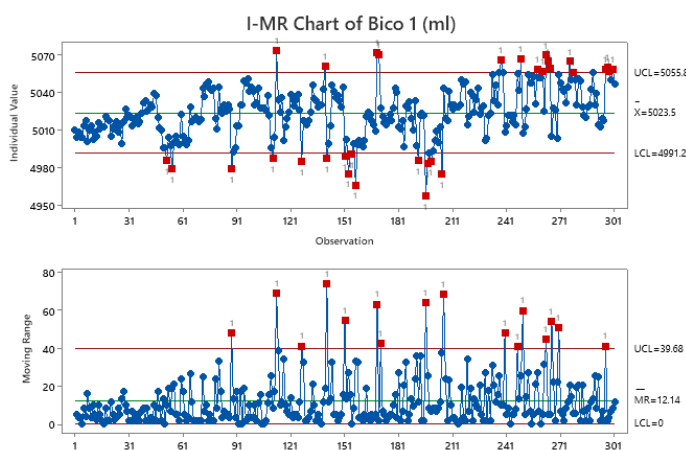
Fonte: Elaborado pelo autor.

Para os Cpk's obtidos, pode-se concluir todos os bicos avaliados são capazes, pois superam o valor comumente adotado comumente na literatura de $Cpk > 1,33$, vide Tabela 2. Entretanto, quando é analisado o conjunto Cp e Cpk, nota-se que há uma redução média de aproximadamente 30% (trinta por cento) no índice Cpk quando comparado com o Cp. Tal comportamento dos indicadores sugere a presença de um deslocamento na distribuição dos dados, visto que Cpk é numericamente igual à CPU, este deslocamento é para o limite superior de especificação e pode ser visualmente observado nas Figuras 76, 77, 78, 79 e 80.

4.1.2.4 Cartas I-MR para os bicos normais

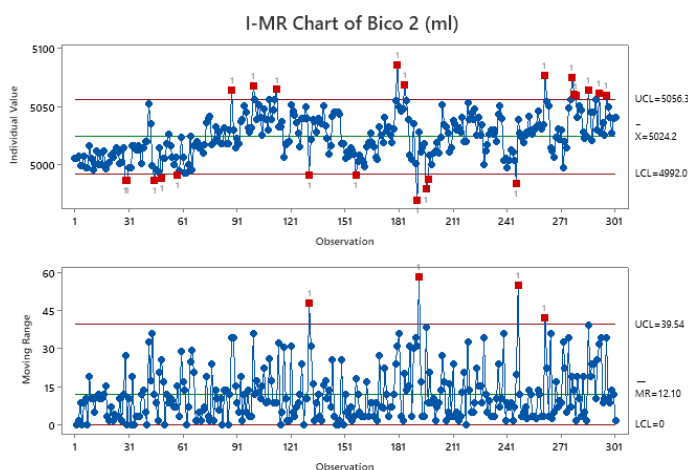
Para a criação das cartas de controle de valores individuais e amplitude móvel (I-MR) para os bicos com distribuição normal, utilizou-se o *software* Minitab® 18, programado para realizar unicamente o teste “1 ponto > 3 desvios padrão da LC, a análise é mostrada nas Figuras 81, 82, 83, 84, e 85.

Figura 81 – Carta I-MR do bico 1, linha B, antes



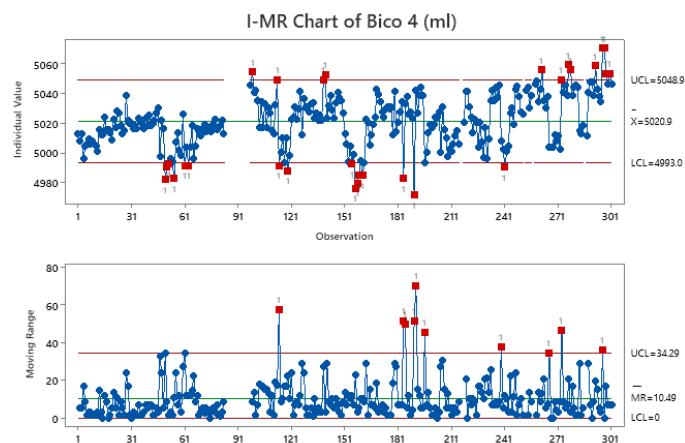
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 82 – Carta I-MR do bico 2, linha B, antes



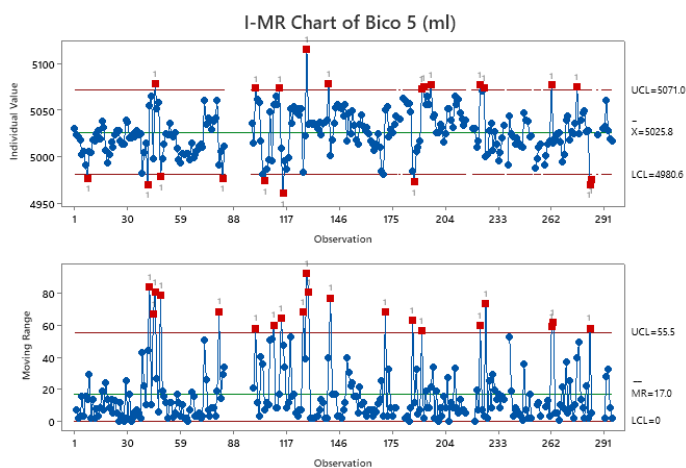
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 83 – Carta I-MR do bico 4, linha B, antes



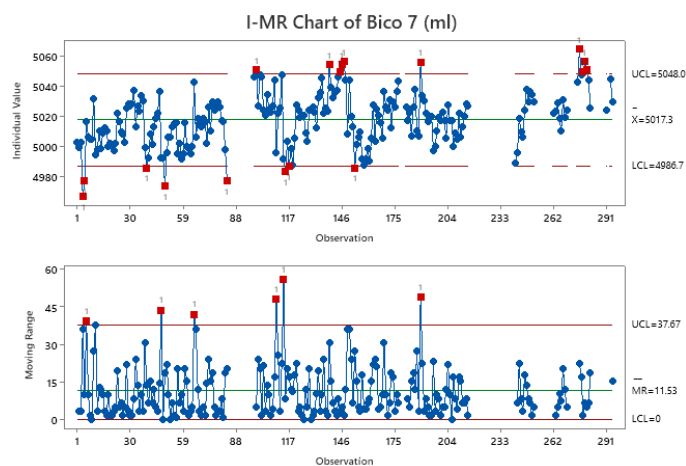
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 84 – Carta I-MR do bico 5, linha B, antes



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 85 – Carta I-MR do bico 7, linha B, antes



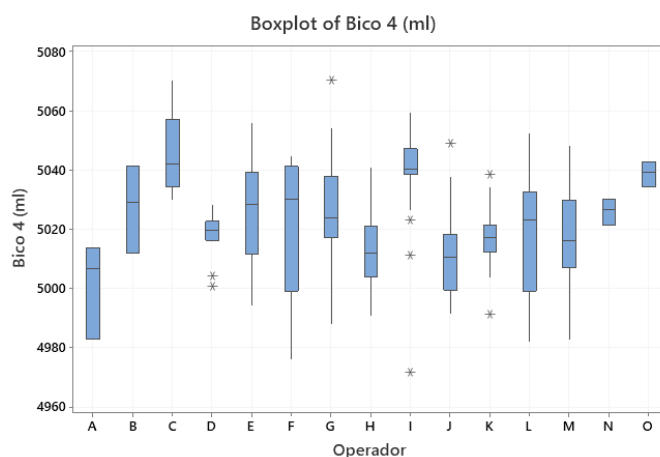
Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando os gráficos obtidos, nota-se que o processo de envase na linha de estudo B, encontram-se fora de controle estatístico para todos os bicos.

4.1.2.5 Análise *box plot* linha estudo B, antes da implementação do CEP

Após a conclusão de que o processo em questão pode ser considerado capaz e fora de controle estatístico, gerou-se o *box plot* apresentado na Figura 81 com intuito de se avaliar o comportamento do processo quando este é segmentado pela variável humana, “operador”. O gráfico utilizado para análise foi o do bico 4 da linha de estudo B, devido apresentar o maior valor de Cpk (1,94).

Figura 86 – *Box plot* bico 4, linha B, antes, por operador



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota-se também na Figura 86, a diferença entre o comprimento das caixas, e, quanto menor, mais próximos da mediana estão os dados presentes entre o primeiro e o terceiro quartil. Assim como na linha piloto A, esta diferença sugere a existência de uma oportunidade de padronização nas intervenções realizadas pelos operadores no equipamento de envase, porém, não sendo suficiente para responder à questão de pesquisa 4: “a padronização da interferência do operador no ajuste de peso traz benefícios ao processo de envase?”

Tabela 14 – Estatística descritiva do bico 4, linha B, antes, por operador

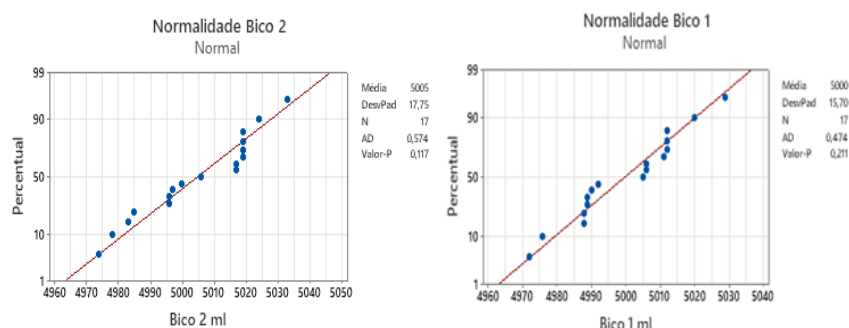
Bico	Operador	Média	Desvio padrão	Mínimo	Mediana	Máximo
4	A	5001	16	4983	5007	5014
4	B	5027	15	5012	5029	5041
4	C	5045	15	5030	5042	5070
4	D	5018	8	5001	5020	5028
4	E	5026	18	4994	5028	5056
4	F	5021	24	4976	5030	5045
4	G	5026	16	4988	5024	5070
4	H	5012	13	4991	5012	5041
4	I	5037	20	4972	5040	5059
4	J	5011	15	4991	5011	5049
4	K	5016	10	4991	5017	5039
4	L	5020	21	4982	5023	5052
4	M	5018	15	4983	5016	5048
4	N	5026	4	5022	5027	5030
4	O	5039	4	5034	5039	5043
4	Total	5021	18	4972	5021	5070

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nos gráficos gerados, principalmente pelo *box plot* do bico 4, na Figura 81, pode-se notar uma grande variação entre o volume envasado por operador. Para o bico 4, por exemplo, o maior valor de mediana encontrado foi de 5.042 mL e o menor foi de 5.007 mL (Tabela 14), o que corresponde a uma diferença de 35 mL entre operadores.

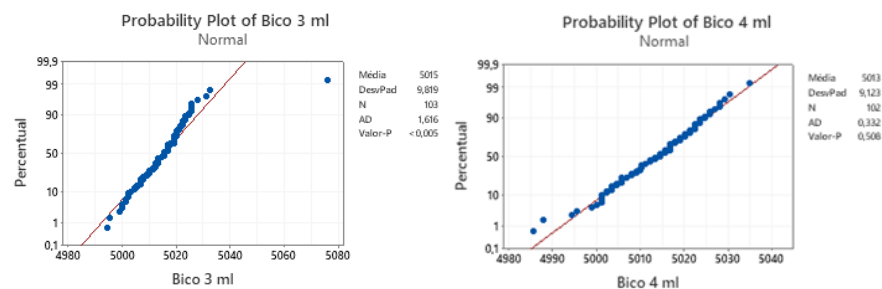
4.1.2.6 Resultados linha estudo B, pós-implementação CEP

Figura 87 – Teste de normalidade de Anderson-Darling para os bicos 1 e 2, linha B, pós CEP



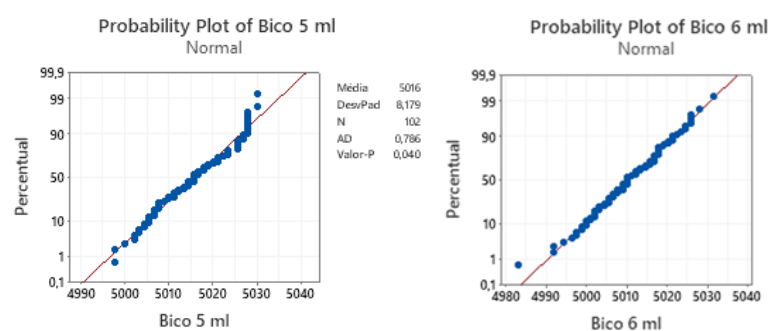
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 88 – Teste de normalidade de Anderson-Darling para os bicos 3 e 4, linha B, pós CEP



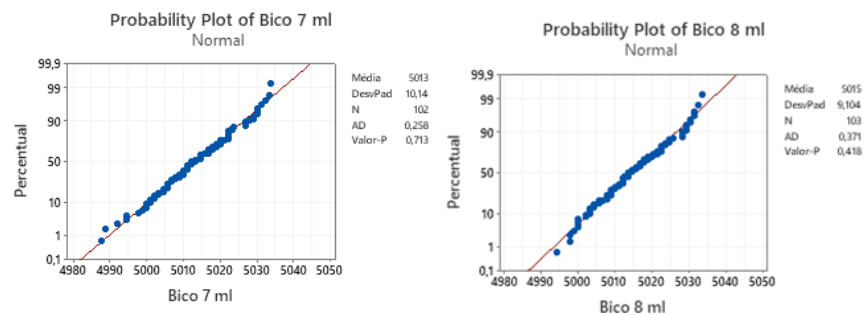
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 89 – Teste de normalidade de Anderson-Darling para os bicos 5 e 6, linha B, pós CEP



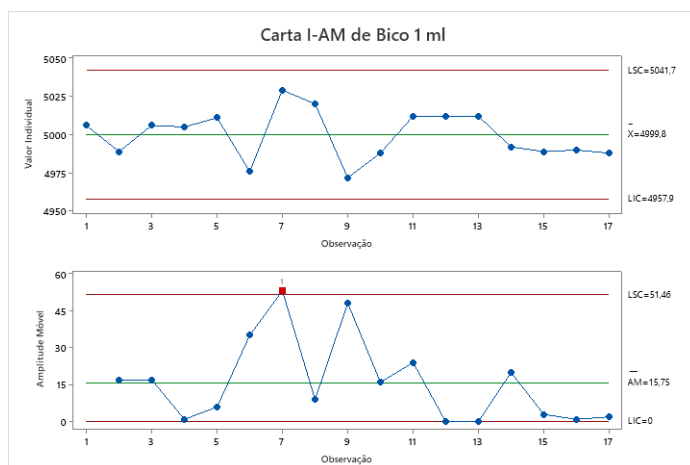
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 90 – Teste de normalidade de Anderson-Darling para os bicos 7 e 8, linha B, pós CEP



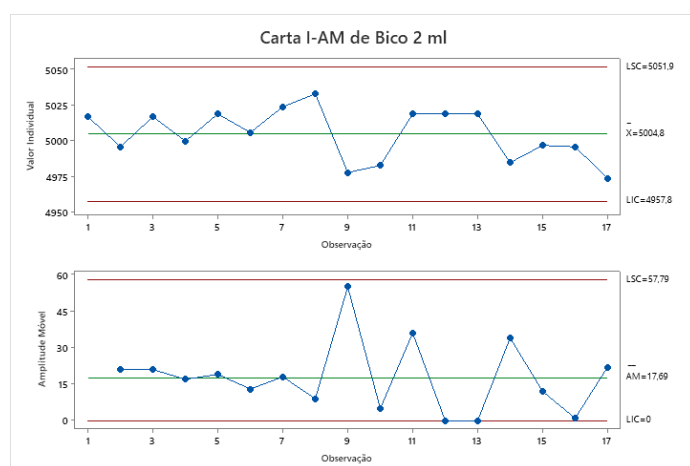
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 91 – Gráfico carta I-MR, bico 1, teste piloto linha B, pós CEP



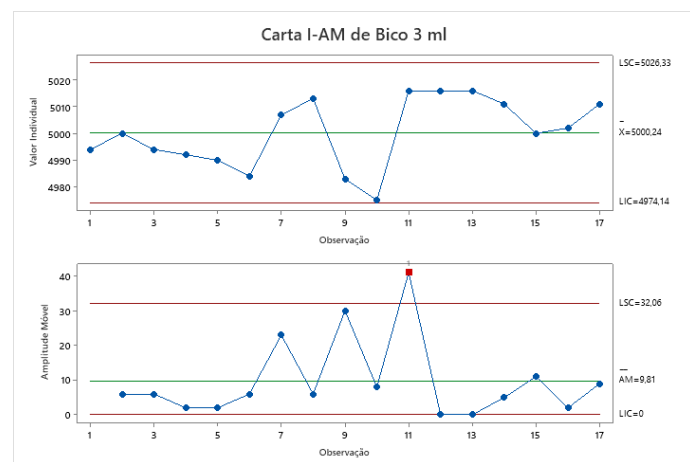
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 92 – Gráfico carta I-MR, bico 2, teste piloto linha B, pós CEP



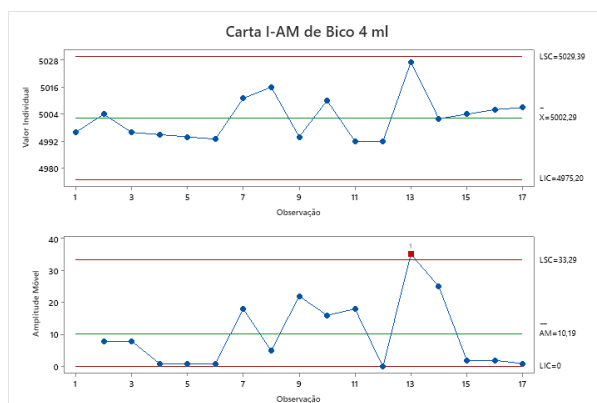
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 93 – Gráfico carta I-MR, bico 3, teste piloto linha B, pós CEP



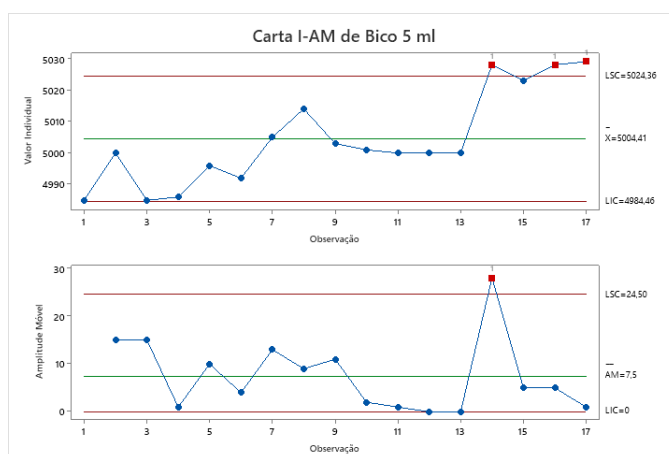
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 94 – Gráfico carta I-MR, bico 4, teste piloto linha B, pós CEP



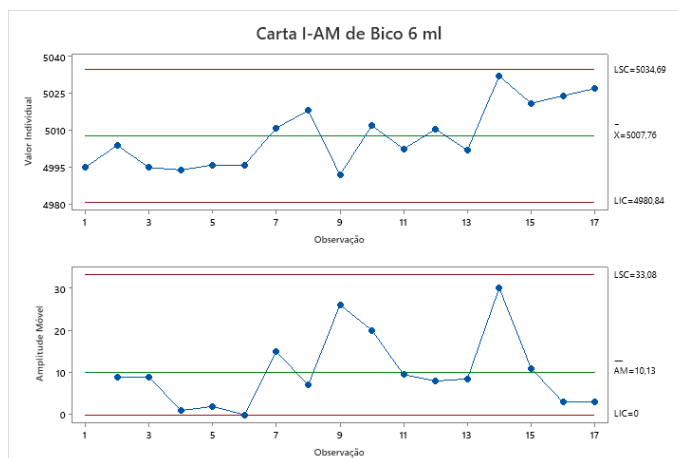
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 95 – Gráfico carta I-MR, bico 5, teste piloto linha B, pós CEP



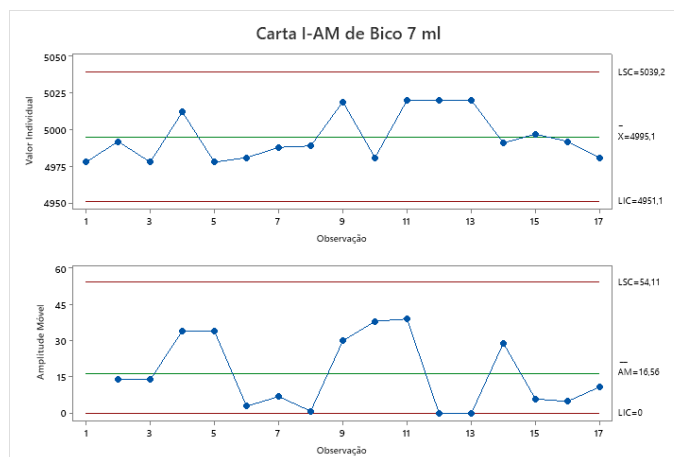
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 96 – Gráfico carta I-MR, bico 6, teste piloto linha B, pós CEP



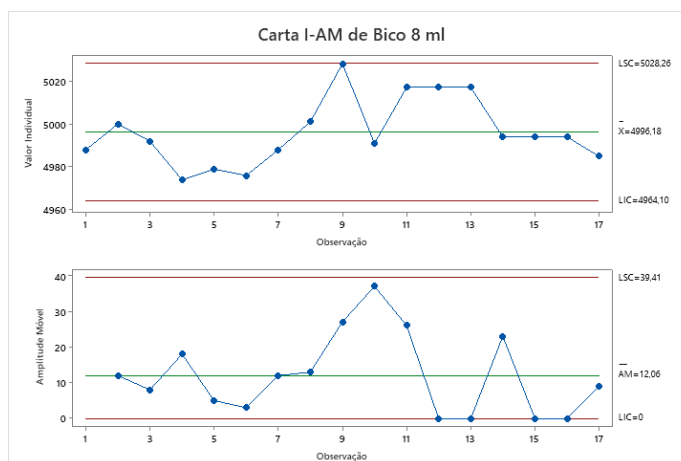
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 97 – Gráfico carta I-MR, bico 7, teste piloto linha B, pós CEP



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 98 – Gráfico carta I-MR, bico 8, teste piloto linha B, pós CEP



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.2.6.1 Avaliação dos bicos fora de controle estatístico – bicos 1, 3, 4 e 5

Ao avaliarmos a base de dados gerada para o estudo na linha B na Figura 99, notamos que houve troca de operador. Sendo os bicos avaliados:

- Bico 1: ponto 7 no gráfico de amplitude móvel;
- Bico 3: ponto 11 no gráfico de amplitude móvel;
- Bico 4: ponto 13 no gráfico de amplitude móvel;
- Bico 5: ponto 14 no gráfico de amplitude móvel e pontos 14, 16 e 17 no gráfico de valores individuais de X.

Figura 99 – Base de dados gerada na linha de estudo B, pós CEP

Hora	Data	Operador	Bico 1 ml	Bico 2 ml	Bico 3 ml	Bico 4 ml	Bico 5 ml	Bico 6 ml	Bico 7 ml	Bico 8 ml
21:06:00	26/04/2022		5006	5017	4994	4996	4985	4995	4978	4988
20:30:00	26/04/2022		4989	4996	5000	5004	5000	5004	4992	5000
19:30:00	26/04/2022		5006	5017	4994	4996	4985	4995	4978	4992
18:38:00	26/04/2022		5005	5000	4992	4995	4986	4994	5012	4974
17:30:00	26/04/2022		5011	5019	4990	4994	4996	4996	4978	4979
16:30:00	26/04/2022		4976	5006	4984	4993	4992	4996	4981	4976
15:30:00	26/04/2022		5029	5024	5007	5011	5005	5011	4988	4988
14:30:00	26/04/2022		5020	5033	5013	5016	5014	5018	4989	5001
20:59:00	09/02/2022		4972	4978	4983	4994	5003	4992	5019	5028
20:15:00	09/02/2022		4988	4983	4975	5010	5001	5012	4981	4991
19:16:00	09/02/2022		5012	5019	5016	4992	5000	5002,5	5020	5017
19:15:00	09/02/2022		5012	5019	5016	4992	5000	5010,5	5020	5017
19:14:00	09/02/2022		5012	5019	5016	5027	5000	5002	5020	5017
17:45:00	09/02/2022		4992	4985	5011	5002	5028	5032	4991	4994
16:42:00	09/02/2022		4989	4997	5000	5004	5023	5021	4997	4994
15:35:00	09/02/2022		4990	4996	5002	5006	5028	5024	4992	4994
14:30:00	09/02/2022		4988	4974	5011	5007	5029	5027	4981	4985

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao questionarmos o operador sobre ajustes no processo, foi-nos relatado que:

- Bicos 1 e 3: houve ajuste de dosagem devido ter havido queda drástica no volume do ponto 6 e 10 respectivamente, mesmo estando dentro dos limites de controle de processo;
- Bico 4: houve ajuste de dosagem devido ter havido alta drástica no volume do ponto 13, mesmo estando dentro dos limites de controle de processo;
- Bico 5: houve problemas no equipamento no ponto 14 em diante, sendo que a manutenção foi acionada para ajustar equipamento ModuFlex®. Note que como esse ModuFlex® realiza a dosagem para os bicos 5 e 6, que o bico 6 também começou a apresentar tendência de alta após ponto 14.

Nota-se que, após orientações e implementação do teste de cinco pontos acima ou abaixo do valor nominal, torna-se necessário ajuste, e que após isso, houve uma melhor distribuição dos valores, oscilando acima e abaixo do valor nominal.

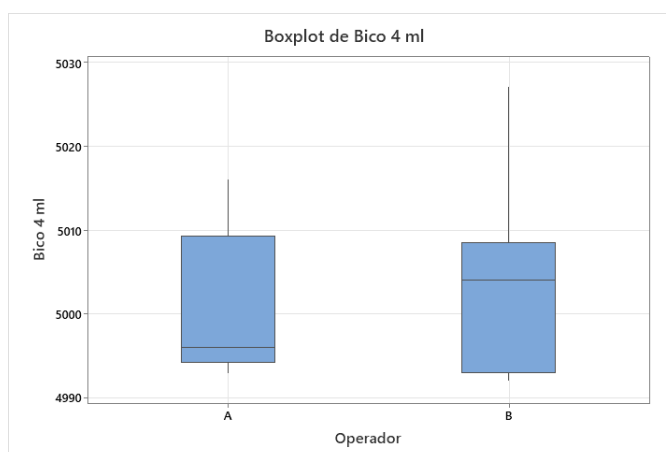
Porém, devido aos ajustes desnecessários nos bicos 1, 3 e 4, evidencia-se a necessidade de treinamentos constantes e diálogo com a liderança, para que haja mudança da cultura entre os operadores. Dessa forma, a única possível causa especial (mais provável) para os bicos 1, 3 e 4, está residida na variação entre operadores, ou seja, no ajuste utilizado por cada operador para operar a máquina de envase. E para os bicos 5 e 6, a causa especial foi o problema no equipamento ModuFlex®.

4.1.2.6.2 Análise box plot e estatísticas descritivas linha estudo B, pós-implementação CEP

Entende-se que após implementação do teste de cinco pontos acima ou abaixo do valor nominal, e em sendo obrigatório pelo algoritmo, o ajuste da dosagem; que após isso, houve uma melhor distribuição dos valores, oscilando acima e abaixo do valor nominal e com deslocamento da média para próximo do seu valor nominal (alvo).

Porém, devido aos ajustes desnecessários nos bicos 1, 3 e 4, gerando-se inclusive pontos fora dos limites no gráfico da amplitude média. Evidencia-se a necessidade de treinamentos constantes e diálogo com a liderança, para que haja mudança da cultura entre os operadores e também para que a ferramenta de carta de controle possa controlar o processo adequadamente, como é sua concepção inicial.

Figura 100 – Box plot bico 4, por operador, pós-implementação CEP, linha B, pós CEP



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao se avaliar os valores de média, e desvio padrão nas Tabela 14 e Tabela 15, referentes ao bico 4, devido apresentar o maior valor de Cpk (1,94), antes e após implementação do CEP na linha de estudo B; nota-se que houve grande redução da dispersão dos dados, pois o desvio padrão total foi de 185 mL para 10 mL e uma relevante alteração na média total também foi observada, indo de 5.021 mL para 5.002 mL. Notou-se que o valor pós implementação do CEP ficou muito próximo do valor nominal de 5.000 mL.

Tabela 15 – Estatística descritiva do bico 4, linha B, pós implementação, por operador

Bico	Operador	Média	Desvio padrão	Mínimo	Mediana	Máximo
4	A	5001	9	4993	4996	5016
4	B	50004	11	4992	5004	5027
4	Total	5002	10	4992	5002	5027

Fonte: Elaborado pelo autor.

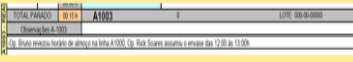
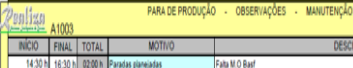
4.1.2.7 Análise das causas especiais da fase I – linha do estudo B – ajuste de peso

Primeiramente foram realizadas diversas reuniões com o time multidisciplinar do estudo, conforme mencionado no item 3.4 ANÁLISE DOS DADOS E PLANEJAMENTO DAS AÇÕES, para:

- Definição da fonte dos dados para discussão;
- Avaliação do histórico de falhas (causas especiais) da linha de envase em questão;
- Elaboração da análise de falhas e base de dados;
- Definição das causas especiais relacionadas ao processo;
- Definição das ações que deverão ser realizadas para cada tipo de falha (causa especial), quando de sua ocorrência;
- Definição dos testes para detecção de causas especiais, a serem realizados online, pelo *software*, e disponível na tela do *tablet* da produção (Figura 35).

Para cada bico de envase, cada valor fora dos limites de controle foi identificado e discutido com time multidisciplinar, como mostrado na Figura 101.

Figura 101 – Exemplo planilha de controle de peso por bico de envase, linha B, antes

Nº Material	Nº Lote	Campanha	Data de envase	Hora de Envase	Operador	Densidade	Fornecedor da Bombona	Lote Bombona	Para embalagem + tampa	Bico 3 (g)	Bico 3 (mL)	Moving Range	Possível Motivo da Causa especial
5,8E-07	132E-08	5	16-07-19	8:00	7	1,234	Velaplast	1910570081-26492022	272	6216	5037,28	4,86	
5,8E-07	132E-08	5	16-07-19	9:00	7	1,234	Velaplast	1910570081-26492023	272	6200	5024,31	12,97	
5,8E-07	132E-08	5	16-07-19	10:00	7	1,234	Velaplast	1910570081-26492024	272	6195	5020,26	4,05	
5,8E-07	132E-08	5	16-07-19	13:00	7	1,234	Velaplast	1910570081-26492025	272	6211	5033,23	12,97	
5,8E-07	132E-08	5	16-07-19	14:30	1	1,234	Velaplast	1910570081-26492026	272	6203	5026,74	6,48	
5,8E-07	132E-08	5	16-07-19	15:30	1	1,234	Velaplast	1910570081-26492027	272	6202	5025,93	0,81	
5,8E-07	132E-08	5	16-07-19	16:30	1	1,234	Velaplast	1910570081-26492028	272	6195	5020,26	5,67	
5,8E-07	132E-08	5	16-07-19	17:30	1	1,234	Velaplast	1910570081-26492029	272	6196	5021,07	0,81	
5,8E-07	132E-08	5	16-07-19	18:30	1	1,234	Velaplast	1910570081-26492030	272	6199	5023,50	2,43	
5,8E-07	2,02E-08	5	17-07-19	6:45	4	1,23	Velaplast - Unipac	1910570084 - 1910570083 - 1281237	285	6184	5027,64	4,14	
5,8E-07	2,02E-08	5	17-07-19	7:45	4	1,23	Velaplast - Unipac	1910570084 - 1910570083 - 1281237	285	6192	5034,15	6,50	
5,8E-07	2,02E-08	5	17-07-19	8:45	4	1,23	Velaplast - Unipac	1910570084 - 1910570083 - 1281237	285	6193	5034,96	0,81	
5,8E-07	2,02E-08	5	17-07-19	9:45	4	1,23	Velaplast - Unipac	1910570084 - 1910570083 - 1281237	285	6199	5039,04	4,88	
5,8E-07	2,02E-08	5	17-07-19	10:45	4	1,23	Velaplast - Unipac	1910570084 - 1910570083 - 1281237	285	6194	5035,77	4,07	
5,8E-07	2,02E-08	5	17-07-19	12:15	10	1,23	Velaplast - Unipac	1910570084 - 1910570083 - 1281237	285	6229	5064,23	28,46	
5,8E-07	2,02E-08	5	17-07-19	13:15	10	1,23	Velaplast - Unipac	1910570084 - 1910570083 - 1281237	285	6216	5053,66	10,57	Troca de Operador
5,8E-07	2,02E-08	5	17-07-19	16:50	11	1,23	Velaplast - Unipac	1910570084 - 1910570083 - 1281237	285	6240	5073,17	19,51	
5,8E-07	2,02E-08	5	17-07-19	17:50	11	1,23	Velaplast - Unipac	1910570084 - 1910570083 - 1281237	285	6171	5017,07	56,10	Parada da envasadora
5,8E-07	2,02E-08	5	17-07-19	20:00	11	1,23	Velaplast - Unipac	1910570084 - 1910570083 - 1281237	285	6230	5065,04	47,97	Parada da envasadora
5,8E-07	2,02E-08	5	17-07-19	21:00	11	1,23	Velaplast - Unipac	1910570084 - 1910570083 - 1281237	285	6235	5068,11	4,07	Parada da envasadora
5,8E-07	2,02E-08	5	18-07-19	6:45	4	1,23	Velaplast - Unipac	1910570084 - 1910570083 - 1281237	285	6183	5026,83	42,28	Parada da envasadora
5,8E-07	2,02E-08	5	18-07-19	7:45	4	1,23	Velaplast - Unipac	1910570084 - 1910570083 - 1281237	285	6190	5032,52	5,69	Parada da envasadora
5,8E-07	2,02E-08	5	18-07-19	8:45	4	1,23	Velaplast - Unipac	1910570084 - 1910570083 - 1281237	285	6200	5040,65	8,13	Parada da envasadora
5,8E-07	2,02E-08	5	18-07-19	9:45	4	1,23	Velaplast - Unipac	1910570084 - 1910570083 - 1281237	285	6203	5043,09	2,44	Parada da envasadora
5,8E-07	2,02E-08	5	18-07-19	10:45	4	1,23	Velaplast - Unipac	1910570084 - 1910570083 - 1281237	285	6207	5046,34	3,25	Parada da envasadora
5,8E-07	2,02E-08	5	18-07-19	14:30	1	1,23	Velaplast - Unipac	1910570084 - 1910570083 - 1281237	285	6237	5070,73	24,39	Troca de Turno
5,8E-07	2,02E-08	5	18-07-19	15:30	1	1,23	Velaplast - Unipac	1910570084 - 1910570083 - 1281237	285	6193	5034,96	35,77	Troca de Turno
5,8E-07	2,02E-08	5	18-07-19	16:30	1	1,23	Velaplast - Unipac	1910570084 - 1910570083 - 1281237	285	6192	5034,15	0,81	Troca de Turno
5,8E-07	2,02E-08	5	18-07-19	17:30	1	1,23	Velaplast - Unipac	1910570084 - 1910570083 - 1281237	285	6201	5041,46	7,32	Troca de Turno
5,8E-07	2,12E-08	5	19-07-19	11:30	4	1,231	Unipac	1281237 - 1282833	266	6198	5002,44	39,03	Troca de Turno
5,8E-07	2,12E-08	5	19-07-19	12:30	4	1,231	Unipac	1281237 - 1282833	266	6185	5008,12	5,69	Troca de Turno
5,8E-07	2,12E-08	5	19-07-19	14:30	7	1,231	Unipac	1281237 - 1282833	266	6245	5073,11	64,99	Troca de Turno
5,8E-07	2,12E-08	5	19-07-19	15:30	7	1,231	Unipac	1281237 - 1282833	266	6226	5057,68	15,43	Troca de Turno
5,8E-07	2,12E-08	5	19-07-19	16:30	7	1,231	Unipac	1281237 - 1282833	266	6209	5043,87	13,81	Troca de Turno
5,8E-07	2,12E-08	5	19-07-19	17:30	7	1,231	Unipac	1281237 - 1282833	266	6202	5038,18	5,69	Troca de Turno
5,8E-07	2,12E-08	5	19-07-19	19:45	6	1,231	Unipac	1281237 - 1282833	266	6200	5036,56	1,62	Troca de Turno
5,8E-07	2,12E-08	5	19-07-19	20:45	6	1,231	Unipac	1281237 - 1282833	266	6178	5016,68	17,87	Troca de Turno
5,8E-07	2,12E-08	5	19-07-19	21:35	6	1,231	Unipac	1281237 - 1282833	266	6185	5008,12	10,56	Troca de Turno
5,8E-07	2,12E-08	5	20-07-19	6:45	4	1,231	Unipac	1281237 - 1282833	266	6179	5019,50	11,37	Troca de Turno
5,8E-07	2,12E-08	5	20-07-19	7:45	4	1,231	Unipac	1281237 - 1282833	266	6180	5020,31	0,81	Troca de Turno
5,8E-07	2,12E-08	5	20-07-19	8:45	4	1,231	Unipac	1281237 - 1282833	266	6189	5011,37	8,94	Troca de Turno
5,8E-07	2,12E-08	5	20-07-19	9:45	4	1,231	Unipac	1281237 - 1282833	266	6183	5020,87	19,50	Troca de Turno

Fonte: Elaborado pelo autor.

Citando Pyzdek (1999) uma vez mais, que o diagrama de Ishikawa (Figura 18), deve ser ferramenta constante, uma vez que mostra o estado atual do processo, fez-se uso de tal ferramenta, junto com o time multidisciplinar do estudo (engenheiros, supervisor, operadores e pesquisadores).

Foram priorizadas as seguintes causas como responsáveis das causas especiais mostradas nos gráficos de controle I-MR (Figuras 91, 93, 94 e 95):

- Ajuste errado no ModuFlex[®], devido falta de identificação nos mangotes flexíveis que levam o produto do ModuFlex[®] à máquina envasadora (Figura 102);

Figura 102 – Conjunto de quatro ModuFlex[®] da linha de envase do estudo B



Fonte: Elaborado pelo autor.

- Procedimento operacional inadequado, pois solicita que o operador desligue os ModuFlex[®] para qualquer parada da linha de envase, causando perturbação do processo de envase, uma vez que “esvazia” quase que por completo, as linhas a montante dos ModuFlex[®]; podendo fazer com que a pressão na entrada dos ModuFlex[®] reduza excessivamente causando desvios de dosagem;
- Automatismo dos limites de volume superior (L+) e de volume inferior (L-), do tanque da envasadora, destacados na Figura 102, pode estar causando perturbação do processo de envase, devido range muito amplo para o processo e, consequente coluna de líquido (produto) oscilando demasiadamente durante o envase. Quando o nível de produto dentro da cuba encontra-se próximo do nível mínimo, a válvula de alimentação de produto para a cuba da máquina de envase (válvula tipo *on-off*, circulada em vermelho na Figura 102), abre e o fluxo de produto intenso, pode fazer com que a pressão na entrada dos ModuFlex[®] aumente e causando desvios de dosagem;
- A posição dos ModuFlex[®] em relação ao eixo Z (altura “h”), conforme mostrado na Figura 102, pode fazer com que a pressão na entrada dos ModuFlex[®] seja diferente a depender da posição em relação ao eixo Z, causando desvios de dosagem.

4.1.2.7.1 Ações tomadas linha estudo B

As ações tomadas linha estudo B, são:

- Item 1: Foram fabricadas placas metálicas com a identificação correta do bico de envase correspondente;
- Item 2: Houve alteração do procedimento operacional para que o operador somente desligue os ModuFlex® em grandes paradas, como em troca de turno ou final de campanha de envase de produto. Em avaliação pela engenharia de processo e área de segurança de processo, devido risco de derrame de produto caso haja abertura erroneamente da válvula manual entre a cuba e o ModuFlex®;
- Item 3: Alterados os L+ e L-, de maneira que o range entre eles seja reduzido e o nível dentro da cuba mantenha-se mais estável. Mapeado que o sinal de motor ligado do ventilador da coluna de lavagem de gases, é intertravado com bomba de dosagem de transferência de produto para a cuba da envasadora. Caso a coluna de lavagem de gases não esteja em operação, não haverá alimentação de produto para a cuba da envasadora, o que fará com que o nível de produto na cuba reduza, e por consequência podendo fazer com que a pressão na entrada dos ModuFlex® reduza excessivamente causando desvios de dosagem;
- Item 4: Os ModuFlex® posicionados na parte inferior foram trocados de posição com os ModuFlex® na parte superior e testados com o mesmo ajuste. Foi verificado que não houve variação no volume dosado, refutando-se essa hipótese.

4.1.2.8 Ação em caso de desvio apontado pela ferramenta do CEP (carta I-MR) na linha estudo B

Após eliminação das causas especiais mapeadas na fase I do CEP, em caso de desvio apontado pela ferramenta do CEP linha estudo B, o operador deverá avaliar a lista possíveis causas geradoras do desvio apontado pela carta I-MR. O operador deverá verificar todos os itens ajustados no *setup* da linha estudo B, avaliando se houve perda de algum desses ajustes durante o processo de envase.

Caso ainda persista o desvio, o operador deverá avaliar se alguma das causas especiais priorizadas e teoricamente eliminadas na fase I do CEP, porventura retornaram, impactando assim o processo.

Em caso ainda assim o desvio persista, o operador deverá realizar a correção nos pulsos do ModuFlex® conforme indicado no *tablet*, pelo algoritmo que calcula automaticamente a correlação entre quantidade de pulsos no ModuFlex® e o volume real envasado. Após ajuste nos pulsos do ModuFlex®, o operador deverá realizar o ajuste de utilizando-se três frascos ou bombonas.

4.2 INDÚSTRIA 4.0

4.2.1 Linha piloto A

Para o teste piloto na linha piloto A, somente foram coletados os valores de peso e plotados em tempo real nas cartas I-MR, por bico.

As informações necessárias para as demais “usabilidades”, não foram coletadas no piloto.

4.2.2 Objeto do estudo linha B

Após implementação na linha piloto A, foi proposto implementação em outra linha de envase B, e foram realizados diversos pequenos testes, seguindo-se o conceito de pesquisa-ação, nos quais o time multidisciplinar do projeto identificou várias “usabilidades” possíveis, relacionadas com indústria 4.0, as quais foram arquivadas em acompanhamento em ciclos, usadas no piloto, os *patch notes* ou *work cycles* da Figura 27.

Os resultados mais relevantes gerados dos ciclos da pesquisa-ação serão apresentados juntamente com as respostas às questões de pesquisa.

4.3. AVALIAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS QUESTÕES DE PESQUISA

Esta seção é para que se possa avaliar as respostas às questões de pesquisa. Como parte das ações que foram implementadas na linha piloto A e outras na linha do estudo B, compilou-se aqui, sem haver diferenciação, em quase todas as soluções, em qual linha foi implementado qual solução.

4.3.1 Questões de pesquisa 1 e 3

1 – Como melhorar o uso dos dados de processo, para alcançar maior eficiência das máquinas e equipamentos? Como sugerido para trabalhos futuros por Vaidya, Ambad e Bhosle (2018).

3 – Avaliar a viabilidade da implementação de ferramentas (*tablet e big data*) para auxiliar a empresa a implementar melhorias voltadas à indústria 4.0. Como sugerido para trabalhos futuros por Zhou, Liu e Zhou (2015, p. 2151), onde cita que promover a integração do SFC, inclui integração de componentes heterogêneos, métodos e ferramentas. O desafio inclui criação de interfaces para suportar componentes heterogêneos e integração adaptativa dos componentes. E por Nayak *et al.* (2016, p. 13), quando cita que mais pesquisa deve ser realizada para se investigar a integração dos sistemas físico e cibernético; este tipo de integração resultará em complexidades oriundas das interações entre sistemas cibernéticos e certos comportamentos dinâmicos dos sistemas físicos. Porém, sem incorrer em riscos à segurança da informação corporativa e à privacidade de dados, como mencionado por Li e Xu (2017) e Müller (2019, p. 2193).

Para responder a essas questões, elencamos as ações:

- Digitalização de todas as folhas de marcha de envase para a linha objeto do estudo, B. Aproximadamente 10.000 folhas de marcha são digitalizadas anualmente. As folhas de marcha de envase são compostas de três folhas, uma com dados de lista técnica do produto a ser envase e outras duas folhas com controles dos diversos processos da linha de envase. A Figura 103, mostra o exemplo atual de uma das folhas de controle de processo (preenchimento manual);

Figura 103 – Modelo de uma das três folhas de marcha de envase por lote

Controle de Processo		Check-List				Controle de Qualidade				Controle de Segurança			
Descrição	Valor	Lote	qtde	qtde	qtde	qtde	qtde	qtde	qtde	qtde	qtde	qtde	
Descrição	1.163	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	
Lote	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	
Quantidade	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	
Resultado	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	
Observações													

Fonte: Elaborado pelo autor.

- Criação de um *software* utilizando-se a plataforma *Wonderware Skelta®* BPM ou somente Skelta®; desenvolvida internamente pelo time de *smart manufacturing* e que atende aos requisitos internos de segurança da informação da empresa e, por consequência, às normas vigentes de LGPD, lei nº 13.709, aprovada em agosto de 2018 (BRASIL, 2020) e com vigência a partir de agosto de 2020. Com uso de *cloud computing* dentro da indústria 4.0, conforme mencionado por Chen *et al.* (2016, p. 32);

- Criação da folha de marcha digital, com preenchimento via *tablet*, dentro do Skelta®, com entraves e bloqueios dentro do algoritmo que restringem avanço no preenchimento sem cumprimento de certas atividades pelo operador. Dessa forma torna o processo menos dependente do operador quanto ao que deve fazer, pois a ferramenta o orienta passo-a-passo. E eliminando-se a necessidade de conferência documental pelo supervisor de turno, pois ao se realizar todos os passos solicitados pela ferramenta, há o encerramento do lote e o armazenamento em pasta de rede, tudo de forma automática. Com uso de *cloud computing*, *rede*, *wi-fi* e outras tecnologias dentro da indústria 4.0, conforme mencionado por Kamble, Gunasekaran e Gawankar (2018); Bajic, Rikalovic e Piuri (2020); Castelo-Branco, Cruz-Jesus e Oliveira (2019); Lasi *et al.* (2014); Müller (2019); Ghobakhloo (2018), Li e Xu (2017) e Oborski (2018);

- Digitalização de todas as folhas de marcha de envase para a linha objeto do estudo, B. Aproximadamente 10.000 folhas de marcha são digitalizadas anualmente. As folhas de marcha de envase são compostas de três folhas, uma com dados de lista técnica do produto a ser envase e outras duas folhas com controles dos diversos processos da linha de envase. A Figura 103, que mostra exemplo atual de uma das folhas de controle de processo (preenchimento manual);

- Implementação do CEP via *tablet* (Figura 104), com interface amigável e de fácil manuseio, integrando-se consultas automáticas ao sistema de ERP da empresa, SAP®, buscando dados de ajuste de processo, como densidade analisada do lote de produto. Criação e implementação de algoritmo que controla o processo e padroniza a intervenção operacional nos ajustes de dosagem do equipamento, reduzindo-se as intervenções sem causa especial comprovada, por parte do operador. Dessa forma, o processo se tornou mais automático e independente do operador. Com a integração do SFC, que inclui integração de componentes heterogêneos, métodos e ferramentas, dentro da indústria 4.0, conforme mencionado por Zhou, Liu e Zhou (2015, p. 2151);

Figura 104 – *Tablet* utilizado pelos operadores no estudo

Parâmetros

Operador
GUILHERME DE CARVALHO MONTEIRO

Turno
Selecione o Turno
Manhã

Embaladora
Selecione a máquina embaladora
0001 00000001 000

Tanque pilão
Selecione o tanque pilão
1

Código do Produto
Insira o código do produto
50104014
Buscar Produto

Descrição
0001 00000001 000 LACTO L 1,8%

Lote do Produto
Digite o lote do produto
129 - 12 - 12313
Checar Info

Fonte: Elaborado pelo autor.

- Criação de base de dados para alimentação, em tempo real das cartas I-MR por bico (Figura 105);

Figura 105 – “Usabilidade” – carta I-MR por bico



Fonte: Elaborado pelo autor.

- Automonitoramento do processo para outros tipos de controles realizados pelo operador, como o “teste de selagem”, para verificar possível vazamento de produto; são alimentados no banco de dados, de maneira que o algoritmo fará o espaçamento automático da amostragem para tal inspeção ou o reduzirá, de acordo com nível de “defeitos” gerados pelo processo. Outro ponto, a cada troca de lote de embalagem o operador deverá inserir a quantidade de *pallets* já envasados no lote em questão conforme a Figura 106. Essa “usabilidade” auxilia em caso de problemas de qualidade, reduzindo consideravelmente a quantidade de *pallets* que devem ser inspecionados; antes era o lote todo, agora, tem-se o *pallet* de “corte”, sendo inspecionado somente o volume necessário, otimizando recursos humanos, reduzindo-se tempo de resposta em inspeções e reduzindo custo da não qualidade para a empresa. Ou seja, tornando-a mais competitiva;

Figura 106 – “Usabilidade” – automonitoramento do processo para outros controles

Fonte: Elaborado pelo autor.

- Relatório gerencial, possibilitando que o processo seja monitorado em tempo real, através de celular e/ou computador corporativo;

- Utilização de etiquetas com códigos de barra e QR Codes para identificação e registro automático dos insumos de embalagem, de maneira a garantir a rastreabilidade e a avaliação quanto ao uso correto, de acordo com a lista técnica do produto a ser envasado; através de consulta ao ERP da empresa - SAP[®]. dentro da indústria 4.0 (Figura 107), conforme mencionado por Oborski (2018, p. 52);

Figura 107 – “Usabilidade” - leitura das embalagens via código de barras e QR Codes

The screenshot displays a software interface titled "FFP Envase - Folha de Marcha" with a sub-header "Filling Lines - Novo Envase". The interface includes several input fields and buttons:

- A dropdown menu at the top showing "A-1000 - F60".
- A section labeled "Tanque pulmão" with a sub-label "Selecione o tanque pulmão" and a dropdown menu showing "R401".
- A section labeled "Código e Lote do Produto" with two radio buttons: "Escanear barcode" (selected) and "Digitar". Below these is a blue button labeled "Escanear barcode".
- A section labeled "Código do Produto" with a sub-label "Insira o código do produto" and a text input field containing "58090041". Below this is a blue button labeled "Buscar Produto".
- A section labeled "Descrição" with a text input field containing "MESS, 4xSL, BR".
- A section labeled "Para visualizar as informações de setup rápido, clique no botão ao lado:" with a blue button labeled "Setup Rápido".
- A section labeled "Lote do Produto" with a sub-label "Digite o lote do produto" and three text input fields containing "104", "20", and "16000". Below these is a blue button labeled "Checar lote".

Fonte: Elaborado pelo autor.

- Inserção de parâmetros de ajuste inicial de processo de envase direto na tela do tablet em todo início de campanha. Reduzindo-se curva de estabilidade de todos os processos da linha de envase, principalmente etapa da envasadora, por conseguinte, reduzindo-se risco de pontos fora dos limites de controle da carta I-MR. Outro ponto é o ganho em tempo necessário para toda a linha de envase opere na velocidade de cruzeiro (velocidade padrão de operação) (Figura 108);

Figura 108 – “Usabilidade” – consulta de parâmetros de ajuste inicial no *tablet* do ModuFlex[®], etapa envase



Fonte: Elaborado pelo autor.

- Acionamento em tempo real pelo operador de produção, em caso de alguma anormalidade na linha de envase relacionada à possível problema com embalagens, permitindo monitoramento em tempo real e redução do tempo resposta para suporte técnico. Reduz-se assim, tempo de linha parada devido a possíveis problemas de qualidade com embalagens. Com a integração do sistema SFC, que inclui integração de componentes heterogêneos, métodos e ferramentas, dentro da Indústria 4.0 (Figura 109), conforme mencionado por Zhou, Liu e Zhou (2015); Lasi *et al.* (2014); Yao *et al.* (2017) e *National Science Foundation* (2022).

Figura 109 – Monitoramento em tempo real das linhas de envase relacionado à possíveis problemas com embalagem



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.2 Questões de pesquisa 2

2 – Como fazer com que a implementação do CEP seja efetiva e duradoura, ou seja, mantenha-se, após finalização e entrega do projeto? Como recomendado por Madanhire e Mbohwa (2016, p. 583) ao citar que embora certo número de organizações possuam alguma forma de controle de qualidade com auxílio de alguma ferramenta implementada, ainda há que encorajar bom número de empresas para fazer o mesmo, ao invés de confiarem em métodos visuais ou subjetivos, que não são confiáveis, uma vez que são suscetíveis a erros humanos.

Para responder a essa questão, elencamos as ações:

- Realização de treinamento operacional com todos os operadores envolvidos no processo de envase em questão, de maneira que possuam conhecimento para saber que:
 - Uso de cartas de controle são corretamente definidas, são mais eficazes para se determinar desvios de processo, que a intervenção de um operador, por mais bem treinado e experiente que seja (MONTGOMERY, 2001);
 - As decisões por eles tomadas, podem afetar o processo;
 - Que suas decisões, sendo assertivas, podem trazer mais vantagem competitiva para a empresa.
- Investimento por parte da liderança da produção, em mais *tablets* para implementação nas outras linhas de envase, mesmo as que possuem controle de peso automático nas máquinas envasadoras, com foco em digitalização e padronização dos processos;

- Elaboração de um “manual de operação para a folha de marcha digital”, anexado ao procedimento operacional de envase da produção; para fácil consulta e para que o conhecimento gerado seja guardado e possa ser transmitido a novos operadores e/ou passado como reciclagem do conhecimento (Figura 110).

Figura 110 – Página do “manual de operação para a folha de marcha digital”



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.3 Questões de pesquisa 4

4 - A padronização da interferência do operador no ajuste de peso traz benefícios ao processo de envase?

Para responder a essa questão, elencamos as ações:

- Pós-implementação do CEP na linha piloto A e comparando-se com os valores por operador, representados pelas figuras 59 e 60 no item 4.1.1.2.4 e pelas Figuras 68 e 69, respectivamente. Ao observarmos essas figuras com mais detalhe, podemos notar significativa melhora na padronização dos dados, pois a dispersão encontra-se significativamente mais reduzida pós-implementação do CEP. Embora para o teste piloto na linha A, tivemos poucos dados, entendemos que, caso tivéssemos mais tempo para coleta dos dados, também visualizaríamos essa maior estabilidade (menor dispersão), em relação aos valores iniciais na carta de valores individuais, por operador;

- Para o objeto do estudo linha B, pós-implementação do CEP e comparando-se com os valores por operador, representados pela Figura 86 e pela Figura 100, respectivamente. Ao observarmos essas figuras com mais detalhe, podemos notar melhora bastante relevante na padronização dos dados, pois a dispersão encontra-se significativamente mais reduzida pós-implementação do CEP. Embora para a linha de estudo B, tivemos poucos dados e pouca variação no número total de operadores. Entendemos que, caso tivéssemos mais tempo para coleta dos dados, também visualizaríamos essa maior estabilidade (menor dispersão), em relação aos valores iniciais na carta de valores individuais, por operador.

5 CONCLUSÃO

Para a linha piloto A, conseguiu-se analisar sua condição atual, avaliar possíveis motivos para as causas especiais (foco na fase I) através de reuniões do time multidisciplinar do estudo. Importante mencionar que, devido janelas de produção para a linha A e iminente substituição da envasadora dessa linha, não houve oportunidade de realizar-se muitos testes em campo. E foi possível implementar o CEP de maneira satisfatória e com bons resultados em termos de variabilidade do processo, com redução do desvio padrão ao redor de 50%. Para a linha piloto A, devido ao exposto anteriormente, não foi possível avaliar o item indústria 4.0.

Para a linha do estudo B, foram realizados muito testes em campo, reuniões de discussão com o time multidisciplinar do estudo para se determinar possíveis motivos para as causas especiais (foco na fase I), além de diversos testes de “Usabilidade” da ferramenta Skelta® em conjunto com o *tablet* para os operadores, desenvolvendo-se diversas soluções voltadas para indústria 4.0 e sempre seguindo conceito de pesquisa-ação.

Quanto às questões de pesquisa, entende-se que:

- Questões 1 e 3: foi positiva e totalmente respondida, inclusive no relacionado a Indústria 4.0, tendo como embasamento:
 - Digitalização de 100% das folhas de marcha de produto;
 - Criação do *software* Skelta®, atendendo aos requisitos de segurança da informação da LGPD;
 - Implementação de *tablet*, com interface amigável e que disponibiliza diversas informações de vários sistemas de suporte à produção, como instruções operacionais, de qualidade, de planejamento, de manutenção, entre outros;
 - Criação de base de dados para alimentação, em tempo real das cartas I-MR, por bico; além de monitoramento do processo, através de relatório gerencial;
 - Implementação de etiquetas com códigos de barra e QR *Codes* para identificação e registro automático dos insumos de embalagem;
 - Monitoramento em tempo real das linhas de envase relacionado à possíveis problemas com embalagem.
- Questão 2: foi positiva e totalmente respondida, tendo como embasamento:
 - Treinamento de todos os operadores de envase da produção, explicando CEP e suas vantagens;
 - Investimento em mais *tablets* pela gerência de produção para implementação em mais linhas de envase da empresa;

- Elaboração de um “manual de operação da folha de marcha digital”, que foi anexado ao procedimento operacional de envase da produção, garantindo assim, que a informação e conhecimento gerados não se percam.

- Questão 4: sim, houve benefícios para o processo de envase, tais como:

- Nota-se a que a média e o desvio padrão foram de 5.021 mL e 18 mL respectivamente (Tabela 14). Para valores de média e o desvio padrão de 5.002 mL e 10 mL respectivamente (Tabela 15);

- Também foi notado que houve redução das intervenções operacionais na máquina de envase.

De forma geral, notou-se uma mudança no *mindset* operacional, notado com clareza o ganho de confiança dos operadores com as tecnologias propostas e com a metodologia do CEP.

Diversas ideias focadas em uso de tecnologias relacionadas com indústria 4.0 foram criadas e serão implementadas como forma de melhoria contínua. De forma geral, houve satisfação e consequente engajamento por parte da operação: operadores, supervisores e engenheiros.

Como indústria 4.0 ainda não foi muito explorado na prática em aplicações industriais, nota-se vasto campo de aplicações e desenvolvimento em níveis industriais como sugestão para trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

- ADEGOKE, N. A. *et al.* A multivariate homogeneously weighted moving average control chart. **IEEE Access**, Adelaide, v. 7, p. 9586-9597, 2019.
- AJIBADE, P. Efficient information management as organizational performance drivers in south Africa. **Journal of Social Sciences**, Gurugram, v. 53, n. 2, p. 95-106, 2017.
- AMARAL, S. A.; SOUSA, A. J. F. P. Qualidade da informação e intuição na tomada de decisão organizacional. **Perspectivas em Ciência da Informação**, Belo Horizonte, v. 16, n. 1, p. 133-146, 2011.
- ANTONY, J. *et al.* Process optimization using Taguchi methods of experimental design. **Work Study**, London, v. 50, n. 2, p. 51-57, 2001.
- ARCIDIACONO, G.; NUZZI, S. A review of the fundamentals on process capability, process performance, and process sigma, and an introduction to process sigma split. **International Journal of Applied Engineering Research**, Seoul, v. 12, n. 14, p. 4556-4570, 2017.
- ARDAGNA, D. *et al.* Context-aware data quality assessment for big data. **Future Generation Computer Systems**, Amsterdam, v. 89, p. 548-562, 2018.
- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The internet of things: a survey. **Computer Networks**, Amsterdam, v. 54, n. 15, p. 2787-2805, 2010.
- AUTOMOTIVE INTERNATIONAL ACTION GROUP (AIAG). **QS-9000**: statistical process control - chrysler, ford, general motors. 2nd. ed. [S.l]: [s.n], 2005.
- AZIZI, A. Evaluation improvement of production productivity performance using statistical process control, overall equipment efficiency, and autonomous maintenance. **Procedia Manufacturing**, Amsterdam, v. 2, p. 186-190, 2015.
- BAJIC, A. B.; RIKALOVIC, N. S.; PIURI, V. Industry 4.0 implementation challenges and opportunities: a managerial perspective. **IEEE Systems Journal**, v. 15, n. 1, p. 546-559, 2020.
- BAKHTARI, A. R. *et al.* Industry 4.0 implementation challenges in manufacturing industries: an interpretive structural modelling approach. **Procedia Computer Science**, Amsterdam, v. 176, p. 2384-2393, 2020.
- BENNEYAN, J. C.; LLOYD, R. C.; PLSEK, P. E. Statistical process control as a tool for research and healthcare improvement. **Quality and Safety in Health Care**, London, v. 12, p. 458-464, 2003.
- BERNARDES, E.; MUNIZ JUNIOR, J.; NAKANO, D. **Pesquisa qualitativa em engenharia de produção e gestão de operações**. São Paulo: Atlas, 2019.

BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G.; HUNTER, J. S. **Statistics for experimenters: an introduction to design, data analysis, and model building**. New York: John Wiley & Sons, 1978.

BRASIL. Presidência da República. **Decreto nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002**. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, [2018]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/D4074.htm. Acesso em: 07 dez. 2019.

BRASIL. Presidência da República. **Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD) - Lei nº 13.709**. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, [2018]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/113709.htm. Acesso em: 14 nov. 2020.

CAPIZZI, G. Recent advances in process monitoring: nonparametric and variable-selection methods for phase I and phase II. **Quality Engineering**, London, v. 27, n. 1, p. 44-67, 2015.

CASTELO-BRANCO, I.; CRUZ-JESUS, F.; OLIVEIRA, T. Assessing industry 4.0 readiness in manufacturing: evidence for the European Union. **Computers in Industry**, Amsterdam, v. 107, p. 22-32, 2019.

CHEN, Y. *et al.* Big data analytics and big data science: a survey. **Journal of Management Analytics**, London, v. 3, n. 1, p. 1-42, 2016.

CLARO, F. A. E.; COSTA, A. F. B.; MACHADO, M. A. G. Gráficos de controle de EWMA e de X-bar para monitoramento de processos auto correlacionados. **Produção**, São Paulo, v. 17, n. 3, p. 536-546, 2007.

COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle estatístico de qualidade**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2016.

COSTA, A. F. B. **Gráficos de controle de Shewhart**: duas décadas de pesquisa. 2007. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2007. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/116107>. Acesso em: 08 set. 2021.

COUGHLAN, P.; COUGHLAN, D. Action research for operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, Bingley, v. 22, n. 2, p. 220-240, 2002.

DOVOEDO, Y. H.; CHAKRABORTI, S. Effects of parameter estimation on the multivariate distribution-free phase II sign EWMA chart. **Quality and Reliability Engineering International**, New Jersey, v. 33, n. 2, p. 431-449, 2016.

FAN, S-K. S.; JEN, C-H.; LEE, J-X. Profile monitoring for autocorrelated reflow processes with small samples. **Processes**, Basel, v. 7, n. 2, p. 104, 2019.

FRANCO, B. C. *et al.* Economic design of Shewhart control charts for monitoring auto correlated data with skip sampling strategies. **International Journal of Production Economics**, Amsterdam, v. 151, p. 121-130, 2014.

GARZA-VENEGAS, J. A. *et al.* Effect of autocorrelation estimators on the performance of the $\bar{X}$ control chart. **Journal of Statistical Computation and Simulation**, London, v. 88, n. 13, p. 2612-2630, 2018.

GHASEMI, A.; ZAHEDIASL, S. Normality tests for statistical analysis: a guide for non-statisticians. **International Journal of Endocrinology and Metabolism**, Washington, v. 10, n. 2, p. 486-489, 2012.

GHOBAKHLOO, M. The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward industry 4.0. **Journal of Manufacturing Technology Management**, Bingley, v. 29, n. 6, p. 910-936, 2018.

GOEDHART, R.; SCHOONHOVEN, M.; DOES, R. J. M. M. Nonparametric control of the conditional performance in statistical process monitoring. **Journal of Quality Technology**, London, v. 52, n. 4, p. 355-369, 2020.

HARIDY, S.; WU, Z. Univariate and multivariate control charts for monitoring dynamic-behavior processes: a case study. **Journal of Industrial Engineering and Management**, Barcelona, v. 2, n. 3, p. 464-498, 2009.

HENDERSON, A. R. Testing experimental data for univariate normality. **Clinica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 366, n. 1-2, p. 112-129, 2006.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design principles for industrie 4.0 scenarios. **Proceedings**, Koloa, p. 3928-3937, 2016. Of 49th Hawaii International Conference on System Sciences HICSS, 2016, [koloa].

HOFMANN, E.; RÜSCH, M. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. **Computers in Industry**, Amsterdam, v. 89, p. 23-34, 2017.

JAYASHREE, S. *et al.* Industry 4.0 implementation and triple bottom line sustainability: an empirical study on small and medium manufacturing firms. **Heliyon Open Access**, Amsterdam, v.7, n. 8, p. 1-14, 2021.

JEWELL, P. *et al.* Information skills for business acumen and employability: a competitive advantage for graduates in Western Sydney. **Journal of Education for Business**, London, v. 95, n. 2, p. 88-105, 2020.

JONES-FARMER, L. A. *et al.* An overview of phase I analysis for process improvement and monitoring. **Journal of Quality Technology**, London, v. 46, n. 3, p. 265-280, 2014.

KAMBLE, S. S.; GUNASEKARAN, A.; GAWANKAR, S. A. Sustainable industry 4.0 framework: a systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. **Process Safety and Environmental Protection**, Amsterdam, v. 117, p. 408-425, 2018.

KHALIQ, Q-U-A.; RIAZ, M.; ALEMI, F. Performance of Tukey's and individual/moving range control charts. **Quality and Reliability Engineering International**, New Jersey, v. 31, n. 6, p. 1063-1077, 2015.

KOAY, K. Y. *et al.* Understanding employees' knowledge hiding behaviour: the moderating role of market culture. **Behaviour & Information Technology**, London, v. 41, n. 4, p. 694-711, 2020.

KOLBERG, D.; KNOBLOCH, J.; ZUHLKE, D. Towards a lean automation interface for workstations. **International Journal of Production Research**, London, v. 55, n. 10, p. 2845-2856, 2017.

LASI, H. *et al.* Industry 4.0. **Business & Information Systems Engineering**, Karlsruhe, v. 6, n. 4, p. 239-242, 2014.

LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H. A. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing Letters**, Amsterdam, v. 3, p. 18-23, 2015.

LEGISWEB. **Portaria nº 248 de 17 de julho de 2008**, [2008]. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislação/?id=207765>. Acesso em: 08 set. 2021.

LIAO, Y. *et al.* Past, present and future of industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. **International Journal of Production Research**, London, v. 55, n. 12, p. 3609-3629, 2017.

LI, X. *et al.* A review of industrial wireless networks in the context of industry 4.0. **Wireless Netw**, Heidelberg, v. 23, p. 23-41, 2017.

LI, S.; XU, L. **Securing the internet of things**. 5th ed. United States: Elsevier, 2017.

LIU, Q. *et al.* Green data center with IoT sensing and cloud-assisted smart temperature control system. **Computer Networks**, Amsterdam, v. 101, p. 104-112, 2016.

MADANHIRE, I.; MBOHWA, C. Application of statistical process control (SPC) in manufacturing industry in a developing country. **Procedia CIRP** **40**, Amsterdam, v. 40, p. 580-583, 2016. 13th Global Conference On Sustainable Manufacturing – Decoupling Growth From Resource Use, 2015, [Binh Duong New City, Vietnam].

MANSON, R. L.; GUNST, R. F.; HESS, J. L. **Statistical design and analysis of experiments**. 5th ed. New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2003.

MELLO, C. H. P. *et al.* Pesquisa-ação na engenharia de produção: proposta de estruturação para sua condução. **Produção**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 1-13, 2012.

MERGULHÃO, R. C. **Análise da implementação do seis sigma em empresas de manufatura no Brasil**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2003.

MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. 7th ed. New York: John Wiley & Sons Inc., 2001.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Applied statistics and probability for engineers**. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons Inc., 2003.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to statistical quality control**. 7th ed. New York: John Wiley & Sons Inc., 2012.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Applied statistics and probability for engineers**. 7th ed. New York: John Wiley & Sons Inc., 2018.

MUKUNDAM, K. *et al.* I-MR control chart: a tool for judging the health of the current manufacturing process of an API and for setting the trial control limits in phase I of the process improvement. **Organic Process Research & Development**, Washington, v. 17, n. 8, p. 1002-1009, 2013.

MÜLLER, J. M.; BULIGA, O.; VOIGT, K-I. Fortune favors the prepared: how SMEs approach business model innovations in industry 4.0. **Technological Forecasting and Social Change**, Amsterdam, v. 132, p. 2-17, 2018.

MÜLLER, J. M. Assessing the barriers to industry 4.0 implementation from a workers perspective. **IFAC- Papers OnLine**, Amsterdam, v. 52, n. 13, p. 2189-2194, 2019.

NATIONAL SCIENCE FOUNDATION. **Cyber-physical systems (CPS)**, [2021]. Disponível em: www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=503286. Acesso em: 08 set. 2021.

NAYAK, A. *et al.* Resource sharing in cyber-physical systems: modelling framework and case studies. **International Journal of Production Research**, London, v. 54, n. 23, p. 6969-6983, 2016.

NOSKIEVIČOVÁ, D.; SMAJDOROVÁ, T.; TYLEČKOVÁ, E. Statistical process control in big data environment. **IEEE Xplore**, High Tatras, p. 1-6, 2020. 21th International Carpathian Control Conference (ICCC), 2020, [High Tatras, Slovakia].

OBORSKI, P. Integration of machine operators with shop floor control system for industry 4.0. **Management and Production Engineering Review**, Varsóvia, v. 9, n. 4, p. 48-55, 2018.

PARK, C.; TSUI, K-L. A profile monitoring of the multi-stage process. **Quality Technology & Quantitative Management**, London, v. 16, n. 4, p. 407-423, 2018.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. Nova Hamburgo: Universidade Feevale, 2013. *E-book*.

PYZDEK, T. **Complete guide to six sigma**. Hamilton: Quality Publishing, 1999.

QIN, J.; LIU, Y.; GROSVENOR, R. A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond. **Procedia CIRP**, Amsterdam, v. 52, p. 173-178, 2016.

SALEH, N. A. *et al.* CUSUM charts with controlled conditional performance underestimated parameters. **Quality Engineering**, London, v. 28, n. 4, p. 402-415, 2016.

SANTOS, J. C.; VALENTIM, M. L. P. Gestão da informação em ambientes organizacionais: em foco o setor têxtil e de vestuário. **Informação@Profissões**, Londrina, v. 4, n. 1, p. 56-81, 2015. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/infoprof/article/view/23542/17205>. Acesso em: 08 set. 2021.

SAYUTI M. F.; PERTIWI, E. P. Quality control of palm kernel oil using individual moving range (I-MR) chart. **MATEC Web of Conferences**, Paris, v. 204, p. 01006, 2018. International Mechanical And Industrial Engineering Conference, 2018, Malang.

ELSEVIER. **Scopus**. [2021]. Disponível em: <https://www.scopus.com/home.uri?zone=header&origin=>. Acesso em: 28 mar. 2021.

SHEWHART, W. A. **Economic control of quality of manufactured product**. New York: D. Van Nostrand Company, Inc., 1931.

SIKORSKI, J.; HAUGHTON, J.; KRAFT, M. Blockchain technology in the chemical industry: machine-to-machine electricity market. **Applied Energy**, Amsterdam, v. 195, p. 234-246, 2017.

SONG, Z. *et al.* Optimizing joint location-scale monitoring – an adaptive distribution-free approach with minimal loss of information. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 274, n. 3, p. 1019-1036, 2019.

THEORIN, A. *et al.* An event-driven manufacturing information system architecture for industry 4.0. **International Journal of Production Research**, London, v. 55, n. 5, p. 1297-1311, 2016.

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. 18 ed. São Paulo: Cortez, 2002.

TOUTENBURG, H. **Statistical analysis of designed experiments**. 2nd ed. New York: Springer-Verlag, 2002.

VAIDYA, S.; AMBAD, P.; BHOSLE, S. Industry 4.0 - a glimpse. **Procedia Manufacturing**, Amsterdam, v. 20, p. 233-238, 2018. 2nd International Conference on Materials, Manufacturing and Design Engineering (iCMMD2017), 2017, [MIT Aurangabad, Maharashtra, India].

XU, L. D.; XU, E. L.; LI, L. Industry 4.0: state of the art and future trends. **International Journal of Production Research**, London, v. 56, n. 8, p. 2941-2962, 2018.

YANG, S-F.; LIN, J-S.; CHENG, S. W. A new nonparametric EWMA sign control chart. **Expert Systems with Applications**, Amsterdam, v. 38, n. 5, p. 6239-6243, 2011.

YAO, X. *et al.* Smart manufacturing based on cyber-physical systems and beyond. **Journal of Intelligent Manufacturing**, Cham, v. 30, p. 2805-2817, 2017.

YAZDI, A. A.; HAMADANI, A. Z.; AMIRI, A. Addressing the effect of parameter estimation on phase II monitoring of multivariate multiple linear profiles via a new cluster-based approach. **Communications in Statistics - Theory and Methods**, London, v. 49, n. 17, p. 4117-4132, 2019.

WAN, J. *et al.* Mobile services for customization manufacturing systems: an example of industry 4.0. **IEEE Access**, Adelaide, v. 4, p. 8977-8986, 2016.

WOICIEKOVSKI, E.; PEREIRA, L. Inovação e estratégia sustentadas pelo gerenciamento de informações: um estudo nas empresas incubadas na ITFETEP. **International Journal of Knowledge Engineering and Management (IJKEM)**, Florianópolis, v. 4, n. 10, p. 125-142, 2015.

WOODALL, W. H. *et al.* Using control charts to monitor process and product quality profiles. **Journal of Quality Technology**, London, v. 36, n. 3, p. 309-320, 2004.

WOODALL, W. H. Bridging the gap between theory and practice in basic statistical process monitoring. **Quality Engineering**, London, v. 29, n. 1, p. 2-15, 2017.

WU, S. *et al.* Optimal design of the variable sampling interval np control chart for monitoring service process. **Procedia CIRP**, Amsterdam, v. 83, p. 242-247, 2019. 11th CIRP Conference On Industrial Product-Service Systems, 2019, [Zuhai and Hong Kong, China].

ZAMAN, B.; RIAZ, M.; LEE, M. H. On the performance of control charts for simultaneous monitoring of location and dispersion parameters. **Quality and Reliability Engineering International**, New Jersey, v. 33, n. 1, p. 37-56, 2017.

ZAMBON, I. *et al.* Revolution 4.0: industry vs. agriculture in a future development for SMEs. **Processes**, Basel, v. 7, n. 1, p. 1-16, 2019.

ZHOU, K.; LIU, T.; ZHOU, L. Industry 4.0: towards future industrial opportunities and challenges. **IEEE Xplore**, Zhangjiajie, p. 2147-2152, 2015. 12th International Conference On Fuzzy Systems And Knowledge Discovery, 2015, [Zhangjiajie, China].

ZWETSLOOT, I. M.; AJADI J. O. A comparison of EWMA control charts for dispersion based on estimated parameters. **Computers & Industrial Engineering**, Amsterdam, v. 127, p. 436-450, 2019.

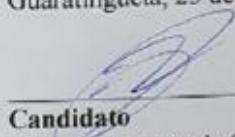
ZWETSLOOT, I. M.; WOODALL, W. H. A review of some sampling and aggregation strategies for basic statistical process monitoring. **Journal of Quality Technology**, London, v. 53, n. 1, p. 1-16, 2019.

ANEXO A – Carta formalização de compromisso**CARTA DE FORMALIZAÇÃO DO COMPROMISSO COM A INSTITUIÇÃO PÚBLICA**

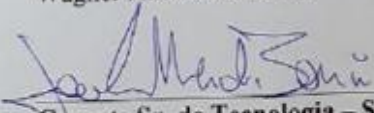
Através da presente carta, a Empresa [REDACTED], [REDACTED] compromete-se a fornecer os dados para o desenvolvimento da pesquisa sobre "IMPLEMENTAÇÃO DA FASE I DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS (CEP), VOLTADO PARA A INDÚSTRIA 4.0, EM UMA LINHA DE ENVASE DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS." como parte do Mestrado em Engenharia de Produção do candidato Wagner Antunes da Silva, na Instituição de Ensino Pública UNESP – Universidade Estadual Paulista.

A empresa se compromete a liberar o funcionário para participar das aulas e desenvolver a pesquisa durante os dois anos do programa. Além disso, a empresa se compromete a permitir a implementação das melhorias verificadas no projeto.

Guaratinguetá, 25 de Setembro de 2019


Candidato

Wagner Antunes da Silva


Gerente Sr. de Tecnologia – Soluções para Agricultura

João Luis M. Bonci

João Luis M. Bonci
Tecnologia Processos
Gerente Depto.
S-APS/OT