



Implementação de Controlo Estatístico de Processos - Linha BOS

SOFIA ALEXANDRA DE SALES GOMES RODRIGUES

Outubro de 2021

IMPLEMENTAÇÃO DE CONTROLO ESTATÍSTICO DE PROCESSOS – LINHA BOS

Sofia Alexandra de Sales Gomes Rodrigues

*Submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Química, ramo opcional Qualidade*

Orientadora do ISEP

Eng.^a Anabela Guedes

Orientador da IKEA Industry Portugal, SA.

Eng.º Mário Ferreira

Porto, 18 de outubro de 2021

AGRADECIMENTOS

A presente dissertação resulta de um importante passo na minha formação, determinando o culminar de um percurso académico extremamente gratificante, mas difícil, e que contou com o contributo influente de várias pessoas. Assim sendo, expresso um carinho especial e um sincero agradecimento, de forma particular:

À Eng.^a Anabela Guedes, docente do Departamento de Engenharia Química do Instituto Superior de Engenharia do Porto pela disponibilidade demonstrada ao longo deste trabalho.

À IKEA Industry Portugal, S.A. pela oportunidade concedida para me desenvolver pessoal e profissionalmente, fazendo parte de um projeto que tem tanto de desafiante como de entusiasmante. Destaco todos com quem tive a oportunidade de colaborar e que demonstraram vontade de fazer mais e melhor, aceitando novos métodos de trabalho e que contribuíram para o sucesso deste projeto. Em particular ao Eng.º Mário Ferreira pela atenção, dedicação e paciência demonstradas no desenvolvimento deste projeto, exigindo e retribuindo o esforço, no sentido de me ajudar a melhorar e desenvolver mais competências.

À minha família e cara-metade, que não participando de forma direta, me proporcionaram diversas oportunidades de autodesenvolvimento, pela motivação e votos de confiança que me transmitiram sempre e, principalmente, pelo apoio incondicional em todos os momentos da minha vida.

RESUMO

Nos dias que correm, as diversas organizações assumem uma crescente preocupação associada à produção de artigos de qualidade e, por isso, o controlo estatístico de processos ganha maior relevo por permitir a sua monitorização, com o objetivo de estabilizar e otimizar os mesmos, reduzindo o desperdício e, conseqüentemente, os custos.

Este trabalho visou a implementação do controlo estatístico do processo na área *Board-on-Styles* (BOS) numa empresa dedicada à produção de mobiliário, IKEA Industry Portugal, SA., e na qual se pretende criar uma cultura de controlo estatístico de processo, identificando causas de variação especiais e mitigando-as de forma a reduzir a variabilidade do processo (C_p e C_{pk} igual a 1,33) e produzindo de acordo com as especificações de cliente.

Deste modo, iniciou-se o trabalho com a formação das equipas na temática do controlo estatístico de processos, em especial as cartas de controlo. Definiu-se ainda a humidade do papel como a característica de maior interesse de estudo e, com recurso às cartas de controlo I-MR, foi possível o estudo da variabilidade do processo tendo em vista a implementação de medidas corretivas e de melhoria resultantes de várias fontes de variação. Além disso, inferiu-se que os dados recolhidos seguem uma distribuição aproximadamente normal. No que diz respeito ao estudo da capacidade do processo, concluiu-se que este não é capaz de produzir de acordo com os requisitos de cliente, uma vez que os indicadores C_p e C_{pk} globais são de 0,97 e 0,60, respetivamente, não sendo cumprido o objetivo principal deste trabalho. Não obstante, foi possível evidenciar que as melhorias implementadas resultaram numa menor variabilidade e, conseqüentemente, a qualidade dos produtos melhorou, tendo-se determinado um decréscimo de 12,21% de material não conforme ao longo do trabalho.

Palavras Chave: Qualidade, Controlo Estatístico do Processo, Cartas de Controlo, Capacidade do Processo, Indústria de Mobiliário

ABSTRACT

Nowadays, organizations assume a growing concern when it comes to product's quality and, therefore, the statistical process control is of great importance once it allows the monitoring of processes with the objective of stabilizing and optimizing them, reducing waste and, consequently, costs.

This project aims the implementation of statistical process control in the Board-on-Styles (BOS) line in a company dedicated to furniture production, IKEA Industry Portugal, SA., and in which the main goal is to create statistical process control culture by identifying special causes of variation and mitigating them, in order to reduce process variability and producing according to customer specifications.

Therefore, the project began with the training of the team on statistical process control, in particular control charts. Paper moisture was also defined as the characteristic of greatest interest to this study and, by applying I-MR control charts, it was possible to evaluate the variability of the process, aiming the implementation of corrective and improvement measures that can result from various sources of variation. Furthermore, it was possible to infer that the data collected follows an approximately normal distribution. With regard to the process capability, it was concluded that the process is not capable of producing according to customer requirements since the global process indicators Cp and Cpk are 0,97 and 0,60, respectively, and, consequently, the main goal was not fully fulfilled. Nevertheless, it was visible that the improvement action implemented resulted in less variability of the process and the quality of the products has improved, as there was a decrease of 12,21% of non-conforming products during this project.

Key words: Quality, Statistical Process Control, Control Charts, Process Capability, Furniture Industry

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. ENQUADRAMENTO DO TEMA E MOTIVAÇÕES	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.3. IKEA INDUSTRY PORTUGAL, SA.....	3
1.3.1. SISTEMA DE GESTÃO INTEGRADO.....	5
1.3.2. PROCESSOS E TECNOLOGIAS	6
1.3.3. ÁREA BOARD-ON-STYLES	7
1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	9
2. CONTROLO ESTATÍSTICO DO PROCESSO	11
2.1. QUALIDADE E A SUA EVOLUÇÃO	11
2.2. CONTROLO ESTATÍSTICO DE PROCESSOS, SPC.....	13
2.3. CARTAS DE CONTROLO.....	18
2.4. TIPOS DE CARTAS DE CONTROLO.....	21
2.4.1. CARTAS DE CONTROLO DE OBSERVAÇÕES INDIVIDUAIS E AMPLITUDES MÓVEIS	25
2.5. VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE DO PROCESSO	27
2.6. RECOLHA DE DADOS	28
2.7. CAPACIDADE DE UM PROCESSO	29
3. IMPLEMENTAÇÃO DO CONTROLO ESTATÍSTICO DO PROCESSO NA LINHA <i>BOARD-ON-FRAME</i> , BOS	33
3.1. COMUNICAÇÃO E FORMAÇÃO	33
3.2. CARACTERÍSTICA DA QUALIDADE ESTUDADA.....	35
3.3. CONTROLO ESTATÍSTICO DO PROCESSO.....	39
3.3.1. IMPLEMENTAÇÃO DO CONTROLO ESTATÍSTICO DO PROCESSO.....	40
3.3.2. VERIFICAÇÃO DA NORMALIDADE DOS DADOS	42
3.3.3. CÁLCULO DOS PARÂMETROS DO PROCESSO	44
4. CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHO FUTURO	47
BIBLIOGRAFIA	49
ANEXO A – TABELAS AUXILIARES.....	51
A1. FATORES PARA CONSTRUÇÃO DAS CARTAS DE CONTROLO POR VARIÁVEIS	51
A2. DISTRIBUIÇÃO DA ESTATÍSTICA D – TESTE KOLMOGOROV-SMIRNOV	52
ANEXO B – CARTAS DE CONTROLO – FASE 1	53
B1. SEMI-PRODUTO COM PAPEL DE 11,6 mm DE ESPESSURA.....	53

B2. SEMI-PRODUTO COM PAPEL DE 31,4 mm DE ESPESSURA.....	55
B3. SEMI-PRODUTO COM PAPEL DE 11,6 mm DE ESPESSURA.....	57
ANEXO C – INDICADORES DO PROCESSO.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Localização das várias divisões do grupo IKEA.	4
Figura 1.2 Instalações da IKEA Industry Portugal, SA.	4
Figura 1.3 Organigrama da IKEA Industry Portugal, SA.	5
Figura 1.4 Representação de algumas famílias de produtos produzidos na IKEA Industry Portugal, SA.	7
Figura 1.5 Ilustração de um painel em construção BOS.	8
Figura 2.1. Ferramentas clássicas da Qualidade.	16
Figura 2.2 Representação de uma carta de controlo.	19
Figura 2.3 Representação da zona A, B e C de uma carta de controlo.	21
Figura 2.4. Esquema representativo de padrões não aleatórios nas cartas de controlo.	28
Figura 2.5 Figura esquemática da capacidade do processo.	31
Figura 3.1 Figura representativa do mapeamento do processo de implementação do SPC.	35
Figura 3.2. Representação gráfica do efeito da humidade do papel em relação à sua compressão.	36
Figura 3.3. Fotografia ilustrativa do equipamento instalado na linha.	37
Figura 3.4. Esquema da colocação do equipamento de medida da humidade na linha.	38
Figura 3.5. Esquema representativo do processo dos dados.	39
Figura 3.6. Cartas de Controlo I-MR para o semi-produto S024BTBSSH01.	41
Figura 3.7. Cartas de Controlo I-MR corrigidas para o semi-produto S024BTBSSH01.	42
Figura 3.8. Representação gráfica da evolução dos indicadores de performance do processo, Cp e Cpk.	46
Figura B1.1. Carta de controlo I-MR para semi-produto com 24,4 mm de espessura - Fase 1.	53
Figura B1.2. Carta de controlo I-MR para semi-produto com 24,4 mm de espessura - Fase 1 - corrigida.	54
Figura B1.3. Carta de controlo I-MR para semi-produto com 31,4 mm de espessura - Fase 1.	55
Figura B1.4. Carta de controlo I-MR para semi-produto com 31,4 mm de espessura - Fase 1 - corrigida.	56
Figura B1.5. Carta de controlo I-MR para semi-produto com 11,6 mm de espessura - Fase 1.	57
Figura B1.6. Carta de controlo I-MR para semi-produto com 11,6 mm de espessura - Fase 1 - corrigida.	58

INDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. Tipo de cartas de controlo de variáveis.....	22
Tabela 2.2. Tipo de cartas de controlo de atributos.....	23
Tabela 3.1. Tabela com os resultados obtidos para a compressão do papel em relação à sua percentagem de humidade.....	37
Tabela 3.2. Resultados obtidos na verificação da normalidade dos dados.....	43
Tabela 3.3. Resultados da estimativa dos parâmetros do processo e dos índices de capacidade. 44	
Tabela A1.1. Fatores para construção das cartas de controlo por variáveis	51
Tabela A1.2. Distribuição da Estatística D - Teste Kolmogorov-Smirnov	52
Tabela C1. Tabela resumo da evolução dos indicadores de performance do processo	59

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ARL – *Average Run Length*, número médio ao fim do qual se deteta uma situação fora de controlo

ARL_{em controlo} – ARL quando o processo está sob controlo estatístico

ARL_{fora de controlo} – ARL quando o processo não está sob controlo estatístico

α – Nível de significância ou erro tipo I

β – Erro tipo II

BOS – *Board-on-styles*

BOF – *Board-on-frame*

C_p – Índice de capacidade potencial do processo

C_{pk} – Índice de capacidade do processo

(C_{pk})_I – Índice de capacidade do processo inferior

(C_{pk})_S – Índice de capacidade do processo superior

D₁ – Fator para construção das cartas de controlo de variáveis

D₂ – Fator para construção das cartas de controlo de variáveis

D₃ – Fator para construção das cartas de controlo de variáveis

D₄ – Fator para construção das cartas de controlo de variáveis

d₂ – Fator para construção das cartas de controlo de variáveis

D_{crítico} – Valor crítico do teste Kolmogorov-Smirnov

d – Estatística de teste de Kolmogorov-Smirnov

FSC – *Forest Stewardship Council*

H₀ – Hipótese nula de um teste de hipóteses

H₁ – Hipótese alternativa de um teste de hipóteses

HDF – *High density fibreboard*

IKEA – Acrónimo de Ingvar, Kamprad, Elmtaryd, Agunnaryd

ISO – *International Organization for Standardization*, Organização Internacional de Normalização

ISQS – *IKEA Supplier Quality Standard*

KPa – Kilo pascal

K-S – Kolmogorov-Smirnov

LC – Linha central

LIC – Limite inferior de controlo

LIE – Limite inferior de especificação

LSC – Limite superior de controlo

LSE – Limite superior de especificação

m – Número de amostras

min – Valor mínimo

mm – Milímetro

MR – *Moving Range*, amplitude móvel

N – Número de dados

n – Dimensão da amostra

PDCA – *Plan, Do, Check, Act*

PFF – *Pigment Furniture Factory*

PVAc – Acetato de polivinil

R – Amplitude amostral

\bar{R} – Média das amplitudes amostrais

RSM – Metodologia da superfície de resposta

S – Desvio padrão amostral

S_i – Desvio padrão da amostra i

S^2 – Variância amostral

S_i^2 – Variância da amostra i

SPC – *Statistical Process Control*, controlo estatístico de processos

TQM – *Total Quality Management*, gestão pela qualidade total

UV – Ultra violeta

X – Característica da qualidade

\bar{X} – Média amostral

$\bar{\bar{X}}$ – Média das médias de amostras

X_{ij} – Observação no instante i do produto j

μ – Média global;

μ – Média do processo

μ_ω – Média de uma característica da qualidade

$\hat{\mu}$ – Estimador da média do processo

σ – Desvio padrão do processo

σ_ω – Desvio padrão de uma característica da qualidade

$\hat{\sigma}$ – Estimador do desvio padrão do processo

σ^2 – Variância do processo

ω – Estatística de uma carta de controlo

1. INTRODUÇÃO

Num mundo cada vez mais competitivo e com elevado grau de exigência de qualidade dos produtos, é premente criar uma estratégia de negócio com o objetivo da melhoria contínua do desempenho dos processos e, conseqüentemente, da qualidade dos produtos. Assim sendo, o foco das organizações visa assegurar que os processos e metodologias implementados têm como propósito aumentar a eficiência, reduzindo a sua variabilidade, minimizando o uso de recursos desnecessários e, naturalmente, baixando os custos, sem nunca descuidar a qualidade dos produtos. Desta forma, surge a necessidade de aprofundar o conhecimento dos processos e o seu comportamento por aplicação de métodos estatísticos.

O controlo estatístico de processos, SPC, permite compreender a sua variabilidade, possibilitando a identificação das suas causas e, posteriormente, avaliar se as ações de correção definidas pela organização foram eficazes e suficientes. Portanto, esta ferramenta tem vindo a conquistar terreno devido à sua versatilidade de aplicação através de cartas de controlo estatístico, possibilitando a monitorização dos processos, reduzindo a sua variabilidade e tornando-os capaz de produzir de acordo com a especificação de cliente.

Neste capítulo, é efetuado um enquadramento do tema bem como da motivação para o desenvolvimento do mesmo. Além disso, destacam-se os objetivos principais da execução deste trabalho e, finalmente, apresenta-se a estrutura da dissertação.

1.1. ENQUADRAMENTO DO TEMA E MOTIVAÇÕES

A realização deste trabalho decorre numa empresa dedicada à produção de mobiliário à base de madeira, IKEA Industry Portugal, SA., sediada em Paços de Ferreira e na qual se pretende fomentar o Controlo Estatístico do Processo, bem como criar cultura de controlo do mesmo juntos das várias equipas.

De forma a ir de encontro à Estratégia da Qualidade do grupo IKEA, surge a necessidade de elevar o conhecimento e competência da organização, no que ao controlo do processo diz respeito, para que seja possível reduzir a variabilidade dos processos de fabrico e, em última

instância, ampliar o conhecimento da organização relativamente às tecnologias associadas ao fabrico de móveis.

Foi, assim, identificada pela empresa a necessidade de elaborar um plano e implementar um controlo estatístico do processo na área *Board-on-Styles*, também denominada BOS, com o objetivo de monitorizar diversos parâmetros que permitam a deteção de causas especiais de variação do processo e, posteriormente, a sua mitigação com o intuito de melhorar a capacidade dos processos e, conseqüentemente, a qualidade dos produtos, satisfazendo as exigências e expectativas do cliente.

Neste sentido, a realização deste trabalho teve como principal motivação o contributo que este apresenta para a organização e o negócio pela implementação de métodos e medidas que proporcionem uma melhoria na estabilidade e capacidade do processo produtivo, prevenindo causas especiais de variação e não conformidades.

1.2. OBJETIVOS

O principal objetivo desta dissertação foi a implementação de ferramentas de controlo estatístico de processos na área de produção BOS da empresa IKEA Industry Portugal, SA., tendo como meta monitorizar em tempo real esses processos e assegurar a qualidade dos produtos aí efetuados.

Primeiramente, pretendeu-se fazer uma análise aprofundada do processo a fim de compreender as etapas no controlo da qualidade, bem como determinar os parâmetros críticos do processo que têm impacto na qualidade dos produtos. De seguida, foram analisadas as ferramentas de controlo estatístico de processos e determinou-se qual se ajusta melhor ao processo e à organização, selecionando as cartas de controlo mais adequadas. Nesta fase, pretende-se a monitorização do processo de forma a aferir a estabilidade e a capacidade do mesmo em produzir artigos que cumpram as características determinadas pelo cliente. Paralelamente, quer-se que este estudo permita identificar causas de variação especiais e que a deliberação das ações de melhoria de processos seja baseada numa avaliação estatística sustentada.

Por último, a promoção de uma cultura de melhoria contínua e de controlo de processo nas equipas visou ampliar o conhecimento da organização no processo de fabricação de móveis e elevar a competência dos colaboradores.

1.3. IKEA INDUSTRY PORTUGAL, SA.

Em 1943, Ingvar Kamprad, oriundo de Elmtaryd em Agunnaryd na Suécia, criou a empresa IKEA. Na sua visão, a marca IKEA tem como missão “*oferecer uma ampla gama de produtos para a casa, funcionais e com design, a preços baixos, que a maioria das pessoas os possa comprar*” e, conseqüentemente, “*criar um melhor dia a dia para a maioria das pessoas*”.

Para que tal fosse possível, devido ao crescimento da empresa e a falta de capacidade de resposta aos pedidos de cliente, o grupo IKEA decidiu, em 1991, fundar a Swedwood Group. O seu principal objetivo era garantir a capacidade de produção de mobiliário de madeira exclusiva para o grupo IKEA. Já em 2013, criou-se o novo grupo, IKEA Industry Group, através da união de três grupos – Sweedwood, Swedspan e IKEA Industry Investment & Development

A IKEA Industry Group foi desenvolvida com o objetivo de otimizar as operações industriais, gerar mais eficiência e oportunidade de crescimento, suportando continuamente novas formas de desenvolver mobiliário com qualidade e a baixo custo de forma cooperante dentro do grupo. Atualmente, a IKEA Industry é o maior produtor mundial de mobiliário de madeira e derivados e é uma parte integrante da cadeia de valor IKEA. Tem 40 unidades de produção em 8 países com cerca de 17 500 colaboradores, produz mais de 100 milhões de peças de mobiliário por ano para os clientes IKEA e reestrutura-se em 4 divisões:

- Divisão *Flatline*
- Divisão *Solid Wood*
- Divisão *Boards*
- Divisão *Purchase*

A figura 1.1 apresenta a localização das várias divisões do grupo IKEA.

A IKEA Industry Portugal, SA. iniciou o seu projeto de construção em Penamaior, Paços de Ferreira, em abril de 2007. Só a 20 de maio do ano seguinte foi inaugurada, ainda com a designação de Swedwood Portugal. Aqui, produzem-se móveis e componentes de madeira, essencialmente mobiliário de quarto, cozinha, escritório e sala. A IKEA Industry Portugal, SA., pertencente à divisão Flatline, fornece lojas e centros de distribuição IKEA em 21 países em quatro continentes e produz mais de 15 milhões de peças de mobiliário por ano, 94% das quais se destinam à exportação.

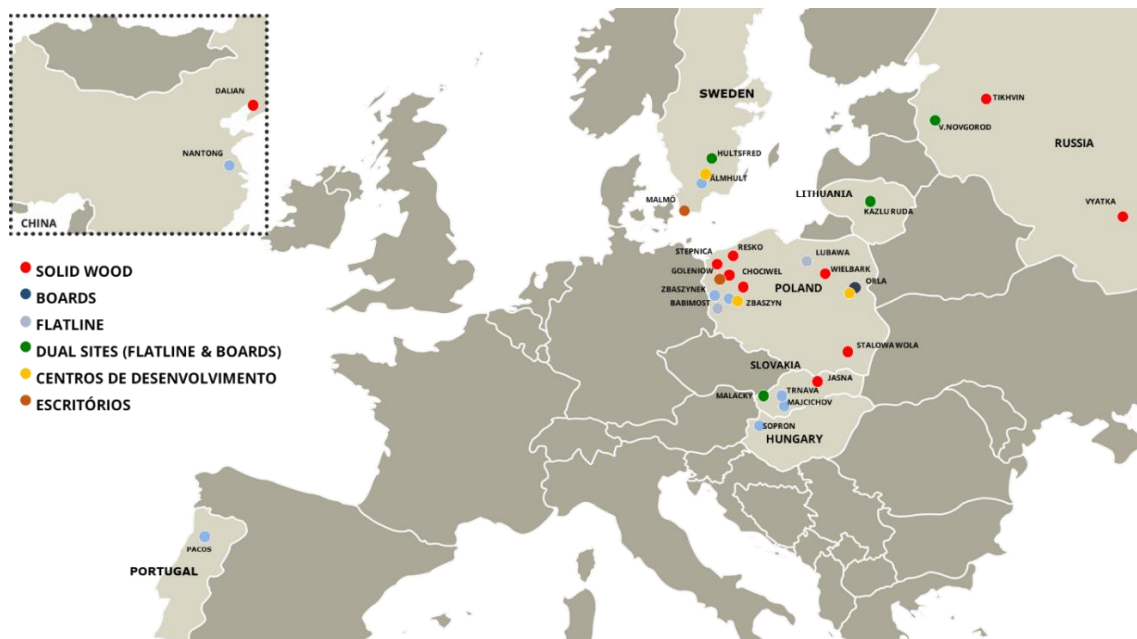


Figura 1.1 Localização das várias divisões do grupo IKEA.

Atualmente, é uma das cinco maiores unidades de produção IKEA Industry, integrando duas fábricas – BOF (*Board-on-Frame*) e PFF (*Pigment Furniture Factory*) – com mais de 1500 trabalhadores. A área total é de 470.000 m², sendo que 194.000 m² são área industrial, incluindo cerca de 70.000m² de painéis solares para consumo próprio, conforme demonstrado na figura 1.2.



Figura 1.2 Instalações da IKEA Industry Portugal, SA.

A estrutura organizacional da empresa divide-se, essencialmente, em seis direções/departamentos diferentes. Tratando-se de uma empresa com diversos departamentos e funções optou-se por apresentar o organigrama da figura 1.3 com a estrutura geral da empresa, dando especial ênfase ao Departamento Técnico e de Gestão de Controlo de Processo e Estudos Industriais no qual este trabalho será desenvolvido.

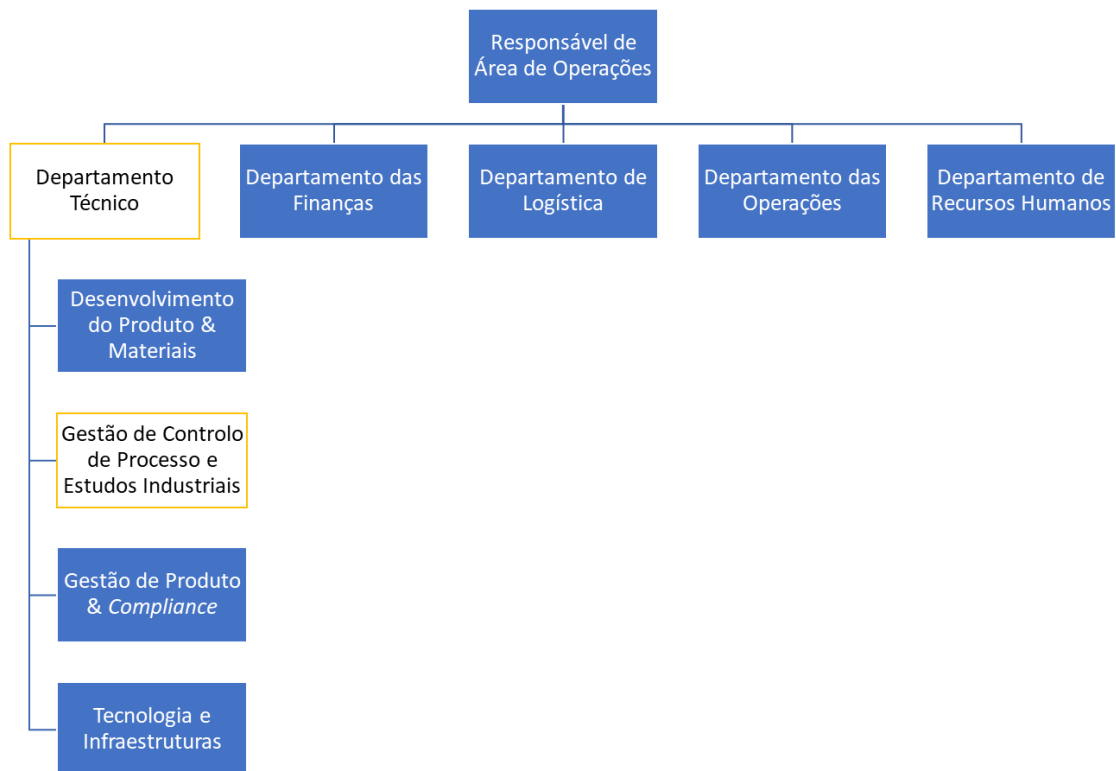


Figura 1.3 Organigrama da IKEA Industry Portugal, SA.

1.3.1. SISTEMA DE GESTÃO INTEGRADO

O grupo IKEA tem uma grande preocupação com o impacto que o negócio tem na sociedade e no ambiente e, desta forma, é também uma missão da IKEA Industry Portugal, SA. ser líder pelo exemplo, assegurando que os produtos e atividades cumpram todas as exigências de conformidade, requisitos legais e de cliente; tendo como preocupação o impacto ambiental, atuando na proteção do ambiente pelo uso eficiente de recursos, pela seleção de matérias-primas

e processos adequados e ainda pela adoção de medidas de prevenção de risco para a saúde e segurança dos colaboradores.

Por isso, a empresa possui um sistema de gestão integrado implementado nas instalações da fábrica no que diz respeito à qualidade, ambiente, saúde e segurança no trabalho, energia e FSC, sendo assegurado, regularmente, o cumprimento das políticas adotadas regularmente.

1.3.2. PROCESSOS E TECNOLOGIAS

A IKEA Industry Portugal, SA. conta com uma variedade muito grande de tecnologias que permitem a produção de diversos artigos diferentes. Então, podem salientar-se seis categorias distintas:

1. *Cutting*: área destinada ao corte de matéria prima, nomeadamente, placas de madeira de grandes dimensões nos tamanhos adequados para as etapas seguintes.
2. *Geometry*: compreende diversas áreas de produção cada uma com objetivos diferentes
 - *Frame assembly*: área na qual se criam estruturas em forma de “caixilho”;
 - *BOS*: esta área será descrita pormenorizadamente no capítulo 1.3.3.
 - *Edgeband*: setor no qual ocorre a colocação de orla nas peças;
 - *Drilling & Grooving*: área cujo principal objetivo é fazer a furação e as ranhuras, de acordo com os desenhos e requisitos de cliente.
3. *Surface*: prende-se com o tipo de acabamento que as peças e os artigos requerem
 - *Foil Wrapping*: o acabamento é dado através da colagem de uma folha muito fina no substrato de madeira;
 - *Lacquer&Print*: consiste na pintura dos semi-produtos, recorrendo a diversas tecnologias como: *UV roller*, *Spray*, entre outras.
4. *Assembly*: linha de montagem de artigos finais para cliente (por exemplo, portas)
5. *Packing*: compreende o processo de embalagem em caixas de todas as peças necessárias para a montagem do artigo final por parte do cliente.

Relacionando algumas das etapas anteriores de forma específica e sequencial, é possível produzir diversas gamas de artigos, nomeadamente, *BESTA*, *BODBYN*, *FORBATTRA*, *HJALPA*, *KALLAX*, *MICKE*, *PLATSA* e *VEDDINGE*, apresentadas na figura 1.4.



Figura 1.4 Representação de algumas famílias de produtos produzidos na IKEA Industry Portugal, SA.

Para além destes artigos, são também produzidas outras gamas, as quais não estão aqui representadas.

1.3.3. ÁREA BOARD-ON-STYLES

A área de produção *Board-on-styles*, comumente denominada de BOS, tem como principal objetivo a criação de um painel compacto constituído por três matérias primas principais, conforme demonstrado na Figura 1.5.

- Placa de *HDF* no topo e na base do elemento e no qual será aplicado o acabamento final da peça, neste caso específico, a aplicação de *paper foil*;

- Ripas de *Particleboard* nas extremidades longitudinais do elemento;
- *Honeycomb paper*, também conhecido por favo de papel, preenchendo o espaço vazio entres as ripas.

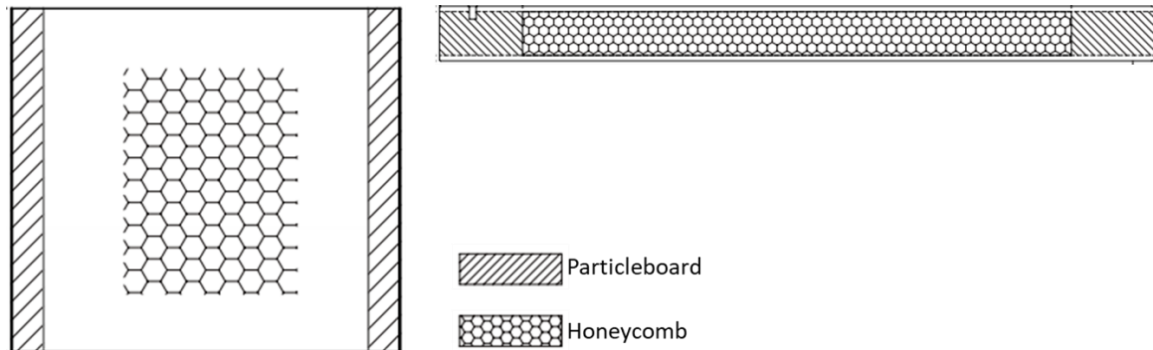


Figura 1.5 Ilustração de um painel em construção BOS.

Pretende-se com esta estrutura que o elemento seja leve, mas mecanicamente robusto de forma a não comprometer a segurança do cliente aquando do uso dos artigos. Por isso, o *honeycomb core* com estrutura hexagonal tem especial relevo já que confere elevada resistência mecânica e resistência à compressão.

Para a produção deste tipo de elemento, a área BOS dispõe de duas linhas de produção, uma linha com a máquina BIELE e outra com equipamento da LAMEK, a operar em sistema de três turnos e no qual podem ser identificadas as seguintes etapas principais:

- ETAPA 1: alimentação das placas de HDF previamente cortadas nas dimensões desejadas;
- ETAPA 2: aplicação de cola PVAc na placa de HDF;
- ETAPA 3: aplicação de cola *hotmelt* na placa de HDF;
- ETAPA 4: colagem das ripas de *particleboard* no painel de HDF;
- ETAPA 5: colocação de *honeycomb core* expandido;
- ETAPA 6: etapa paralela e que corresponde à etapa 1 e 2 associadas a uma segunda placa de HDF;

- ETAPA 7: montagem final do painel por colagem da placa da etapa 6 com o componente da etapa 5;
- ETAPA 8: prensagem do painel.

Dado o elevado grau de exigência a nível de qualidade, o grupo IKEA definiu alguns processos como críticos na produção de mobiliário. Por isso, criou especificações (ISQS – *IKEA Supplier Quality Standard*), regularmente denominadas de processos especiais, e nas quais estão definidas propriedades que devem ser controladas e monitorizadas durante o processo produtivo. No caso da construção BOS, o foco permanece no *honeycomb paper*, em especial a sua espessura e humidade, assim como no processo de aplicação de cola PVAc e *hotmelt*, de tal forma que a IKEA Industry Portugal, SA. criou documentos de apoio ao operador, relativamente à forma como devem ser efetuados os controlos, bem como a sua frequência.

No decorrer deste trabalho, deu-se importância à humidade do favo de papel por ser uma característica com impacto notório a nível de qualidade final dos elementos produzidos, já que variações na humidade do papel podem estar na origem dos empenos das peças ou ainda na baixa resistência à compressão.

1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho encontra-se dividido em quatro capítulos.

No primeiro, é feita uma introdução ao projeto desenvolvido, nomeadamente, o seu enquadramento, as motivações para a sua realização e ainda os objetivos traçados. Além disso, é feita uma apresentação e caracterização da empresa na qual o mesmo foi aplicado, com especial foco na sua história, estrutura organizacional e processo produtivo.

No segundo, são abordados diversos conteúdos teóricos e métodos que serviram de base para a implementação do controlo estatístico do processo na linha de produção BOS. Inicialmente, é feita uma breve descrição da evolução do conceito de Qualidade ao longo dos anos, seguida de uma introdução ao Controlo Estatístico de Processos. Posteriormente, é apresentada uma descrição das cartas de controlo, dos procedimentos para a sua construção e dos tipos de cartas de controlo existentes.

No terceiro capítulo, é descrito todo o processo desenvolvido na implementação das cartas de controlo desde a escolha da característica a estudar, às metodologias adotadas, à análise dos resultados e, por fim, à discussão dos mesmos.

No último, são apresentadas todas as conclusões do estudo efetuado e ainda algumas recomendações para trabalhos futuros.

2. CONTROLO ESTATÍSTICO DO PROCESSO

O presente capítulo visa a exposição dos fundamentos teóricos que permitem a implementação de metodologias e ferramentas na área do Controlo Estatístico do Processo na área BOS da empresa IKEA Industry Portugal, SA.

Primeiramente, são apresentados conceitos da Qualidade e a forma como estes se têm vindo a desenvolver e conquistado cada vez mais relevo num contexto industrial, tornando as empresas mais capazes e competitivas.

Seguidamente, abordam-se diversas ferramentas que servem de base para o Controlo Estatístico de Processos, dando-se especial ênfase às cartas de controlo tradicionais, também denominadas de cartas de controlo de Shewhart.

2.1. QUALIDADE E A SUA EVOLUÇÃO

A Qualidade de produtos e serviços tem um impacto enorme na decisão de compra, ou não, de determinado produto ou serviço, pelo que esta área tem cada vez mais destaque na sociedade atual e nas indústrias, uma vez que é um dos principais fatores de sucesso de um negócio. De qualquer modo, esta era já uma temática predominante nas civilizações mais antigas, já que é conhecida desde cedo a preocupação na seleção dos materiais e dimensionamento mais adequados para as diversas aplicações: vestuário, construção e utensílios, entre outros.^[1]

No início do século dezoito, deu-se a Revolução Industrial caracterizada pela quase extinção de unidades artesanais que deram lugar à produção industrializada dos produtos. Com a crescente progressão social, a produção em massa dos produtos permite que estes sejam colocados no mercado a preços relativamente mais baratos e de forma mais rápida. Esta revolução também deu início ao conceito de trabalho qualificado, isto é, um indivíduo deixa de ser responsável pela manufatura total de um produto, tornando-se especialista numa determinada fase de produção. No decorrer desta fase, os produtos denotam uma maior complexidade, pelo que é primordial que cumpram determinadas especificações, sendo que a qualidade dos mesmos era verificada no final do processo. No seguimento de uma redução e uma maior acessibilidade dos produtos, há um aumento da procura e, conseqüentemente, uma necessidade de dar resposta ao

mercado. Desta forma, há uma crescente preocupação no aumento da produtividade, sendo Henry Ford um pioneiro já que em 1913 implementou a primeira linha de montagem, aumentando a produtividade e reduzindo algumas barreiras decorrentes da produção em escala.

Em 1908, William Gosset desenvolve os princípios base do t-teste que servem de suporte para o desenvolvimento de métodos experimentais de comparação, nomeadamente os testes de hipóteses, análise de variância e de regressões. Estes são os primeiros passos no caminho do estudo da estatística no âmbito industrial.^[2]

No decurso da Primeira Guerra Mundial, são assinaladas falhas decorrentes da produção em massa e associadas à incapacidade de cumprir especificações técnicas, especialmente em equipamentos militares. Deste modo, a etapa de inspeção torna-se cada vez mais relevante, salientando-se a necessidade da realização de inspeção por amostragem em virtude da inspeção a 100%, pois a última apresenta elevados custos e dispêndio de recursos, bem como é um processo muito moroso. Foi então que Harold Dodge, em 1930, desenvolveu tabelas que relacionam a dimensão da amostra associada ao risco do consumidor e do produtor. Um ano mais tarde, Walter A. Shewart dá o seu contributo na diferenciação de causas de variação comuns e especiais com o desenvolvimento de uma ferramenta, as cartas de controlo, que hoje é um pilar no controlo estatístico de processos.

Posteriormente, ao longo da Segunda Guerra Mundial, e com a elevada procura de dispositivos bélicos, volta a existir uma grande aposta na inspeção dos produtos e há um crescendo no recurso ao controlo estatístico do processo e planos de aceitação de amostras.^[3]

Com o findar da Segunda Grande Guerra, e com as graves crises a nível mundial, as empresas sentiram necessidade de se “transformar”. Neste sentido, Edward Deming e Joseph Juran desenvolvem os princípios de controlo estatístico da qualidade que envolve não só a produção, mas também a gestão de topo numa filosofia que se baseia em diversos princípios, nomeadamente a introdução do conceito PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) que visa a melhoria contínua. Desta forma, contribuíram para um aumento do grau de qualidade dos produtos e processos, envolvendo todos os níveis da organização.

Foi também possível verificar um acréscimo no estudo de métodos estatísticos, nomeadamente a teoria da Metodologia da Superfície de Resposta (RSM), desenvolvida em 1951 por Box e Wilson. Esta pretende correlacionar variáveis explicativas com variáveis de resposta. Adicionalmente, Kaoru Ishikawa desenvolveu sete novas ferramentas básicas da Qualidade que são ainda hoje conhecidas como as ferramentas clássicas da qualidade.^[4]

Quase trinta anos mais tarde, em 1979, Philip Crosby introduz o conceito de zero defeitos com o lançamento do seu livro *Quality is Free*. No entanto, outros autores como Armand Feigenbaum advertem para os custos associados aos produtos sem qualidade.^[5]

Nos anos seguintes, proliferou no mundo o conceito de Gestão pela Qualidade Total (TQM) que se prende com a consciencialização de todos os níveis da organização para a importância da Qualidade e da necessidade de conceder produtos que vão de encontro às necessidades do cliente, isto é, produtos com elevado valor acrescentado. Desta forma, a qualidade passa a ser responsabilidade de toda a organização^[2].

Mais recentemente, aparecem novos conceitos, por exemplo, a metodologia Seis Sigma, com o objetivo de atualizar e melhorar o processo da gestão da qualidade, tornando as empresas mais competitivas, com elevados índices de produtividade, eficiência e qualidade. Esta metodologia tem vindo a ser largamente aplicada a nível industrial já que apresenta resultados muito positivos a nível financeiro e na redução da variabilidade das características da qualidade do produto, de modo que seja improvável a ocorrência de uma falha ou defeito.^[1]

Atualmente, com o desenrolar da evolução tecnológica, as empresas têm uma maior capacidade no que diz respeito ao tratamento de dados e informação. Além disso, têm sido projetados e comercializados diversos *softwares* que apoiam as empresas no controlo da qualidade e monitorização de processos em tempo real.

2.2. CONTROLO ESTATÍSTICO DE PROCESSOS, SPC

A nível industrial, a máxima “fazer bem à primeira” torna-se extremamente importante para que uma organização se torne mais eficiente e competitiva. Desta forma, o conceito de controlo estatístico do processo, introduzido inicialmente por Walter Shewhart em 1931 e que ainda hoje é adotado, tem despertado bastante interesse de diferentes autores e companhias, dado que esta ferramenta tem como principal foco a minimização de problemas relacionados com a variabilidade dos processos.

Um processo pode ser, genericamente, definido como um conjunto de atividades interrelacionadas que transforma uma “entrada”, por exemplo, uma matéria-prima, numa “saída”, nomeadamente de uma peça ou artigo. Pode então entender-se que o controlo de

processos se prende com um conjunto de atividades e ferramentas, com uma sequência lógica que permite identificar variáveis críticas associadas a esse processo, as suas falhas e as suas causas, calcular os riscos e mitigar os mesmos.

Por sua vez, o controlo estatístico de processos (SPC) define-se como um conjunto de ferramentas que têm como propósito a monitorização, redução e resolução de problemas inerentes à variabilidade de um processo produtivo de forma a melhorar a capacidade dos mesmos, bem como a qualidade dos produtos produzidos. Desta forma, recorre-se a dados estatísticos e informações que permitam a tomada de decisão fundamentada e adequada na implementação de medidas corretivas e de melhoria do processo, tornando-o mais estável, reproduzível e capaz de cumprir especificidades técnicas exigidas pelo cliente.^[6]

Podem definir-se sete ferramentas clássicas da qualidade, conforme a Figura 2.1, que contribuem para o sucesso do controlo estatístico de processos e que permitem almejar a melhoria contínua em termos de qualidade. Podemos associar cada uma destas ferramentas a uma “etapa” do estudo do processo e do seu controlo estatístico:^[7]

1. Fluxograma - Como é feito?

O fluxograma é uma representação gráfica que descreve sequencialmente os passos e etapas de um determinado processo;

2. Folhas de verificação – Com que frequência acontece?

As folhas de verificação são formulários em forma de lista de verificação ou *checklist* que permite padronizar e recolher dados em forma de atributos, por exemplo, defeitos, ou em forma de variáveis como é o caso de medidas mensuráveis. Esta ferramenta permite a recolha de dados reais de forma estruturada e simples para que, posteriormente, se possa proceder à análise dos mesmos.

3. Histograma - Como se assemelha a variação?

O histograma é a representação em forma de um gráfico de barras da distribuição de dados de um processo, isto é, da frequência com que determinado acontecimento ocorre.

Esta ferramenta permite uma visualização rápida e simples de um elevado número de pontos, permitindo relacionar características do produto e a sua frequência. No entanto, apresenta também algumas limitações como o facto de não permitir avaliar a estabilidade do processo bem como não conter uma referência temporal.

4. Diagrama de Pareto – Qual é o maior problema?

Representação gráfica na qual existe uma ordenação decrescente da magnitude dos problemas detetados num processo, sendo que a magnitude representa o parâmetro em estudo, por exemplo: frequência, percentagem, custo, tempo... A premissa desta ferramenta diz que, geralmente, 80% dos defeitos vêm de 20% das causas e, por isso, esta metodologia permite à organização identificar o problema onde deve focar-se primeiro, de forma a reduzir o aparecimento de um determinado efeito crítico no produto.

5. Diagrama de Causa-Efeito – Qual é a causa do problema?

Ferramenta que interrelaciona as causas que provocam um determinado efeito.

6. Diagrama de dispersão – Qual é a relação entre fatores?

Representação gráfica da tendência de um parâmetro;

7. Cartas de controlo – Que variáveis devem ser controladas e como?

Ferramenta de identificação da variabilidade de um processo.

O SPC tem como principal objetivo a análise de dados que permita uma deteção rápida da ocorrência de falhas ou das causas de variação do processo para que ocorra uma intervenção célere na investigação e correção das mesmas, tornando os processos mais robustos, controlados e homogéneos a nível de qualidade.

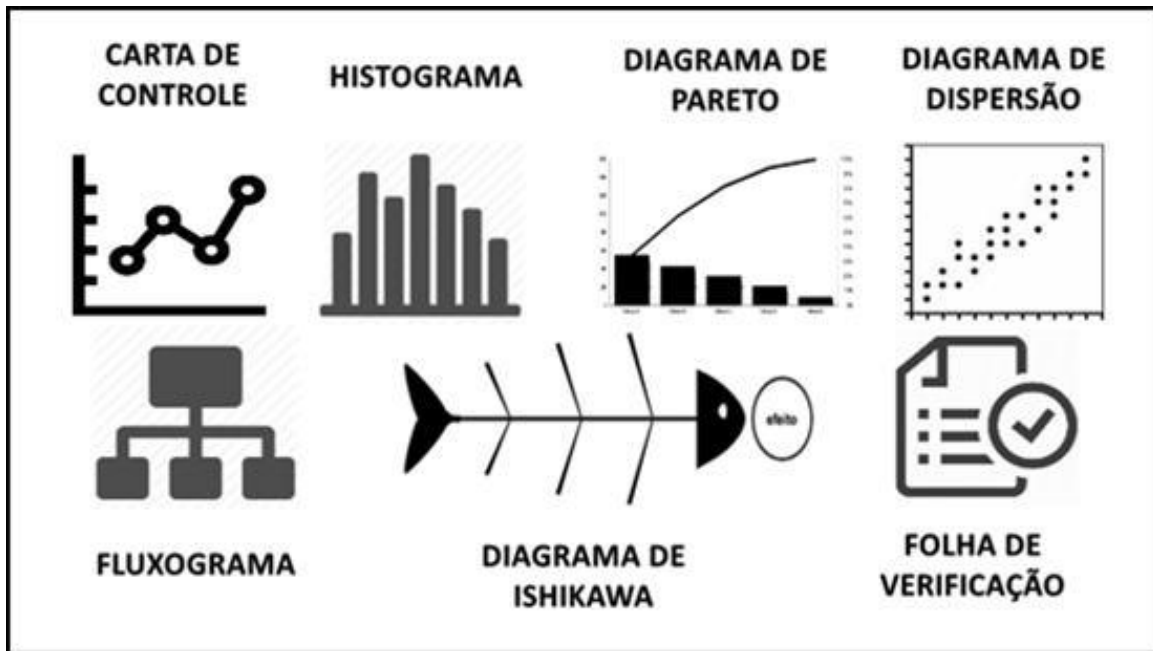


Figura 2.1. Ferramentas clássicas da Qualidade.

As principais vantagens da aplicação do SPC, a nível industrial, são:

- Não existem restrições para o problema a ser solucionado;
- Proporciona informação de diagnóstico – as decisões baseiam-se em factos concretos e não opiniões/sensações – acerca da capacidade do processo;
- É eficaz na prevenção de defeitos e de melhoria da produtividade;
- Há um envolvimento da organização no processo de melhoria contínua.

A variabilidade pode ter diversas origens, destacando-se a variabilidade das matérias-primas, da mão-de-obra, do meio ambiente, dos métodos e medições.^[8]

Assim sendo, as causas de variação dos processos podem ser descritas em:^[9]

- Causas comuns: classificam-se como causas naturais ou aleatórias de variação que são inerentes ao processo. Por se tratar de variações aleatórias, muitas vezes não é possível rastrear a sua origem, pelo que dificilmente são corrigidas pelo operador. Estas têm um efeito muito reduzido e, por isso, pode assumir-se que um processo está estável e estatisticamente controlado quando apresenta apenas este tipo de causas. Exemplos

destas variações são: alterações ambientais (da pressão, temperatura e/ou humidade atmosférica), vibração do equipamento, alterações físicas e/ou emocionais do operador.

- Causas especiais: classificam-se como causas ocasionais devido a uma mudança real do processo, originando variações de grande magnitude e que podem ser facilmente identificadas uma vez que apenas acontecem em circunstâncias específicas, podendo, pois, ser detetadas e corrigidas pelo operador. Quando estas estão presentes, o processo considera-se instável e estatisticamente fora de controlo. Exemplos deste tipo de causas são: ajustes/calibrações desnecessárias no processo, variação da qualidade das matérias-primas, desgaste nos equipamentos e ferramentas e/ou erros de operação, nomeadamente operadores inexperientes.

A deteção e eliminação de causas especiais de variação é muitas vezes uma tarefa associada aos operadores de linhas que assumem um papel de extrema importância na correção e prevenção de recorrências e, assim, minimizam a quantidade de produtos não conformes e, conseqüentemente, reduzem os custos.^[1]

Os processos, regra geral, podem operar num estado de controlo por um período longo. Por outro lado, é provável que causas especiais de variação ocorram de forma esporádica, resultando numa mudança para um estado em que o processo estará fora de controlo e ocorrerá um acréscimo de produtos não conformes. Desta forma, é importante determinar a extensão da variabilidade quando o processo se encontra controlado de maneira que possam ser colocados sistemas de deteção de causas especiais. Além disso, um processo dito estatisticamente controlado não produz necessariamente produtos de qualidade, apenas significa que o processo é consistente, mas pode ser consistentemente bom ou consistentemente mau e, em alguns casos, pode não ser possível eliminar na totalidade a variabilidade dos processos, mas pode sempre reduzir-se.

A ferramenta que se mais se coadunam com o objetivo estabelecido são as cartas de controlo uma vez que possibilitam monitorizar os dados em tempo real e estimar a resposta do processo, nomeadamente a sua capacidade.^[8]

2.3. CARTAS DE CONTROLO

As cartas de controlo são uma representação gráfica de uma medida estatística por uma determinada ordem, seja ela temporal ou numérica da amostra, e que permite medir, identificar, controlar e reduzir a variação dos processos. Regra geral, as cartas de controlo são mais eficazes quando a variável estudada é a medida do processo correlacionada com a característica final do produto. As cartas de controlo permitem, de uma forma visual, perceber se o processo se encontra sob controlo estatístico, bem como se ocorrem padrões não aleatórios.^[9]

Deste modo, pode recorrer-se a esta ferramenta para detetar causas especiais, isto é, padrões anormais ou não aleatórios, que provocam variações anómalas nos processos para que, posteriormente, se possa atuar nessas causas, corrigindo-as e eliminando-as sempre que possível de maneira a reduzir a variabilidade, melhorar os processos e a sua capacidade. Neste contexto, as principais vantagens desta ferramenta são:^[10]

- Detetar e monitorizar a variação do processo ao longo do tempo;
- Assegurar processos controlados, prevenindo ocorrência de defeitos e necessidade de retrabalho;
- Distinguir causas especiais de causas comuns de variação, permitindo uma redução de ajustes no processo;
- Servir como ferramenta para controlo contínuo de um processo;
- Melhorar a produtividade e, muitas vezes, reduzir os custos (“fazer bem à primeira”);
- Permitir uma linguagem comum para discutir a *performance* de um processo;
- Providenciar informação sobre a estabilidade e capacidade do processo.

No entanto, também apresenta algumas limitações já que:

- Os dados devem ser recolhidos corretamente;
- A média e a amplitude/desvio padrão devem ser calculados corretamente;
- As cartas devem ser analisadas adequadamente, o que implica colaboradores bem treinados;
- As reações aos padrões exibidos nas cartas devem ser adequadas.

As cartas de controlo são compostas por três linhas, uma linha central e duas linhas relativas aos limites de controlo superior e inferior, sendo que estas são construídas com base na amostragem. Seja w uma estatística da amostra para uma determinada característica de interesse e que segue uma distribuição normal, pode calcular-se as linhas da seguinte forma:^[11]

$$LC = \mu_w \quad (\text{Equação 2.1})$$

$$LSC = \mu_w + 3\sigma_w \quad (\text{Equação 2.2})$$

$$LIC = \mu_w - 3\sigma_w \quad (\text{Equação 2.3})$$

Num processo sob controlo estatístico, a distribuição deve ser aleatória e estar compreendida entre o limite inferior de controlo e o limite superior de controlo, conforme demonstrado na Figura 2.2.

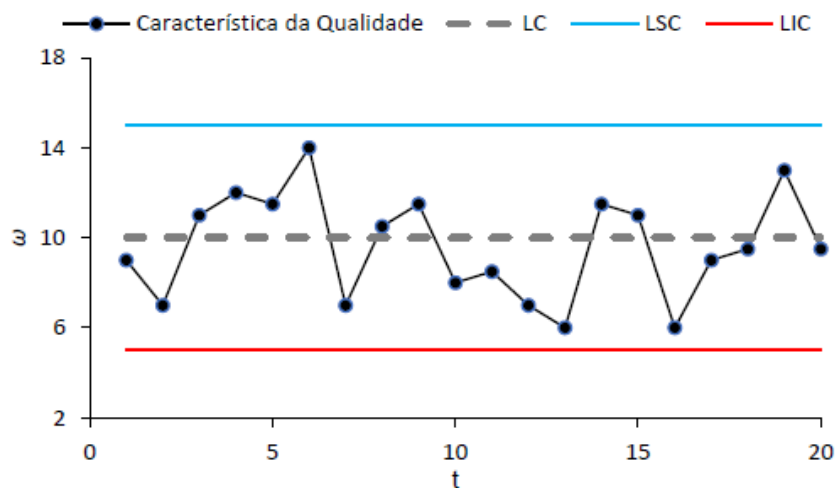


Figura 2.2 Representação de uma carta de controlo.

Para o cálculo dos limites de controlo superior e inferior, considera-se três desvios padrão da linha central já que existe a probabilidade de 99,73% de um ponto se situar dentro destes limites. Consequentemente, isso significa que existe 0,27% de probabilidade de um ponto se encontrar

fora dos limites, ou seja, de 370 em 370 pontos existirá um ponto fora dos limites de controlo correspondente a um falso alarme. Esta probabilidade é também conhecida como probabilidade α ou erro do tipo I (ou risco do produtor) e relaciona-se com a probabilidade de se considerar que um processo está fora quando na realidade está dentro de controlo. Pode também acontecer o contrário, isto é, a probabilidade de um processo estar fora de controlo e considerar-se que está sob controlo estatístico. Esta é denominada de erro tipo II ou probabilidade β (ou risco do consumidor).^[12]

Pode também avaliar-se o desempenho de uma carta de controlo através do número médio de pontos sob controlo estatístico representados até um ponto indicar uma situação fora de controlo. Também denominada de ARL (*Average Run Length*), é desejável que o $ARL_{em\ controlo}$ seja elevado de forma a minimizar os falsos alarmes. Por outro lado, espera-se que, caso o processo se encontre fora de controlo estatístico, o valor para $ARL_{fora\ de\ controlo}$ seja o menor valor possível para que se possa detetar uma alteração no parâmetro do processo imediatamente.

As equações seguintes podem ser utilizadas no cálculo destes valores:

$$ARL_{em\ controlo} = \frac{1}{\alpha} \quad \text{(Equação 2.4)}$$

$$ARL_{fora\ controlo} = \frac{1}{1-\beta} \quad \text{(Equação 2.5)}$$

Outros autores sugerem o uso de mais dois conjuntos de duas linhas de limites interiores. O primeiro conjunto, também denominado de limites de alerta, pode ser calculado com recurso à equação LSC e LIC, respetivamente, mas considerando dois desvios-padrão e não três. Estes limites de alerta permitem aumentar a sensibilidade da carta de controlo, sinalizando uma alteração do processo mais rapidamente, no entanto, pode também aumentar o risco de falsos alarmes.

O segundo conjunto considera-se apenas um desvio padrão, fazendo com que se possam identificar três zonas distintas na carta de controlo e genericamente identificadas por A, B e C,

de cada lado da linha central, de acordo com a Figura 2.3. Estas zonas serão importantes para a aplicação das regras associadas a tendências não aleatórias.

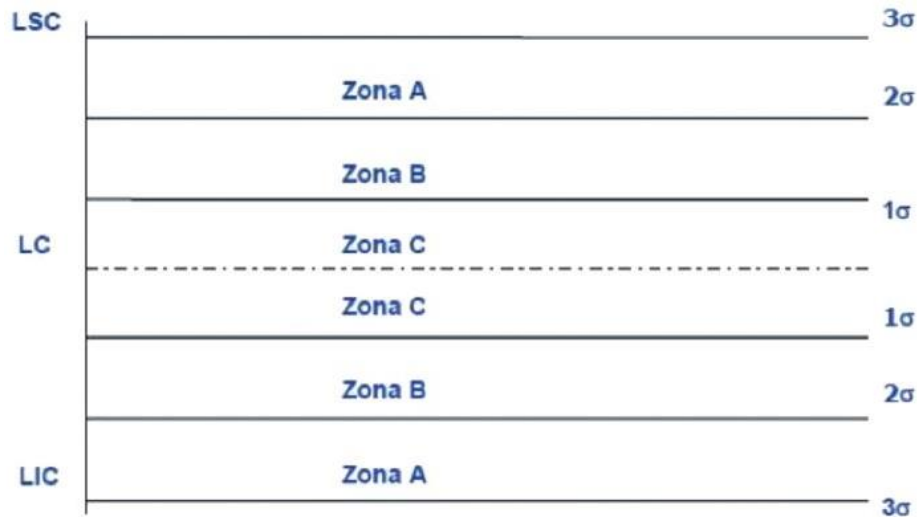


Figura 2.3 Representação da zona A, B e C de uma carta de controle.

2.4. TIPOS DE CARTAS DE CONTROLO

De acordo com a ISO 7870-2:2013, as cartas de controle podem ser divididas em dois tipos distintos, conforme a variável que está a ser estudada. Desta forma, admite-se duas categorias de cartas de controle: cartas de controle de variáveis e cartas de controle de atributos.^[13]

- Cartas de controle de variáveis:

A carta de controle de variáveis é uma representação gráfica na qual a medida traçada representa os dados mensuráveis numa escala contínua. Neste tipo de carta, só é possível controlar uma única característica, pelo que deve ser selecionada a variável com maior taxa de rejeição. Além disso, é necessário construir duas cartas de controle distintas, uma para controlar os parâmetros de dispersão e a outra para controlar os parâmetros de localização.

- I. Cartas X-barra: gráfico para avaliar o nível do processo, a tendência central ou a média dos subgrupos ao longo do tempo.

- II. Cartas R: usadas para avaliar a variação em termos de intervalos ou gama de valores dentro de subgrupos.
- III. Cartas S: usadas para avaliar a variação relativamente a desvios padrão de subgrupos.
- IV. Cartas I-MR: cartas de valores individuais e amplitude móvel. São semelhantes ao gráfico X-barra e R, mas em vez de mapear a média do grupo ao longo do tempo, mostra cada leitura individual e uma amplitude móvel.

Regra geral, estas cartas são usadas aos pares pelo que é possível obter um conjunto de informações diferentes, dependendo do que se pretende estudar. Na Tabela 2.1, são descritos os conjuntos de cartas de controlo mais utilizadas.

Tabela 2.1. Tipo de cartas de controlo de variáveis.

Parâmetro a estudar	Tipos de Cartas
Média e Amplitude	X-barra e R
Média e Desvio Padrão	X-barra e S
Média e Variância	X-barra e S^2
Valores individuais e Amplitudes móveis	I-MR

- Cartas de controlo de atributos

A carta de controlo de atributos é uma representação gráfica na qual a medida representada corresponde a dados mensuráveis (contáveis) ou categorizados e o desvio padrão depende apenas da dimensão da amostra e da média.

- I. Cartas C: utilizadas para quantificar o número de incidência e para o qual a possibilidade de ocorrência é fixa. Frequentemente, a incidência é expressa em quantidade de produtos não conformes enquanto a ocorrência fixa se refere ao tamanho da amostra, por exemplo, 3 peças não conformes por cada 1000 produtos.

- II. Cartas P: ferramenta para quantificar o número de unidades de uma determinada classificação por número total de unidades da amostra. Aplicada quando o tamanho da amostra é variável e pode ser expressa em termos de proporção ou percentagem.

- III. Cartas U: método para quantificar o número de incidências por unidade em que a oportunidade de ocorrência é variável. Frequentemente, a incidência é expressa em quantidade de produtos não conformes enquanto a ocorrência variável se relaciona com a dimensão variável dos subgrupos.

- IV. Cartas np: utilizadas para quantificar o número de unidades de uma determinada classificação e para o qual o tamanho da amostra é constante.

Tabela 2.2. Tipo de cartas de controlo de atributos.

Parâmetro a estudar	Tipos de Cartas
Proporção de unidades não conformes	p
Número de unidades não conformes	np
Número de defeitos	c
Número de defeitos por unidade	u

As cartas de controlo requerem uma série de etapas sequenciais e podem ser separadas em duas fases. Na primeira, pretende-se compreender a variação do processo ao longo do tempo com

recurso a um conjunto de dados históricos, sendo por isso um controlo em retrospectiva e no qual se calculam os limites de controlo experimentais. Já a segunda fase, corresponde à monitorização do processo propriamente dita, na qual a ocorrência de causas especiais de variação devem despoletar uma investigação das causas e, posteriormente, devem implementar-se medidas corretivas.^[14]

As etapas para construção das cartas de controlo na primeira fase são as seguintes:

1. Seleção da característica da qualidade;
2. Desenvolvimento do plano de qualidade, com o método e equipamento de medição;
3. Seleção do tipo de carta de controlo;
4. Definição da frequência e dimensão da amostragem;
5. Definição dos métodos de recolha de dados;
6. Determinação dos limites de controlo e da linha central;
7. Deteção da presença de causas especiais de variação para eliminá-las;
8. Evidência de processo sob controlo estatístico.

Pode ser necessário determinar os limites de controlo da linha central para as cartas revistas, após a eliminação das causas especiais, pois só depois de o processo estar estável é que se pode estudar a capacidade do mesmo. Além disso, esta fase é de extrema importância para estimar a média e a variância do processo.

A fase 2 compreende as seguintes etapas:

1. Representar graficamente a linha central e os limites de controlo definidos na fase 1;
2. Recolher amostra i e representar nas cartas de controlo;
3. Verificar ocorrência de variações especiais no processo e, caso existam, identificar a causa e implementar medidas corretivas;
4. Recolher a amostra $i + 1$ e representar no gráfico;
5. Proceder de acordo com o ponto 3, 4 e 5, sequencialmente.

2.4.1. CARTAS DE CONTROLO DE OBSERVAÇÕES INDIVIDUAIS E AMPLITUDES MÓVEIS

As cartas de controlo de observações individuais e amplitudes móveis são especialmente importantes quando as medições têm um custo elevado, quando os testes são de carácter destrutivo ou ainda se a organização estabelecer sistemas informatizados que realizem medições a todas as unidades. Neste caso, estamos perante a dimensão de amostra de uma unidade ($n=1$), pelo que não se avalia a estatística do processo associada à sua dispersão, mas sim da determinação de amplitudes móveis entre dois valores consecutivos.

A amplitude móvel é assim calculada pela seguinte expressão:

$$MR_i = |x_i - X_{i-1}| \quad (\text{Equação 2.6})$$

Por sua vez, para a carta de amplitudes móveis, os limites de controlo superior e inferior, bem como a linha central podem ser calculadas pelas equações a seguir apresentadas:

$$LSC_{MR} = D_4 \cdot \overline{MR} \quad (\text{Equação 2.7})$$

$$LC_{MR} = \overline{MR} = \frac{\sum_{j=1}^{m-1} MR_j}{m-1} \quad (\text{Equação 2.8})$$

$$LIC_{MR} = D_3 \cdot \overline{MR} \quad (\text{Equação 2.9})$$

No caso de cartas de controlo para valores individuais (X), a linha central e os limites de controlo podem ser calculados com recurso a:

$$LSC_X = \bar{X} + \frac{3 \cdot \overline{MR}}{d_2} \quad (\text{Equação 2.10})$$

$$LC_X = \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^m X_i}{m-1} \quad (\text{Equação 2.11})$$

$$LIC_X = \bar{X} - \frac{3\overline{MR}}{d_2} \quad (\text{Equação 2.12})$$

Para avaliação dos parâmetros do processo, após se verificar a estabilidade do mesmo, recorre-se às equações:

$$\hat{\mu} = \bar{X} \quad (\text{Equação 2.13})$$

$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (\text{Equação 2.14})$$

Na Fase 2, quando os parâmetros estiverem devidamente calculados, são realizadas novas cartas de controlo, com base nos resultados previamente obtidos. Assim sendo, para a carta de controlo de amplitudes móveis, a linha central e os limites de controlo podem ser determinados por:

$$LSC_{MR} = D_2 \cdot \sigma \quad (\text{Equação 2.15})$$

$$LC_{MR} = d_2 \cdot \sigma \quad (\text{Equação 2.16})$$

$$LIC_{MR} = D_1 \cdot \sigma \quad (\text{Equação 2.17})$$

Na elaboração de novas cartas de controlo para observações individuais, os limites de controlo e a linha central são definidos por:

$$LSC_X = \mu + 3\sigma \quad (\text{Equação 2.18})$$

$$LC_X = \mu \quad (\text{Equação 2.19})$$

$$LIC_X = \mu - 3\sigma \quad (\text{Equação 2.20})$$

Os valores de D1, D2, D3, D4 e d2 dependem da dimensão da amostra, neste caso para $n=2$, e podem ser consultados nas tabelas com as constantes para cartas tradicionais de variáveis no Anexo A.

2.5. VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE DO PROCESSO

Aquando da análise das cartas de controlo, é necessário avaliar todas as situações que indiquem que o processo está fora de controlo, isto é, pontos fora dos limites de controlo ou pontos que demonstram um padrão não aleatório ou tendência. Logo, foi criado um conjunto de regras para deteção de um comportamento sistemático que é indicação de causas especiais de variação e que indica que o processo não está sob controlo estatístico. De acordo com a ISO 7870-2:2013, as regras a ter em conta são as seguintes:^[13]

- Regra 1: um ou mais pontos fora dos limites de controlo (LSC e LIC);
- Regra 2: nove ou mais pontos consecutivos que se encontrem do mesmo lado na linha central (ou acima, ou abaixo);
- Regra 3: seis pontos consecutivos no sentido decrescente ou ascendente;
- Regra 4: catorze pontos consecutivos crescendo e decrescendo alternadamente;
- Regra 5: dois de três pontos consecutivos na zona A, do mesmo lado da linha central;
- Regra 6: quatro de cinco pontos consecutivos na zona B ou A do mesmo lado da linha central;
- Regra 7: quinze pontos consecutivos na zona C, acima e/ou abaixo da linha central;

- Regra 8: oito pontos consecutivos acima e abaixo da linha central, sem nenhum na zona C.

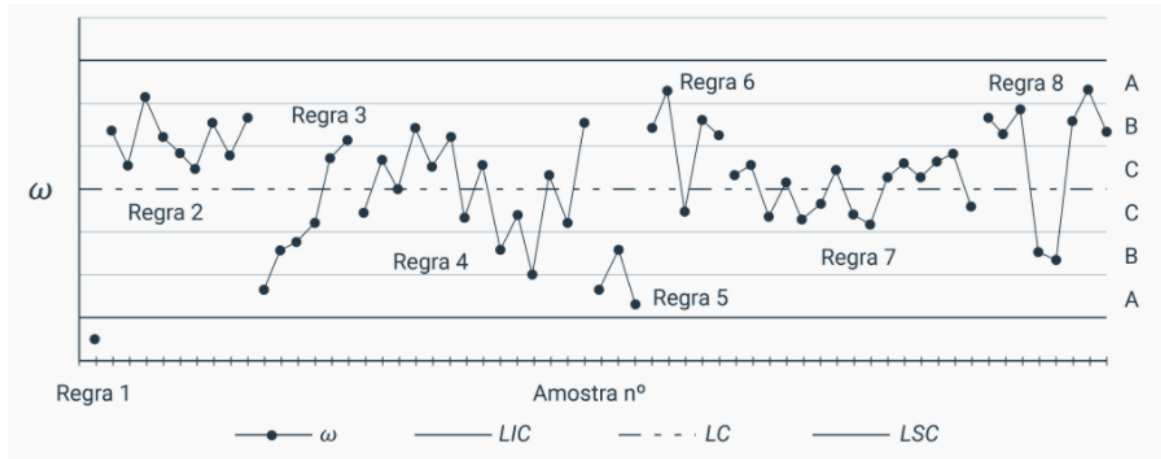


Figura 2.4. Esquema representativo de padrões não aleatórios nas cartas de controlo.

2.6. RECOLHA DE DADOS

A recolha de dados para o controlo estatístico do processo é uma etapa extremamente importante já que existe o risco de as cartas de controlo serem construídas sem demonstrarem a realidade do processo e, por isso, todas as conclusões estarão erradas. Desta forma, é fulcral que se defina a dimensão da amostra, n , no número de amostras, m , e na frequência de amostragem.^[12]

Shewhart defende que as cartas de controlo se sustentam na recolha de dados, de acordo com os subgrupos racionais (amostras). Deve ter-se em conta que se pretende que as amostras sejam representativas de um processo, maximizando a probabilidade de detetar a variação entre subgrupos, mas minimizando a probabilidade de se detetar variação dentro de um subgrupo.

Adicionalmente, para que as cartas de controlo sejam corretas, os dados utilizados devem ser corroborados com base em alguns requisitos:

- Os dados devem ser aleatórios;
- Os dados devem ser independentes;

- Os dados devem seguir uma distribuição aproximadamente normal.

A normalidade dos dados pode ser avaliada com recurso ao teste K-S, Kolmogorov-Smirnov, possibilitando a verificação do ajustamento da Função de Distribuição Amostral, $S(x)$, para uma determinada variável aleatória. Isto significa que, para determinado nível de significância alfa, se os dados amostrais seguirem uma distribuição aproximadamente normal, poderá admitir-se que a população da qual foram retiradas as amostras também segue uma distribuição normal.

Com recurso a esta metodologia, pode especificar-se a hipótese nula, H_0 , e a hipótese alternativa, H_1 , pelo que, ao rejeitar-se a hipótese nula, conclui-se que a distribuição em estudo não é normal.

2.7. CAPACIDADE DE UM PROCESSO

As cartas de controlo não permitem verificar se os limites de especificação estão a ser cumpridos já que um processo sob controlo estatístico não é sinónimo de um processo capaz de obedecer a uma especificação de cliente. De qualquer modo, é necessário que o processo se encontre sob controlo estatístico, ou seja, o processo apenas apresenta causas comuns de variação, para se poder efetuar a avaliação da capacidade do processo e averiguar se este é capaz de cumprir as especificações necessárias, ou não.^[15]

A capacidade do processo prende-se com a comparação da distribuição de determinada característica do produto com as suas especificações previamente definidas e é fulcral em qualquer plano de melhoria já que permite:

- Reduzir a variação do processo;
- Prever a capacidade do processo em produzir de acordo com o especificado;
- Facilitar o desenvolvimento de novos produtos ou alterações de um processo;
- Optar mediante fornecedores e/ou outros aspetos relevantes para o processo.

O índice da capacidade do processo, C_p , prende-se com a relação entre a dispersão do processo e os limites de especificação. Assim sendo, o C_p é indicativo do desempenho do processo em relação à especificação de cliente.

Isto significa que, quanto maior o valor do índice C_p , mais capaz é o processo e, conseqüentemente, melhor é o processo. De salientar que a dispersão pode não estar centrada uma vez que este valor não tem em consideração onde está a variação (local ou centro), apenas expressa a relação entre a dimensão da variação/dispersão e da largura da tolerância.

Desta forma, no caso de uma distribuição normal, o índice C_p pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$C_p = \frac{LSE-LIE}{6\sigma} \quad (\text{Equação 2.21})$$

Não importa ter um C_p elevado se o processo está demasiado desviado do centro em relação ao meio da amplitude da tolerância, por isso, adotaram-se outros índices como o C_{pk} .

O Índice de Capacidade nominal do Processo, C_{pk} , é o ajustamento do C_p para o efeito da distribuição não centrada e revela a proximidade da distribuição em relação ao limite de especificação mais próximo, podendo-se avaliar se o processo está descentrado para o limite superior ou inferior. Considerando as seguintes equações para cálculo do C_{pk} :

$$C_{pkS} = \frac{LSE-\bar{X}}{3\sigma} \quad (\text{Equação 2.22})$$

$$C_{pkI} = \frac{\bar{X}-LIE}{3\sigma} \quad (\text{Equação 2.23})$$

$$C_{pk} = \text{Min}(C_{pkS}, C_{pkI}) \quad (\text{Equação 2.24})$$

Sendo que:

- CpI é o índice que descreve a capacidade do processo em relação ao limite inferior de controlo;
- CpS é o índice que descreve a capacidade do processo em relação ao limite superior de controlo.

Assim sendo, o índice Cpk elevado significa que o processo é bom com uma pequena dispersão em relação à largura da tolerância e também está centrado dentro dessa largura.

Genericamente, o processo é considerado capaz quando o valor de Cpk é igual ou superior a 1,33, tendo sempre em consideração que este valor deve ser o mais elevado possível, para uma menor variabilidade do processo.

Se o valor de Cp for igual ao valor de Cpk então estamos perante um processo capaz de produzir exatamente no centro da amplitude da tolerância. Por sua vez, um processo descentrado apresenta um valor de Cpk inferior ao valor de Cp, sendo que, por isso, a capacidade do processo, neste caso, seja obtida pelo valor de Cpk.

Não é possível estabelecer uma relação matemática ou estatística entre os limites de controlo e os limites de especificação. Os primeiros são definidos em função da variabilidade do processo e medido pelo desvio padrão. Os segundos são, regra geral, estabelecidos pelo cliente. Assim sendo, a melhor forma de analisar se um processo é adequado às necessidades pré-definidas é pelo estudo da capacidade do processo. A capacidade do processo permite avaliar se determinado resultado (*output*) do processo cumpre os limites especificados.

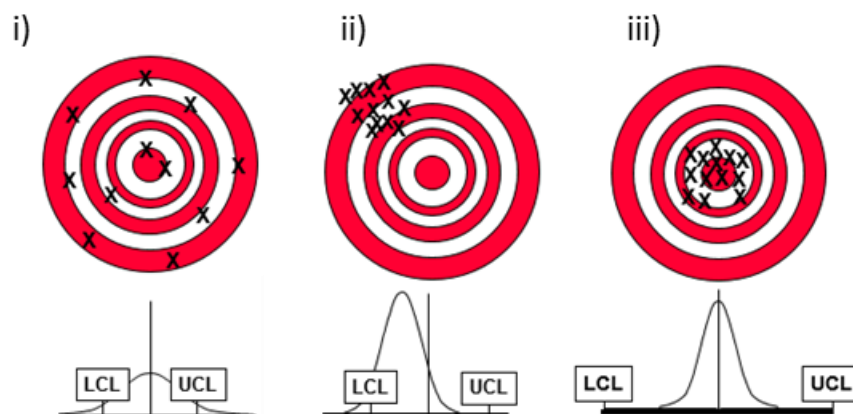


Figura 2.5 Figura esquemática da capacidade do processo.

Pela análise da Figura 2.5, pode concluir-se que:

- i. Existe uma variação muito elevada no processo. Considera-se que o processo não é capaz e é necessário ações de melhoria para redução da dispersão;
- ii. O processo tem menor variação, no entanto, encontra-se descentrado;
- iii. O processo é capaz e centrado, sendo este o principal objetivo.

3. IMPLEMENTAÇÃO DO CONTROLO ESTATÍSTICO DO PROCESSO NA LINHA *BOARD-ON-FRAME*, BOS

Neste capítulo, apresentam-se todas as fases e atividades realizadas durante a implementação do Controlo Estatístico do Processo na área BOS, associada à característica da humidade do *honeycomb paper*, recorrendo aos fundamentos teóricos apresentados no capítulo 2.

Com este projeto, pretende-se avaliar estatisticamente o processo, identificando causas de variação especiais e, conseqüentemente, atuar com medidas corretivas, para que o processo seja estável e capaz.

3.1. COMUNICAÇÃO E FORMAÇÃO

A implementação do controlo estatístico do processo nas linhas de produção tem como principal objetivo a monitorização do processo em tempo real de tal forma que sejam detetadas e corrigidas todas as causas de variação especiais, permitindo a produção de produtos de qualidade e de acordo com as exigências do cliente. Para que seja um trabalho bem-sucedido, é fulcral informar as equipas de produção sobre os objetivos do controlo estatístico do processo e as rotinas que serão implementadas.

Numa fase inicial, é necessário estudar as características/variáveis críticas para o processo, tendo por base os requisitos de cliente. No caso do cliente IKEA, os requisitos podem ser descritos de duas formas:

- Especificações: documentos redigidos pelo cliente que enunciam os requisitos físicos, mecânicos e/ou químicos para uma determinada matéria-prima;
- Processos especiais: documentos elaborados pelo cliente que indicam, para determinado processo, as suas variáveis críticas, a frequência e o processo de monitorização das mesmas.

Após identificação da variável a estudar, é necessário estabelecer os recursos necessários para implementação do controlo estatístico do processo. Para tal, reuniu-se uma equipa multidisciplinar que inclui diversas áreas como:

- Qualidade;
- Técnicos de Melhoria;
- Produção;
- Técnicos de Tecnologias e Infraestruturas;
- Informática e Tecnologia.

O objetivo desta equipa foi criar as condições necessárias e facilitadoras no decorrer da implementação deste trabalho, aliando o conhecimento adquirido sobre o processo e os materiais, em consonância com o conhecimento em controlo estatístico do processo. Assim sendo, o grupo foi responsável por diversas etapas e tomadas de decisão, tais como:

1. Determinar o sistema de medida da variável;
2. Definir o ponto de controlo;
3. Definir a dimensão e a frequência de amostragem;
4. Definir o tipo de carta de controlo a usar;
5. Estudar o ponto de partida (*baseline*);
6. Definir as regras de reação e ajuste de processo;
7. Auxiliar na implementação de ações que eliminem as variações especiais.

Com o decorrer deste trabalho, pretende-se que a organização tenha desenvolvido um maior e melhor conhecimento no que diz respeito à melhoria contínua e o controlo de processo, com a criação de algumas rotinas, permitindo uma maior estabilidade do processo e, conseqüentemente, produzindo artigos de maior qualidade. Para facilitar a comunicação, foi desenvolvido um diagrama que permite mapear as características principais do processo de implementação e que contempla seis indicadores principais: entradas, saídas, recursos, *skills*, resultados e métodos, conforme demonstrado na Figura 3.1.

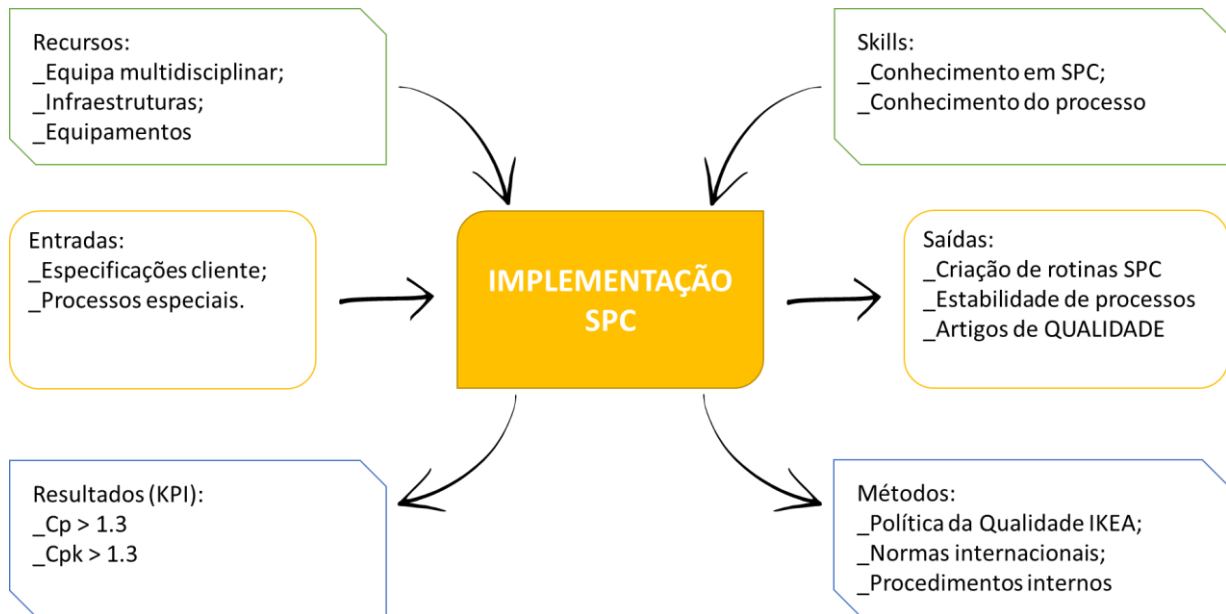


Figura 3.1 Figura representativa do mapeamento do processo de implementação do SPC.

Com o objetivo de treinar as equipas no que diz respeito ao controlo estatístico de processos, com especial foco nas cartas de controlo, foram realizadas três sessões de formação, nas quais foi utilizada uma apresentação *PowerPoint*, abordando diversos tópicos relevantes, tais como: distinção entre causas de variação comuns e causas de variação especiais, descrição das cartas de controlo (objetivos e tipos de cartas de controlo existentes), diferenciação entre limites de controlo e limites de especificação, entre outros. Após a apresentação destas temáticas, foi aberto um momento de clarificação de dúvidas e exposição de alguns pontos de vista por parte das equipas de produção. Esta atividade permitiu sensibilizar as equipas para a importância de uma avaliação crítica das cartas de controlo, promovendo a cultura de melhoria contínua e de controlo estatístico de processos.

3.2. CARACTERÍSTICA DA QUALIDADE ESTUDADA

Uma vez avaliado o processo de fabrico, definiu-se que a humidade do *honeycomb paper* era a característica crítica da Qualidade que se pretendia controlar já que esta característica está associada a problemas de qualidade dos painéis, nomeadamente, empeno ou reduzida

resistência à compressão. Adicionalmente, é ainda um fator crítico em etapas do processo seguintes, particularmente na aplicação de *foil*.

Na ausência de dados de cliente no que diz respeito a especificidades técnicas, isto é, de limites de especificação, procedeu-se a um estudo em laboratório interno, estabeleceu-se contacto com os fornecedores de papel e decidiu-se que a humidade do papel deve estar compreendida entre 2% e 5%, para que os resultados da compressão do mesmo sejam satisfatórios. Na Figura 3.2, é possível perceber o efeito do valor de compressão em relação à humidade do papel, concluindo-se que à medida que a percentagem de humidade aumenta, a resistência à compressão diminui.

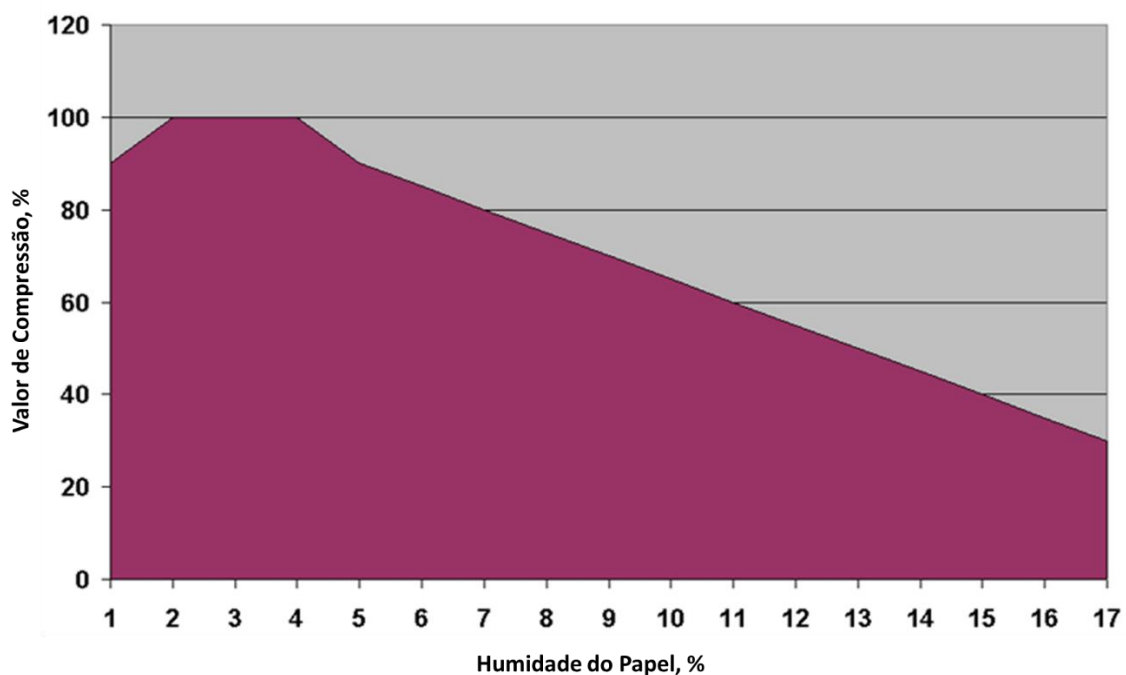


Figura 3.2. Representação gráfica do efeito da humidade do papel em relação à sua compressão.

Na Tabela 3.1., são evidenciados os resultados do estudo realizado e que correlaciona a percentagem de humidade do papel com os valores obtidos de compressão em percentagem e em KPa.

Assim sendo, torna-se fulcral estabelecer um plano de recolha de dados adequado e, para tal, a organização investiu num equipamento de medição de humidade por tecnologia infravermelho,

conforme demonstrado na Figura 3.3 e que se baseia no sensor de humidade (à esquerda) e num *display* do valor lido (à direita).

Tabela 3.1. Tabela com os resultados obtidos para a compressão do papel em relação à sua percentagem de humidade.

Humidade (%)	Compressão (%)	Compressão (KPa)
2	100%	170
4	100%	170
5	90%	153
6	85%	145
7	80%	136
8	75%	128
9	69%	117
10	64%	109



Figura 3.3. Fotografia ilustrativa do equipamento instalado na linha.

Este sensor foi instalado na linha de produção imediatamente antes da aplicação do *honeycomb* entre as ripas de *particleboard* e o *display*. Foi colocado no posto 3 de trabalho para que os

operadores possam verificar os resultados obtidos. Na Figura 3.4, representa-se um esquema da linha com indicação da localização destes componentes.

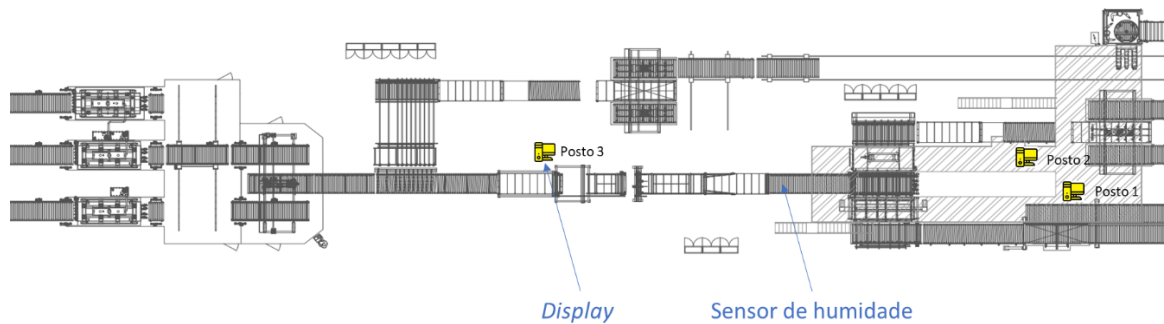


Figura 3.4. Esquema da colocação do equipamento de medida da humidade na linha.

O recurso a este tipo de equipamento permite obter um vasto número de medições, uma vez que opera de forma contínua, recolhendo dados a cada vinte segundos. O recurso a uma medição automática apresenta vantagens, nomeadamente na não necessidade de recolha física da amostra, bem como não implica envolvimento por parte do operador na obtenção de um resultado. Além disso, o equipamento apresenta especificações técnicas benéficas, tais como: gama de medição compreendida entre 0,1% e 95%, precisão de $\pm 0,1\%$ e repetibilidade de $\pm 0,2\%$, de acordo com a informação do produtor do equipamento.

Posteriormente, os dados recolhidos são armazenados numa base de dados, *Wonderware*, que comunica com dois sistemas distintos e nos quais é possível a visualização dos dados: o *Operator* e o *Egitron*. Ambos os *softwares* têm módulos específicos para controlo estatístico do processo, mas apenas o *Operator* foi usado ao longo deste projeto já que este sistema permite a visualização dos dados em *live*, isto é, o operador obtém informação sobre o processo à medida que este decorre, ao contrário do *software Egitron*, no qual apenas é possível visualizar informação anterior.

Desta forma, o processo de recolha de dados tem três etapas principais: leitura, armazenamento e visualização dos dados. Inicialmente, dá-se a leitura dos resultados, com recurso ao equipamento montado na linha e a importação desses dados (data e hora da leitura, resultado obtido...) para a base de dados *Wonderware*. Nesta etapa, é ainda definida a qualidade desta transferência, ou seja, a base de dados *Wonderware* indica se a importação dos dados ocorreu da forma esperada ou se aconteceu algum erro durante a transferência, por exemplo, falha na comunicação entre sistemas ou impossibilidade de obter os valores lidos. Posteriormente, os

dados são exportados para o *software Operator*. Este programa está disponível nos computadores de cada posto de trabalho na linha, o que permite a monitorização dos resultados por parte dos operadores. A figura 3.5 esquematiza o processo da recolha até à visualização dos dados.



Figura 3.5. Esquema representativo do processo dos dados.

3.3. CONTROLO ESTATÍSTICO DO PROCESSO

De acordo com os conceitos teóricos do capítulo 2, o procedimento inicial para a implementação do controlo estatístico do processo foi o seguinte:

Fase 1:

1. Construção das cartas de controlo para a característica da humidade do papel;
2. Análise do processo, de forma a avaliar se este se encontra sob controlo estatístico;
3. Verificação da normalidade dos dados e, caso não se verifique, proceder à sua transformação;
4. Cálculo dos parâmetros do processo;
5. Avaliação da capacidade do processo;
6. Definição de ações corretivas se o processo não for capaz de cumprir com o especificado;

3.3.1. IMPLEMENTAÇÃO DO CONTROLO ESTATÍSTICO DO PROCESSO

De forma a iniciar o plano de implementação do controlo estatístico do processo, foi necessário a seleção do tipo de carta de controlo mais adequada. Para o controlo da humidade do papel, optou-se por recorrer à carta de controlo de valores individuais e amplitudes móveis - I-MR – já que a humidade do papel é um dado variável que não conduz a amostras em subgrupos.

Para iniciar a etapa da construção das cartas de controlo de valores individuais e amplitudes móveis, procedeu-se à recolha de dados durante uma produção. Nesta secção, optou-se apenas por apresentar os resultados do semi-produto com papel de espessura de 12,4 mm, uma vez que este é o mais utilizado na produção de artigos. Assim sendo, foram recolhidos quarenta e cinco pontos representativos do processo, conforme demonstrado na Figura 3.6.

Ao analisar as cartas de controlo obtidas, conclui-se que existem dois pontos abaixo dos limites de controlo, pelo que o processo não se encontra sob controlo estatístico. Nesta fase inicial, deve assumir-se que o processo está controlado, pelo que têm de ser eliminados os pontos que se encontravam fora de controlo, dando origem às cartas de controlo corrigidas e apresentadas na Figura 3.7.

Uma vez que o procedimento é idêntico para todos os semi-produtos, as restantes cartas de controlo para os outros semi-produtos encontram-se no Anexo B.

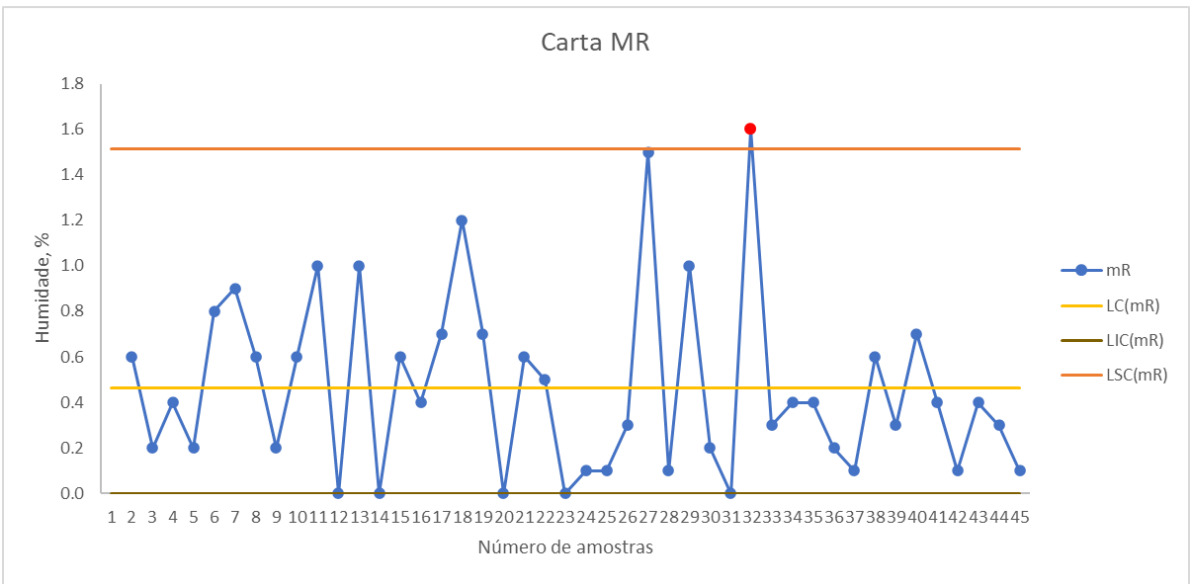
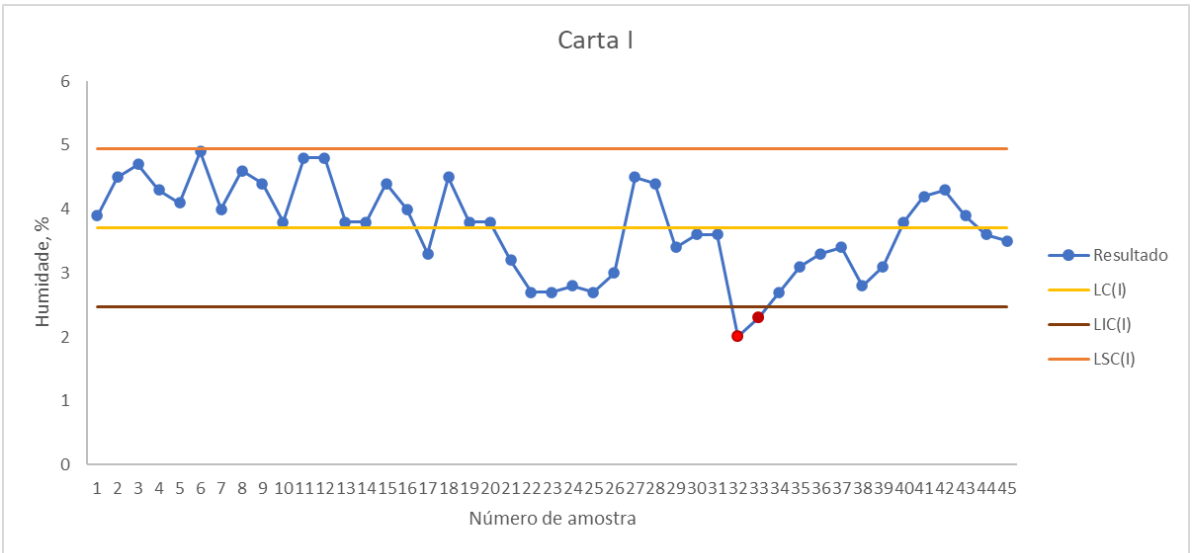


Figura 3.6. Cartas de Controlo I-MR para o semi-produto S024BTBSSH01.

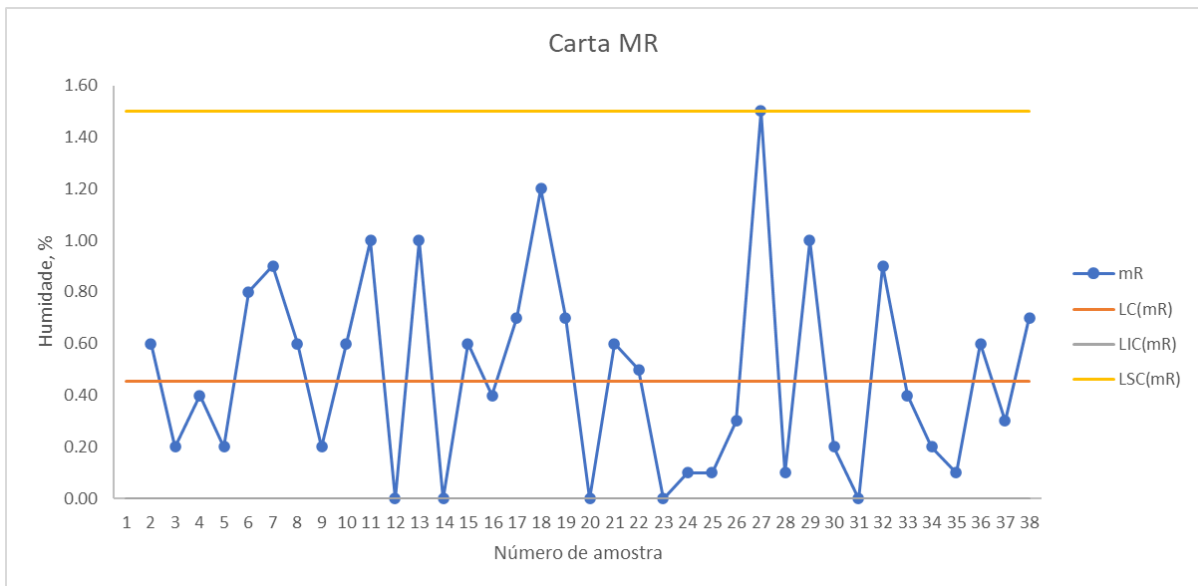
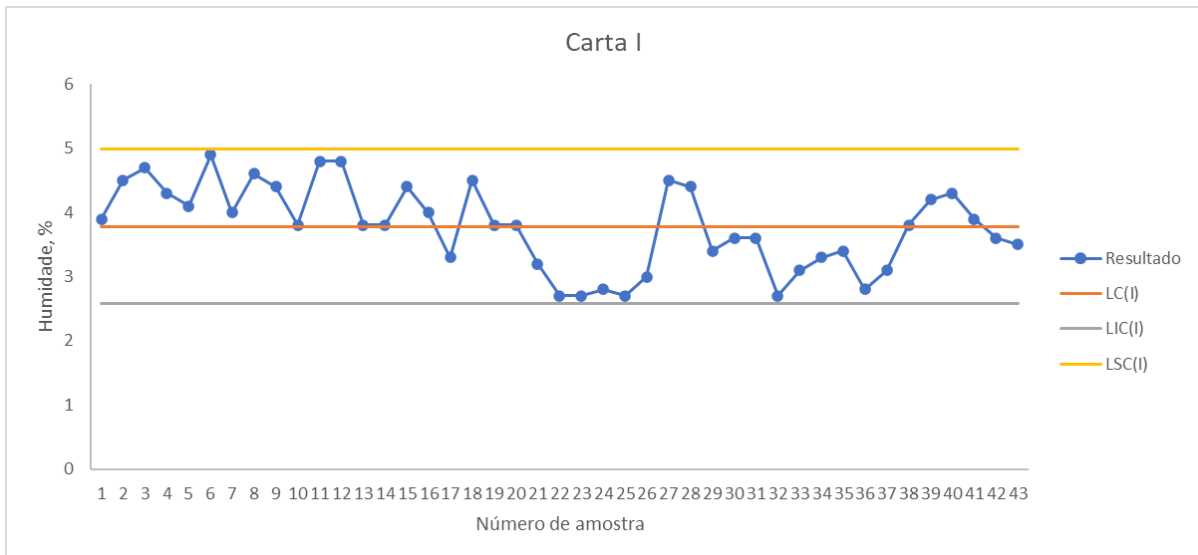


Figura 3.7. Cartas de Controlo I-MR corrigidas para o semi-produto S024BTBSSH01.

3.3.2. VERIFICAÇÃO DA NORMALIDADE DOS DADOS

Uma das etapas importantes, durante a fase 1 de implementação das cartas de observações individuais e amplitudes móveis, é a verificação da normalidade dos dados. Desta forma, recorreu-se ao método de teste Kolmogorov-Smirnov para proceder a esta avaliação. O primeiro passo deste teste é a definição do número de classes, k , a considerar no histograma que é dado pela expressão seguinte:

$$k = 1 + \frac{\log(N)}{\log(2)}$$

Sendo que N corresponde ao número de dados avaliados, neste caso em específico, 43. Aplicando a equação, obteve-se k igual a 6.

Posteriormente, procedeu-se ao cálculo do valor $D_{\text{crítico}}$ para um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$), resultando em:

$$D_{\text{crítico}} = \frac{1,36}{\sqrt{N}} = \frac{1,36}{\sqrt{43}} = 0,2071$$

Com recurso ao *software Microsoft Excel*, procedeu-se ao cálculo do valor de d, tendo-se obtido o resultado de $d = 0,0942$ e, por isso, sendo este menor que o valor de $D_{\text{crítico}}$, aceita-se a hipótese nula e, conseqüentemente, admite-se que os dados recolhidos seguem uma distribuição aproximadamente normal para um nível de significância de 5%.

A estudo da normalidade foi realizado para os restantes semi-produtos obtendo-se os resultados descritos na Tabela 3.2.

Tabela 3 2. Resultados obtidos na verificação da normalidade dos dados.

	N	k	d	$D_{\text{crítico}}$
11,6 mm	40	6	0,1223	0,2150
12,4 mm	43	6	0,0942	0,2074
24,4 mm	38	6	0,1969	0,2206
31,4 mm	43	6	0,1626	0,2074

Com a análise dos resultados, pode afirmar-se que os dados recolhidos da percentagem de humidade para cada espessura de papel seguem uma distribuição aproximadamente normal,

uma vez que os resultados do valor estatístico d são inferiores ao valor $D_{\text{crítico}}$ respectivo, para uma significância de 5%.

3.3.3. CÁLCULO DOS PARÂMETROS DO PROCESSO

A próxima etapa no processo de implementação das cartas de controlo para avaliação do controlo estatístico de processos passa pela determinação dos parâmetros do processo e da sua capacidade com recurso às equações presentes no capítulo 2. Na tabela 3.3, são apresentados os resultados obtidos no cálculo dos parâmetros e da capacidade do processo:

Tabela 3.3. Resultados da estimativa dos parâmetros do processo e dos índices de capacidade.

Parâmetros e Capacidade do Processo	11,6 mm	12,4 mm	24,4 mm	31,4 mm
$\hat{\mu}$	6.20	3.78	5.72	4.55
$\hat{\sigma}$	0.76	0.40	0.52	0.44
C_p	0.66	1.25	0.97	1.13
$(C_{pk})_I$	1.85	1.48	2.41	1.92
$(C_{pk})_S$	-0.53	1.01	-0.47	0.34
C_{pk}	-0.53	1.01	-0.47	0.34

Pela análise dos resultados da tabela 3.3, pode concluir-se que, para todas as espessuras, o processo apresenta capacidade potencial, C_p , menor que 1,33 e, conseqüentemente, o processo não demonstra ser estável o suficiente para permitir seguir para a Fase 2 do SPC. Além disso, o processo não é capaz de produzir de acordo com as exigências do cliente já que o valor de C_{pk} é, também, inferior a 1,33 para todas as espessuras. Ademais, no caso da espessura 11,6 mm e 24,4 mm, a média do processo encontra-se acima do limite superior de especificação, o

que significa que a quantidade de peças não conformes é extremamente elevada. Por sua vez, para a espessura de 31,4 mm, a média do processo encontra-se abaixo do limite superior de especificação, mas perto destes, o que significa que a produção de peças não conformes é recorrente.

Assim sendo, é fulcral identificar as causas que conduziram a estes resultados, definindo ações de melhoria e implementando-as, de maneira que seja possível reduzir a variabilidade do processo e, ao mesmo tempo, centrá-lo no valor alvo. Por conseguinte, reuniu-se uma equipa multidisciplinar que diariamente avaliava as cartas de controlo de modo a identificar as causas de instabilidade do processo, definir medidas corretivas e implementá-las. Destacam-se três causas principais para a instabilidade do processo: matéria-prima, máquinas e métodos de trabalho.

No caso da primeira, procedeu-se a um estudo do impacto que a humidade inicial do papel teria no processo de secagem do mesmo, concluindo-se que, ao longo da paleta de matéria-prima, o valor de humidade do papel varia. Desta forma, foi importante incluir o fornecedor do papel neste processo e discutir melhores opções de embalagem, assim como a relevância da estabilização adequada desta matéria-prima.

Com o objetivo de reduzir a variabilidade do processo, foram implementados na linha diversos controlos que permitem um melhor ajuste das máquinas. Estes incluem o controlo e otimização do parâmetro de temperatura no equipamento onde ocorre a secagem do papel, bem como o teste da recirculação de ar no interior da máquina. Foi ainda implementado um controlo de velocidade do tapete de alimentação do papel, para melhor controlo do tempo de secagem do mesmo.

Revelou-se extremamente importante a uniformização de métodos de trabalho por parte dos operadores, para que estes não fossem um fator de variação do processo. Posto isto, implementou-se um sistema de alertas nos monitores da linha para que, no caso da humidade do papel se encontrar fora dos limites de controlo, os operadores poderem reagir e fazer os ajustes necessários.

Para avaliar o impacto das diversas ações de melhoria do processo, procedeu-se ao estudo dos indicadores de performance C_p e C_{pk} semanais, de acordo com os dados do Anexo C. Portanto, foi possível obter uma representação gráfica desta evolução, conforme demonstrado na Figura 3.8.

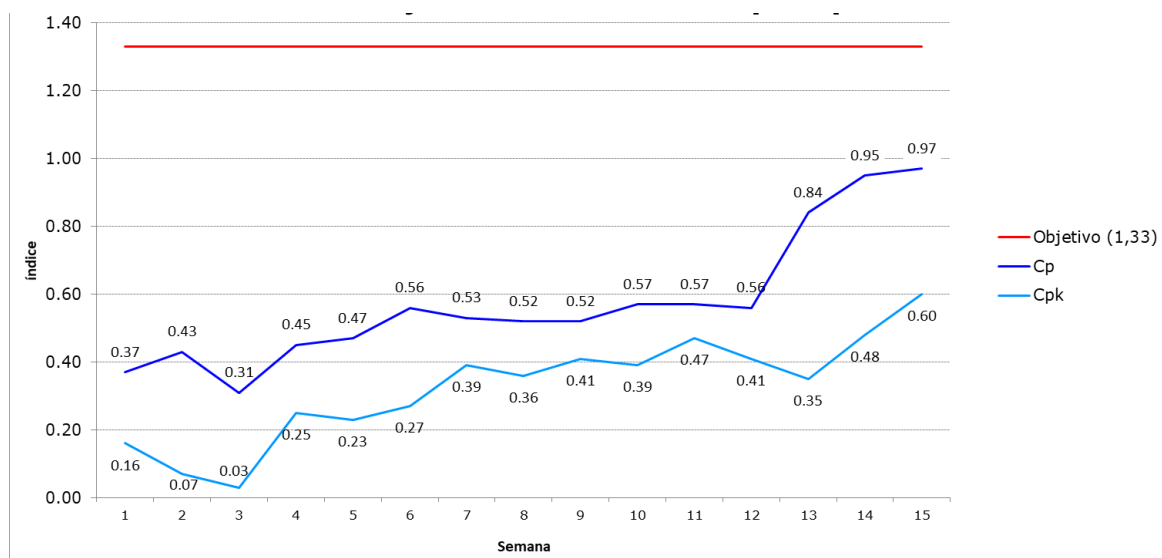


Figura 3.8. Representação gráfica da evolução dos indicadores de performance do processo, Cp e Cpk.

Pela análise da figura 3.8, conclui-se que as primeiras medidas adotadas tiveram um impacto na melhoria da variabilidade do processo, conforme se pode ver pelo crescimento do valor de Cp entre a semana três e seis. Porém, estas medidas foram pouco eficientes, uma vez que ambos os indicadores ainda se encontram abaixo do objetivo traçado de 1,33.

Após um processo de estabilização, entre a semana seis e doze, verifica-se novamente o efeito das ações de melhoria implementadas, pela subida abrupta do indicador Cp e pelo crescimento do valor de Cpk. Apesar de se notar uma evolução positiva nestes indicadores, o processo ainda não é suficientemente estável nem capaz de produzir de acordo com as exigências de cliente.

Uma vez que a humidade do papel influencia diretamente os processos seguintes, nomeadamente a aplicação de *foil* no painel, foi ainda possível verificar qual o impacto das ações tomadas nos padrões de qualidade dos artigos produzidos. Denotou-se um decréscimo de situações associadas a *foil* descolado ao longo do tempo, sendo que, desde o início do trabalho, ocorreu uma redução de 12,21% de material não conforme. Desta forma, as ações implementadas e o controlo contínuo da humidade do papel através das cartas de controlo têm um efeito positivo na redução da variação do processo, bem como na melhoria da qualidade dos artigos produzidos.

4. CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHO FUTURO

O principal objetivo deste trabalho prendeu-se com a implementação de ferramentas de controlo estatístico do processo na área de produção BOS da empresa do setor mobiliário IKEA Industry Portugal, SA. Com a crescente demanda a nível de Qualidade dos produtos e da eficiência e eficácia dos processos, este projeto tem especial relevo já que permite a monitorização do processo, assegurando a produção de acordo com os requisitos de cliente, reduzindo o desperdício e, conseqüentemente, os custos.

Primeiramente, foi necessário proceder a uma investigação teórica com recurso a livros e artigos científicos de diversos autores com o intuito de aprofundar conhecimentos na temática do controlo estatístico de processos. Após um estudo exaustivo, constatou-se que as cartas de controlo eram a ferramenta que mais se adequava ao estudo pretendido, pelo que foram também apresentados conteúdos relevantes para a construção e implementação das cartas de controlo, bem como o procedimento para avaliação da capacidade do processo no sentido de ser, ou não, capaz de cumprir com as exigências de cliente, isto é, com as especificações técnicas.

De seguida, fez-se uma caracterização da empresa, nomeadamente como foi desenvolvida, a forma como está estruturada, os processos e produtos aí produzidos. Mais detalhadamente, foi clarificado o processo de produção da área BOS, especificando as diversas etapas, materiais e controlos envolvidos. Esta etapa foi primordial na obtenção de conhecimentos mais aprofundados sobre a atividade do negócio e do processo, permitindo descortinar a variável com um maior impacto e que, posteriormente, seria mais relevante e viável controlar.

Após determinar que a humidade do papel era a característica mais importante e instalar o sistema de medição, implementaram-se as cartas de controlo de valores individuais e amplitudes móveis, I-MR, concluindo-se que o processo não se encontra sob controlo estatístico, já que é possível verificar a existência de causas especiais de variação em todas as espessuras de *honeycomb* usadas no processo. Foi, ainda, possível aferir que os dados recolhidos seguem uma distribuição aproximadamente normal e que, para todas as espessuras de papel, os indicadores do processo Cp e Cpk são inferiores a 1,33, demonstrando que o processo apresenta uma elevada variabilidade e que o mesmo não é capaz de produzir dentro dos limites de especificação de forma consistente. Foi, por isso, determinante a identificação das causas de variação do processo com vista à sua mitigação, tendo-se determinado três causas principais: matéria-prima, máquinas e métodos de trabalho. Depois da implementação de ações

de melhoria, pode constatar-se que estas tiveram um efeito positivo no que diz respeito aos indicadores de *performance* do processo, já que os resultados de Cp e Cpk passaram de 0,37 e 0,16 na semana um, para 0,97 e 0,60 na semana 15, respetivamente. No entanto, estes resultados ficam aquém do esperado, sendo necessário continuar a procurar as causas especiais de variação do processo e implementar ações que mitiguem essas causas.

Relativamente aos objetivos traçados no início deste trabalho, a aplicação do SPC na linha BOS foi bem conseguida, apesar de o processo ainda não apresentar o nível de qualidade desejado, no que diz respeito aos indicadores do processo Cp e Cpk.

Com o trabalho realizado, acredita-se que existiu uma melhoria, no que diz respeito à sensibilização da importância do controlo de processo, uma vez que as equipas estão mais consciencializadas para aspetos relacionados com a qualidade dos produtos e que as cartas de controlo são uma ferramenta extremamente útil para identificar eventuais causas especiais de variação.

Todavia, existem ainda diversas atividades complementares que poderão ser uma mais-valia para reduzir a variabilidade do processo e, conseqüentemente, a qualidades dos produtos. Desta forma, sugere-se a continuação de uma investigação mais profunda das causas de variação especiais do processo com recurso a ferramentas clássicas da qualidade, nomeadamente o diagrama de Ishikawa, de forma identificar e interrelacionar as causas que provocam um determinado problema. Recomenda-se também a utilização das cartas de controlo no estudo de outras características do processo, como a aplicação de cola PVAc e *hotmelt*, já que estas etapas do processo têm uma influência significativa na qualidade do produto final.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Montgomery, D. and Jennings, C., 2005. *Student resource manual to accompany Introduction to statistical quality control*. 6th ed. Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons.
- [2] Coleman, S., 2008. *Statistical practice in business and industry*. 1st ed. Chichester, England: John Wiley & Sons, pp.15-28
- [3] Wadsworth, H., Stephens, K. and Godfrey, B., 2004. *Modern methods for quality control and improvement*. 2nd ed. Singapore: John Wiley and Sons.
- [4] Box, G. and Wilson, K., 1951. On the Experimental Attainment of Optimum Conditions. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 13(1), pp.1-38
- [5] Crosby, P., 1986. *Quality is free*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill.
- [6] Qiu, P., 2013. *Introduction to Statistical Process Control*. 1st ed. Florida: Chapman and Hall/CRC, pp.11.
- [7] Ferramentas da Qualidade. 2021. *Ferramentas da Qualidade - Glossário sobre qualidade*. [online] Available at: <<https://ferramentasdaqualidade.org/>>
- [8] Oakland, J., 1999. *Statistical process control*. 5th ed. Oxford [England]: Butterworth-Heinemann.
- [9] International Organization for Standardization, 2006. ISO 3534-2:2006 *Statistics – Vocabulary and symbols – Part 2: Applied statistics*.
- [10] iSixSigma. 2021. *A Guide to Control Charts*. [online] Available at: <<https://www.isixsigma.com/tools-templates/control-charts/a-guide-to-control-charts/>>
- [11] Montgomery, D. and Runger, G., 2019. *Applied statistics and probability for engineers*. Hoboken, NJ: Wiley.
- [12] Requeijo, JFG & Pereira, ZPDPSL 2012, *Qualidade: Planeamento e Controlo Estatístico de Processos*. 2ª edn, FFCT - Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

- [13] *International Organization for Standardization*, 2013. ISO 7870-2-2:2012 *Control charts – Part 2: Shewhart control charts*
- [14] Doty, L. A. (1996). *Statistical process control*. Industrial Press.
- [15] Montgomery, D., 2009. *Introduction to statistical quality control*. 6th ed. Jefferson City: John Wiley & Sons, Inc.

ANEXO A – TABELAS AUXILIARES

A1. FATORES PARA CONSTRUÇÃO DAS CARTAS DE CONTROLO POR VARIÁVEIS

Tabela A1.1. Fatores para construção das cartas de controlo por variáveis.

Observations in Sample, <i>n</i>	Chart for Averages					Chart for Standard Deviations					Chart for Ranges					
	Factors for Control Limits			Factors for Center Line		Factors for Control Limits				Factors for Center Line		Factors for Control Limits				
	<i>A</i>	<i>A</i> ₂	<i>A</i> ₃	<i>c</i> ₄	1/ <i>c</i> ₄	<i>B</i> ₃	<i>B</i> ₄	<i>B</i> ₅	<i>B</i> ₆	<i>d</i> ₂	1/ <i>d</i> ₂	<i>d</i> ₃	<i>D</i> ₁	<i>D</i> ₂	<i>D</i> ₃	<i>D</i> ₄
2	2.121	1.880	2.659	0.7979	1.2533	0	3.267	0	2.606	1.128	0.8865	0.853	0	3.686	0	3.267
3	1.732	1.023	1.954	0.8862	1.1284	0	2.568	0	2.276	1.693	0.5907	0.888	0	4.358	0	2.574
4	1.500	0.729	1.628	0.9213	1.0854	0	2.266	0	2.088	2.059	0.4857	0.880	0	4.698	0	2.282
5	1.342	0.577	1.427	0.9400	1.0638	0	2.089	0	1.964	2.326	0.4299	0.864	0	4.918	0	2.114
6	1.225	0.483	1.287	0.9515	1.0510	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.3946	0.848	0	5.078	0	2.004
7	1.134	0.419	1.182	0.9594	1.0423	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.3698	0.833	0.204	5.204	0.076	1.924
8	1.061	0.373	1.099	0.9650	1.0363	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.3512	0.820	0.388	5.306	0.136	1.864
9	1.000	0.337	1.032	0.9693	1.0317	0.239	1.761	0.232	1.707	2.970	0.3367	0.808	0.547	5.393	0.184	1.816
10	0.949	0.308	0.975	0.9727	1.0281	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.3249	0.797	0.687	5.469	0.223	1.777
11	0.905	0.285	0.927	0.9754	1.0252	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.3152	0.787	0.811	5.535	0.256	1.744
12	0.866	0.266	0.886	0.9776	1.0229	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.3069	0.778	0.922	5.594	0.283	1.717
13	0.832	0.249	0.850	0.9794	1.0210	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.2998	0.770	1.025	5.647	0.307	1.693
14	0.802	0.235	0.817	0.9810	1.0194	0.406	1.594	0.399	1.563	3.407	0.2935	0.763	1.118	5.696	0.328	1.672
15	0.775	0.223	0.789	0.9823	1.0180	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.2880	0.756	1.203	5.741	0.347	1.653
16	0.750	0.212	0.763	0.9835	1.0168	0.448	1.552	0.440	1.526	3.532	0.2831	0.750	1.282	5.782	0.363	1.637
17	0.728	0.203	0.739	0.9845	1.0157	0.466	1.534	0.458	1.511	3.588	0.2787	0.744	1.356	5.820	0.378	1.622
18	0.707	0.194	0.718	0.9854	1.0148	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	0.2747	0.739	1.424	5.856	0.391	1.608
19	0.688	0.187	0.698	0.9862	1.0140	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	0.2711	0.734	1.487	5.891	0.403	1.597
20	0.671	0.180	0.680	0.9869	1.0133	0.510	1.490	0.504	1.470	3.735	0.2677	0.729	1.549	5.921	0.415	1.585
21	0.655	0.173	0.663	0.9876	1.0126	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.2647	0.724	1.605	5.951	0.425	1.575
22	0.640	0.167	0.647	0.9882	1.0119	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.2618	0.720	1.659	5.979	0.434	1.566
23	0.626	0.162	0.633	0.9887	1.0114	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.2592	0.716	1.710	6.006	0.443	1.557
24	0.612	0.157	0.619	0.9892	1.0109	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.2567	0.712	1.759	6.031	0.451	1.548
25	0.600	0.153	0.606	0.9896	1.0105	0.565	1.435	0.559	1.420	3.931	0.2544	0.708	1.806	6.056	0.459	1.541

A2. DISTRIBUIÇÃO DA ESTATÍSTICA D – TESTE KOLMOGOROV-SMIRNOV

Tabela A1.2. Distribuição da Estatística D - Teste Kolmogorov-Smirnov.

n \ α	0,20	0,15	0,10	0,05	0,01
1	0,900	0,925	0,950	0,975	0,995
2	0,684	0,726	0,776	0,842	0,929
3	0,565	0,597	0,642	0,708	0,828
4	0,494	0,525	0,564	0,624	0,733
5	0,446	0,474	0,510	0,565	0,669
6	0,410	0,436	0,470	0,521	0,618
7	0,381	0,405	0,438	0,486	0,577
8	0,358	0,381	0,411	0,457	0,543
9	0,339	0,360	0,388	0,432	0,514
10	0,322	0,342	0,368	0,410	0,490
11	0,307	0,326	0,352	0,391	0,468
12	0,295	0,313	0,338	0,375	0,450
13	0,284	0,302	0,325	0,361	0,433
14	0,274	0,292	0,314	0,349	0,418
15	0,266	0,283	0,304	0,338	0,404
16	0,258	0,274	0,295	0,328	0,392
17	0,250	0,266	0,286	0,318	0,381
18	0,244	0,259	0,278	0,309	0,371
19	0,237	0,252	0,272	0,301	0,363
20	0,231	0,246	0,264	0,294	0,356
25	0,210	0,220	0,240	0,270	0,320
30	0,190	0,200	0,220	0,240	0,290
35	0,180	0,190	0,210	0,230	0,270
> 35	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,14}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{n}}$

ANEXO B – CARTAS DE CONTROLO – FASE 1

B1. SEMI-PRODUTO COM PAPEL DE 11,6 mm DE ESPESSURA

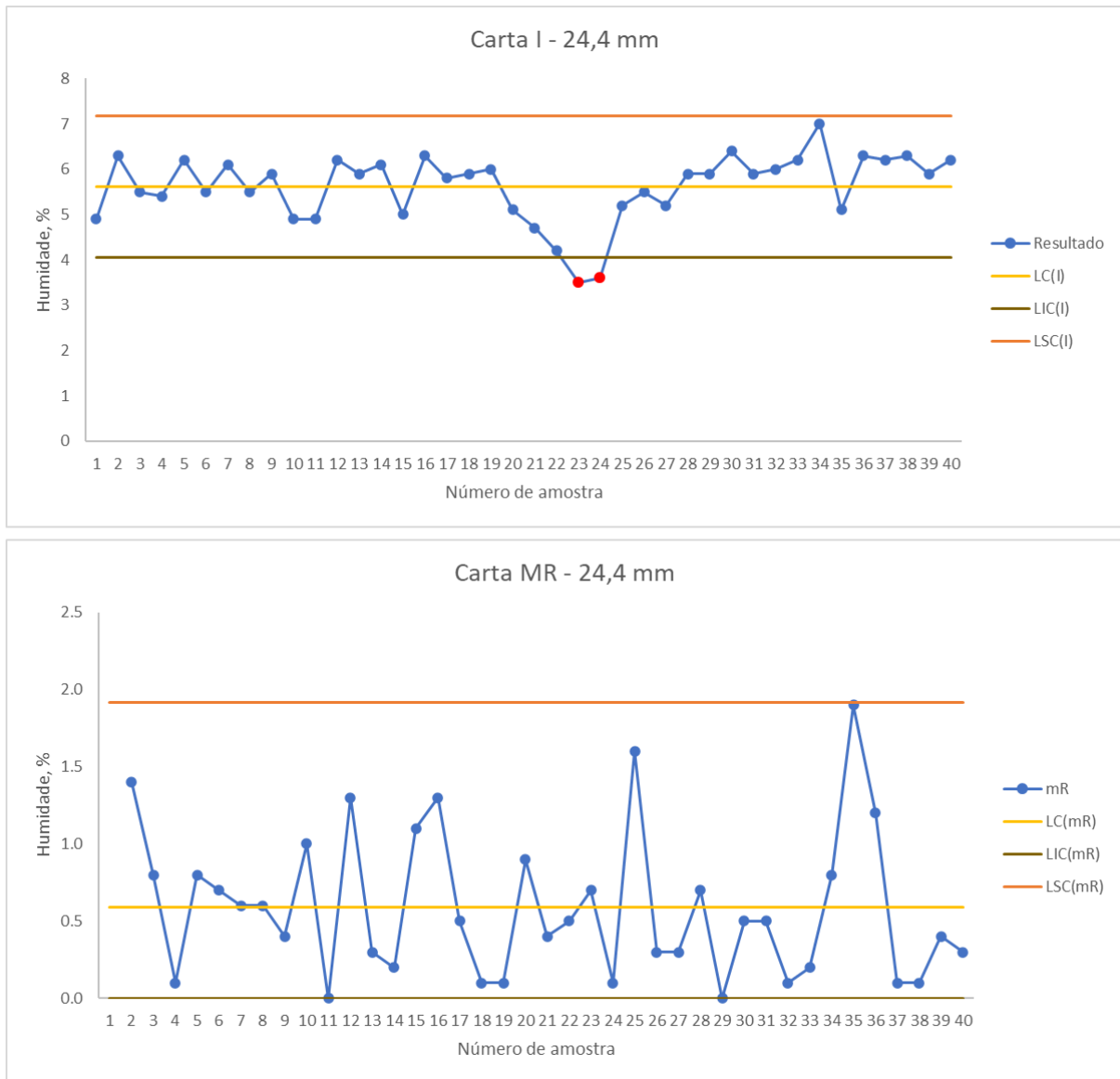


Figura B1.1. Carta de controlo I-MR para semi-produto com 24,4 mm de espessura - Fase 1.

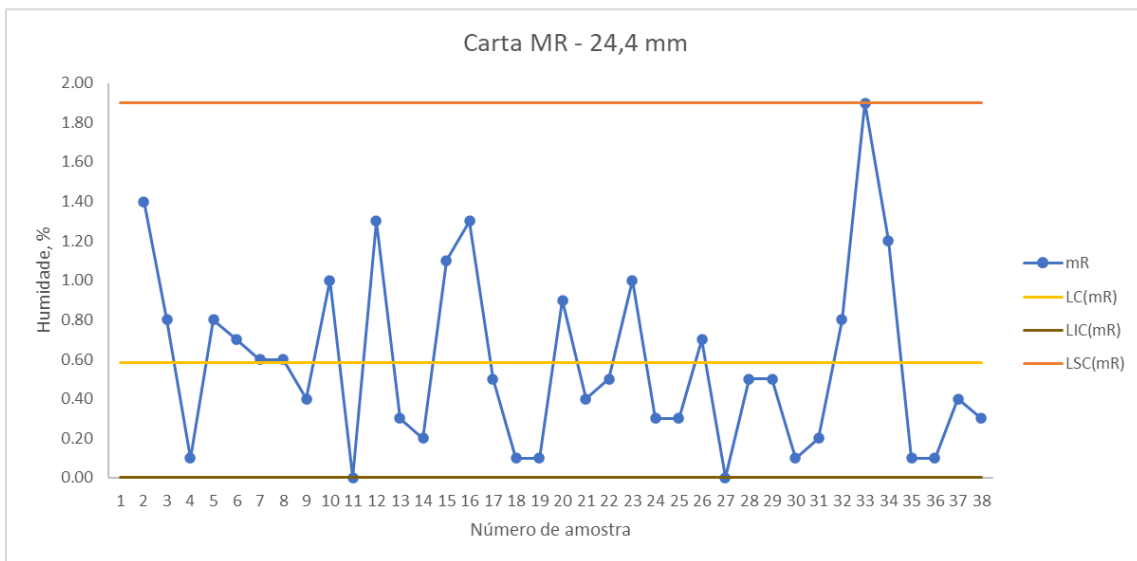
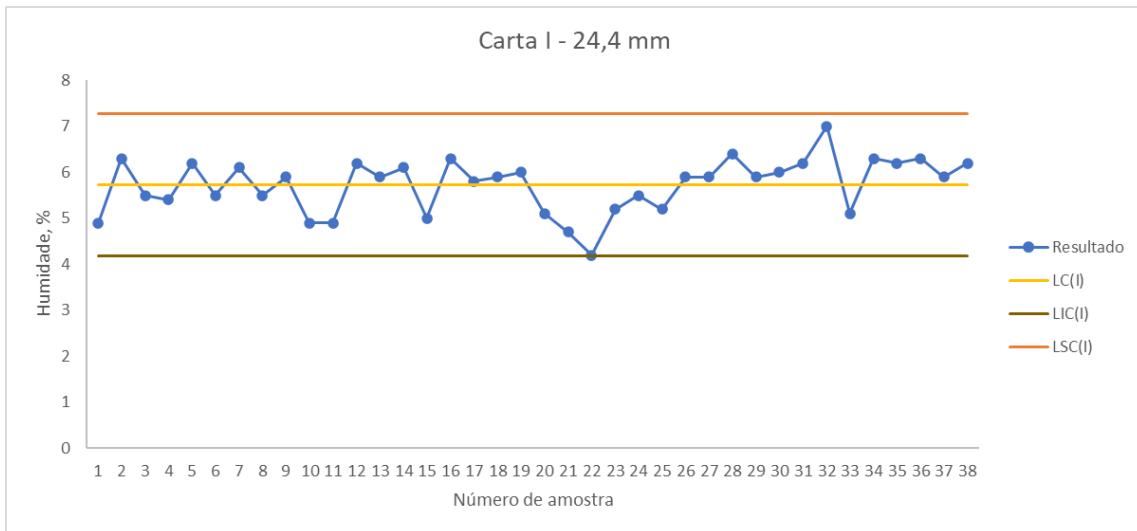


Figura B1.2. Carta de controlo I-MR para semi-produto com 24,4 mm de espessura - Fase 1 - corrigida.

B2. SEMI-PRODUTO COM PAPEL DE 31,4 mm DE ESPESSURA

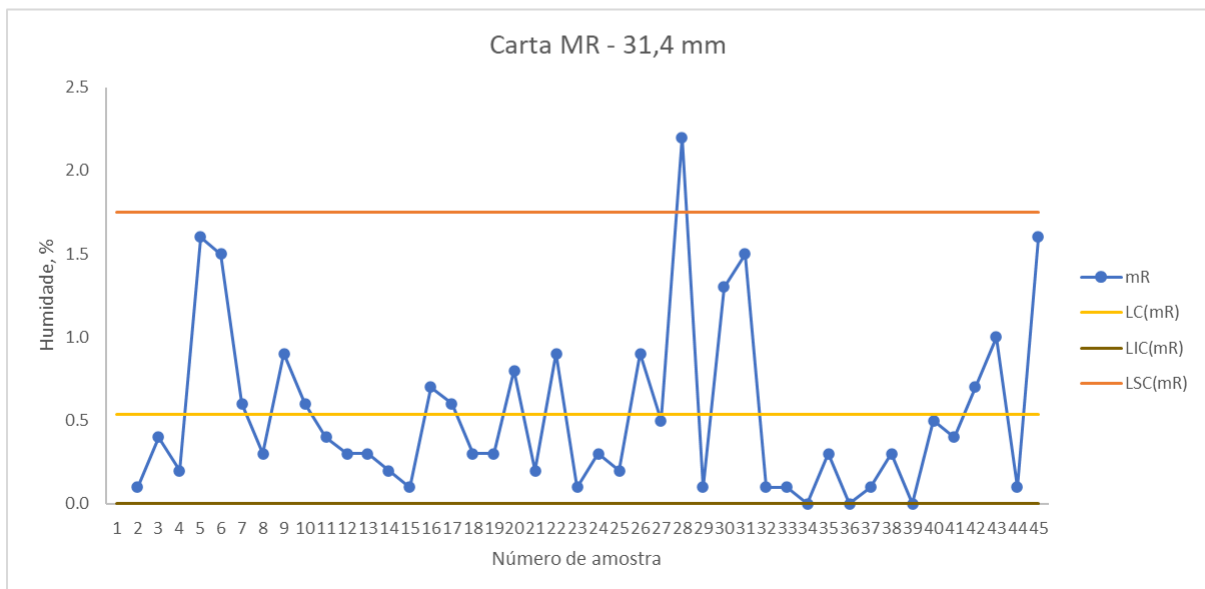
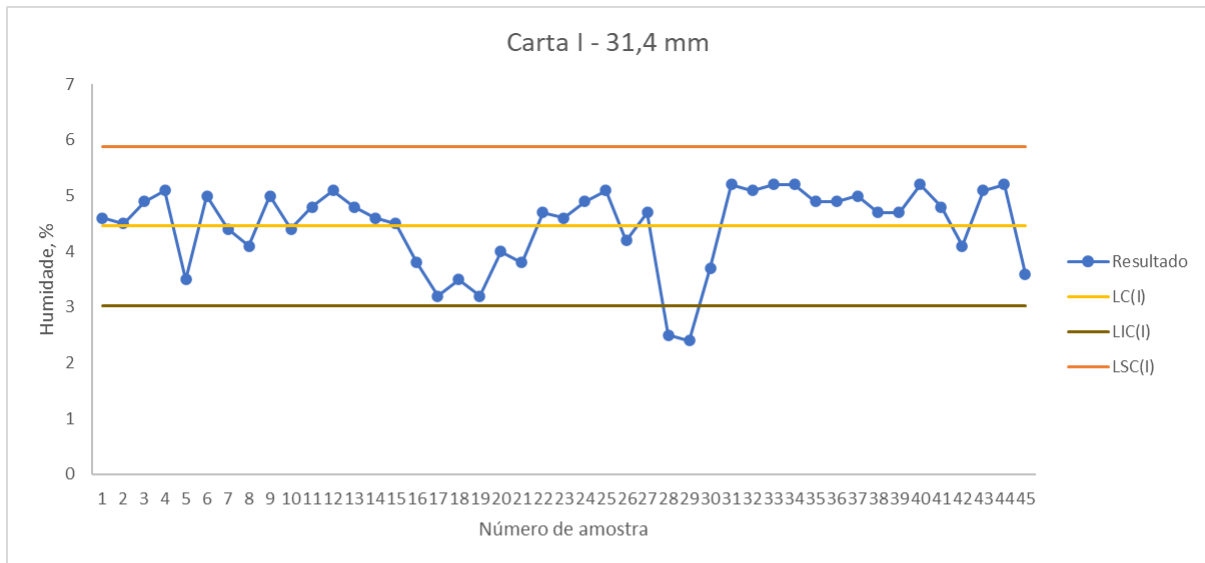


Figura B1.3. Carta de controle I-MR para semi-produto com 31,4 mm de espessura - Fase 1.

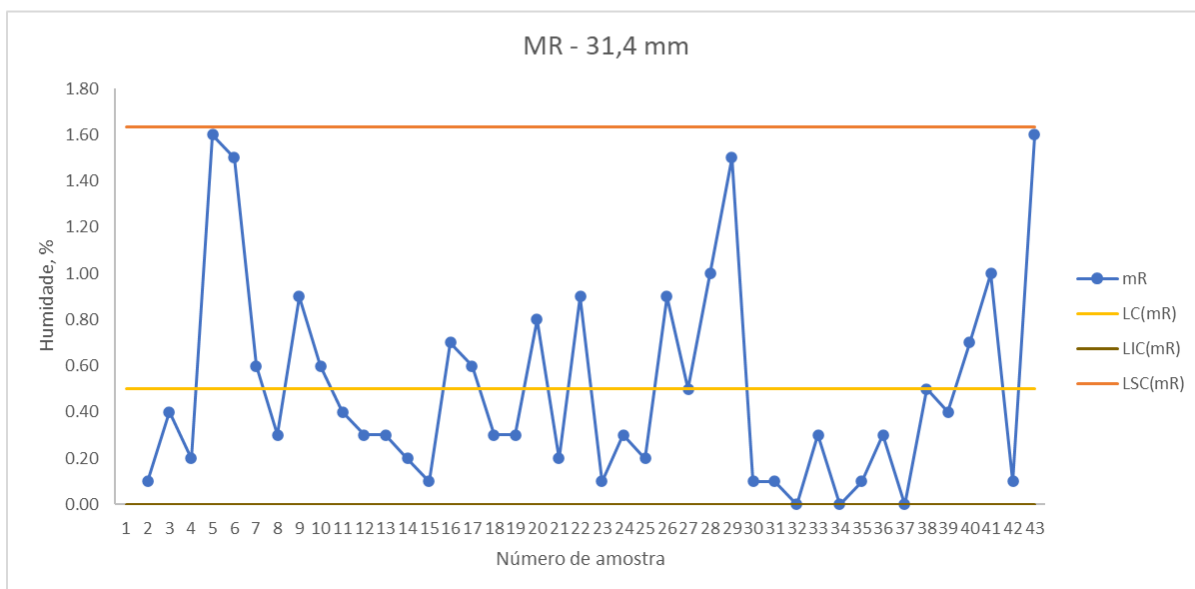
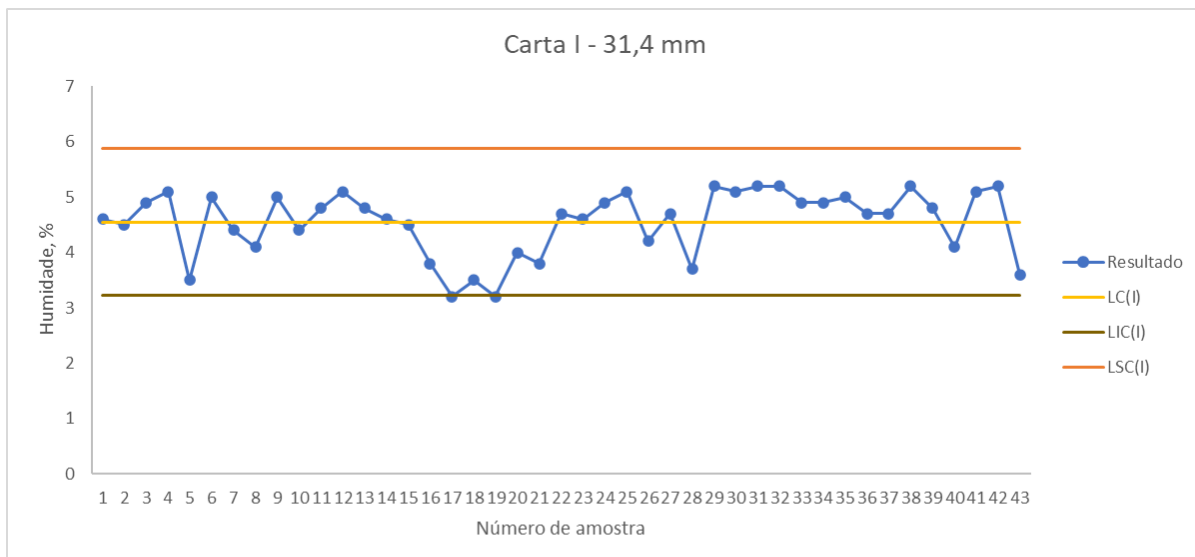


Figura B1.4. Carta de controle I-MR para semi-produto com 31,4 mm de espessura - Fase 1 - corrigida.

B3. SEMI-PRODUTO COM PAPEL DE 11,6 mm DE ESPESSURA

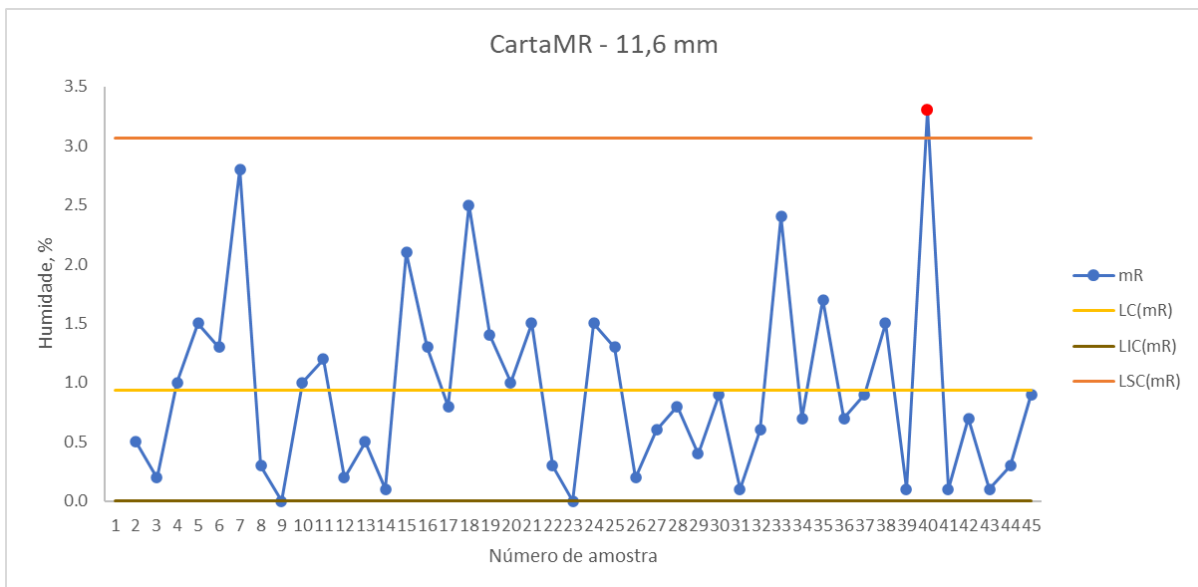
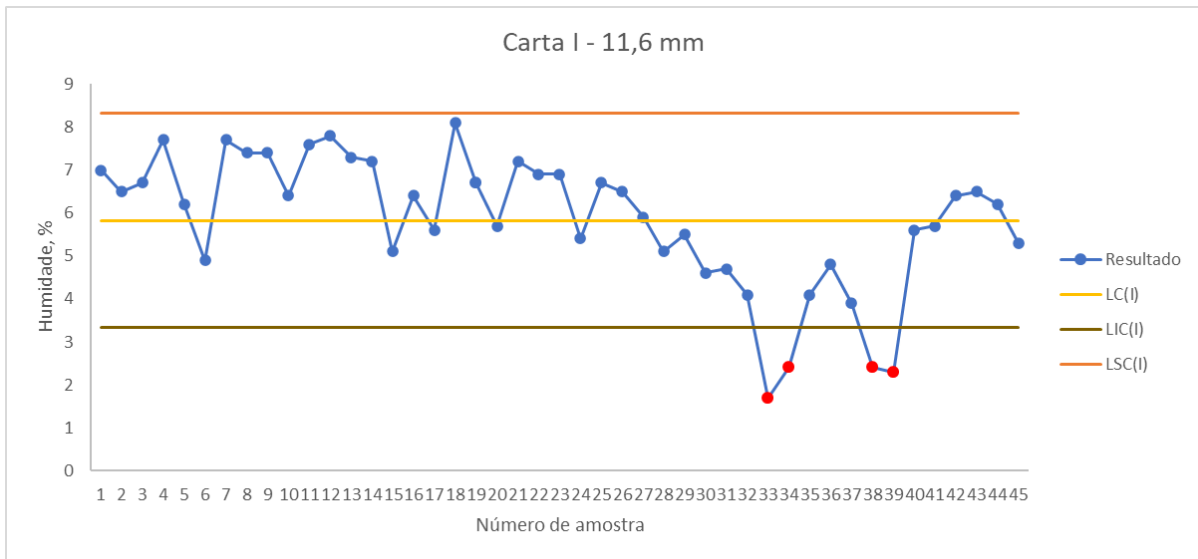


Figura B1.5. Carta de controlo I-MR para semi-produto com 11,6 mm de espessura - Fase 1.

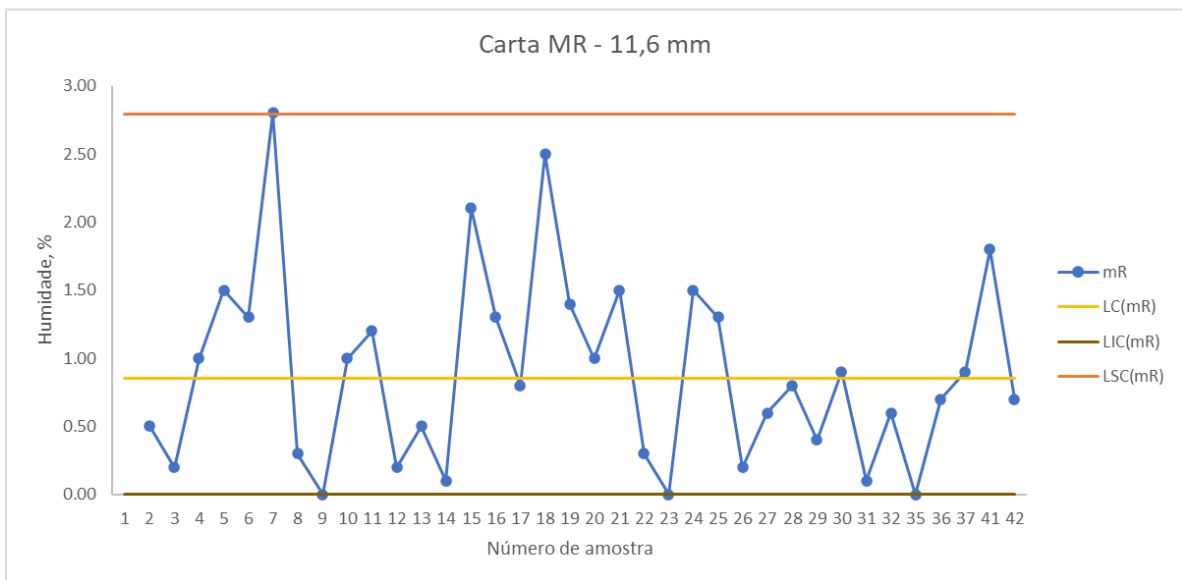
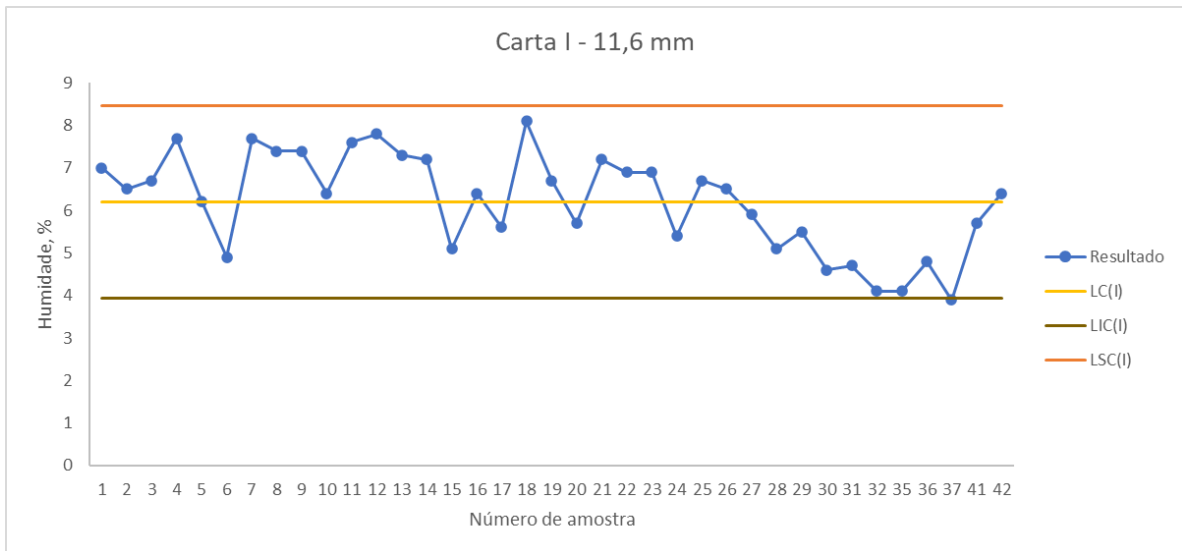


Figura B1.6. Carta de controle I-MR para semi-produto com 11,6 mm de espessura - Fase 1 - corrigida.

ANEXO C – INDICADORES DO PROCESSO

Tabela C1. Tabela resumo da evolução dos indicadores de *performance* do processo.

Semana	Artigo	Média	Desvio Padrão	Cp	Cpk	Número de Amostras	Cp Semanal	Cpk Semanal
1	S024BTBSSD03	2.79	0.68	0.74	0.39	9	0.37	0.16
1	S024BTBSSH01	3.78	1.69	0.30	0.24	479		
1	S024BTBSTB0102	5.24	1.56	0.32	-0.05	202		
1	S024KXBSPT12	4.96	1.81	0.28	0.01	100		
1	S024KXBSSH02	2.66	0.83	0.60	0.27	209		
2	S024BTBSPT0204	6.92	2.16	0.23	-0.30	43	0.43	0.07
2	S024BTBSSD03	3.77	1.97	0.25	0.21	167		
2	S024BTBSSD05	2.60	0.14	3.57	1.43	2		
2	S024BTBSSH01	4.93	1.27	0.39	0.02	158		
2	S024BTBSTB0102	3.81	1.22	0.41	0.33	27		
2	S024KXBSPT12	4.96	1.59	0.31	0.01	142		
2	S024STBSSD13	2.39	0.74	0.68	0.18	243		
2	S024STBSTB12	5.89	1.52	0.33	-0.20	95	0.31	0.03
3	S024BTBSSD03	4.37	2.72	0.18	0.08	169		
3	S024BTBSSH01	4.03	1.13	0.44	0.29	79		
3	S024BTBSTB0102	5.03	1.20	0.42	-0.01	260		
3	S024KXBSPT12	5.24	2.43	0.21	-0.03	116		
3	S024KXBSSH01	6.57	1.91	0.26	-0.27	91	0.45	0.25
3	S024KXBSSH02	4.18	1.70	0.29	0.16	116		
4	S024BTBSPT0204	4.23	1.37	0.36	0.19	45		
4	S024BTBSSD0204	4.01	0.82	0.61	0.40	85		
4	S024BTBSSD05	3.86	0.89	0.56	0.43	142		
4	S024BTBSSD05	4.50	0.31	1.61	0.54	26		
4	S024BTBSSD05	3.95	1.30	0.38	0.27	131		
4	S024BTBSSH01	3.23	1.03	0.49	0.40	433		
4	S024BTBSSH01	3.27	1.10	0.45	0.38	112		
4	S024BTBSTB0102	5.12	1.07	0.47	-0.04	109		
4	S024BTBSTB0102	4.75	0.81	0.62	0.10	73		
4	S024KXBSPT12	5.18	0.86	0.58	-0.07	157		
4	S024KXBSSH01	4.16	1.54	0.32	0.18	262		
4	S024KXBSSH01	3.72	1.69	0.30	0.25	45		
4	S024KXBSSH02	3.83	1.20	0.42	0.33	9		
4	S024STBSSD15	3.62	1.21	0.41	0.38	175		
4	S024STBSSDBE	4.32	2.18	0.23	0.10	163		
4	S024STBSTP13	4.64	2.31	0.22	0.05	68		

Tabela C1. Tabela resumo da evolução dos indicadores de *performance* do processo.
(continuação)

Semana	Artigo	Média	Desvio Padrão	Cp	Cpk	Número de Amostras	Cp Semanal	Cpk Semanal
5	S024BTBSPT0204	4.43	0.73	0.68	0.26	17	0.47	0.23
5	S024BTBSPT03	4.34	0.72	0.69	0.31	127		
5	S024BTBSSD03	3.30	1.08	0.46	0.40	696		
5	S024BTBSSH01	2.89	1.14	0.44	0.26	898		
5	S024BTBSTB0102	4.84	0.98	0.51	0.05	993		
5	S024KXBSPT12	4.42	1.12	0.45	0.17	328		
5	S024KXBSSH01	3.74	1.61	0.31	0.26	208		
5	S024KXBSSH02	3.19	0.88	0.57	0.45	168		
5	S024LPBSPT02	3.56	1.03	0.49	0.47	39		
6	S024BTBSSD03	2.93	0.48	1.04	0.65	42		
6	S024BTBSSD05	3.30	0.92	0.54	0.47	1009		
6	S024BTBSSH01	2.55	0.72	0.69	0.25	499		
6	S024BTBSTB0102	3.49	1.36	0.37	0.37	1321		
6	S024KXBSPT12	3.83	1.17	0.43	0.33	545		
6	S024KXBSSH01	3.56	0.92	0.54	0.52	250		
6	S024STBSSD11	1.33	0.32	1.56	-0.70	47		
6	S024STBSSD13	1.91	0.74	0.68	-0.04	724		
6	S024STBSSDBE	3.56	1.17	0.43	0.41	81		
6	S024STBSSH17	2.06	0.56	0.89	0.04	38		
6	S024STBSSH18	2.61	0.77	0.65	0.26	67		
6	S024STBSTB11	1.71	0.31	1.61	-0.31	141		
6	S024STBSTB12	4.74	1.50	0.33	0.06	71		
6	S024STBSTP13	2.34	0.92	0.54	0.12	320		
7	S024BTBSPT0204	3.29	1.40	0.36	0.31	236	0.53	0.39
7	S024BTBSSD03	3.46	0.82	0.61	0.59	389		
7	S024BTBSSD05	3.29	0.80	0.63	0.54	322		
7	S024BTBSSH01	2.75	0.88	0.57	0.28	1315		
7	S024BTBSTB0102	3.78	0.95	0.53	0.43	1424		
7	S024KXBSPT12	3.83	1.02	0.49	0.38	563		
7	S024KXBSSH01	3.42	1.05	0.48	0.45	845		
7	S024STBSSDBE	3.10	0.98	0.51	0.37	120		
7	S024STBSSH17	1.81	0.50	1.00	-0.13	86		
7	S024STBSTP13	4.08	1.17	0.43	0.26	155		
8	S024BTBSPT03	3.70	1.01	0.50	0.43	140	0.52	0.36
8	S024BTBSSD0204	3.88	1.01	0.50	0.37	119		
8	S024BTBSSD03	3.99	0.88	0.57	0.38	238		
8	S024BTBSSH01	3.36	0.99	0.51	0.46	545		
8	S024BTBSTB0102	4.05	1.04	0.48	0.30	1235		
8	S024KXBSSH01	4.10	0.87	0.57	0.34	705		
8	S024KXBSSH02	3.41	0.94	0.53	0.50	41		
8	S024STBSSH18	3.84	0.89	0.56	0.43	33		

Tabela C1. Tabela resumo da evolução dos indicadores de *performance* do processo.
(continuação)

Semana	Artigo	Média	Desvio Padrão	Cp	Cpk	Número de Amostras	Cp Semanal	Cpk Semanal
9	S024BTBSSD0204	3.74	0.77	0.65	0.55	69	0.52	0.41
9	S024BTBSSD03	3.69	1.06	0.47	0.41	39		
9	S024BTBSSD05	3.28	1.08	0.46	0.40	894		
9	S024BTBSSH01	3.38	0.96	0.52	0.48	784		
9	S024BTBSTB0102	4.29	0.73	0.68	0.32	523		
9	S024KXBSP12	3.91	1.14	0.44	0.32	586		
9	S024KXBSSH01	3.48	0.94	0.53	0.52	422		
9	S024STBSSD13	3.15	0.88	0.57	0.44	70		
9	S024STBSSD14	3.40	0.83	0.60	0.56	110		
9	S024STBSTB12	4.35	1.06	0.47	0.20	133		
10	S024BTBSSD03	3.49	0.74	0.68	0.67	195	0.57	0.39
10	S024BTBSSH01	3.51	0.95	0.53	0.52	250		
10	S024BTBSTB0102	4.33	0.83	0.60	0.27	589		
10	S024KXBSP12	3.75	0.92	0.54	0.45	534		
10	S024KXBSSH01	4.06	1.04	0.48	0.30	292		
10	S024KXBSSH02	3.1	0.79	0.63	0.46	21		
10	S024STBSSD15	3.3	1.03	0.49	0.42	408		
10	S024STBSSH17	2.15	0.46	1.09	0.11	111		
10	S024STBSTB12	3.89	0.89	0.56	0.42	142		
11	S024BTBSPT0204	3.34	1.29	0.39	0.35	83	0.57	0.47
11	S024BTBSPT03	3.09	0.95	0.53	0.38	131		
11	S024BTBSSD0204	3.06	1.03	0.49	0.34	269		
11	S024BTBSSD03	2.92	0.9	0.56	0.34	420		
11	S024BTBSSD05	2.91	0.78	0.64	0.39	279		
11	S024BTBSTB0102	3.47	0.86	0.58	0.57	1152		
11	S024KXBSP12	3.49	0.87	0.57	0.57	235		
11	S024KXBSSH01	3.62	0.81	0.62	0.57	466		
11	S024STBSSD13	3.35	0.99	0.51	0.45	75		
11	S024STBSSDBE	2.65	0.94	0.53	0.23	104		
11	S024STBSTB12	4.07	0.74	0.68	0.42	74		
11	S024STBSTP13	4.05	0.92	0.54	0.34	123		
12	S024BTBSSD0204	3.32	0.79	0.63	0.56	394	0.56	0.41
12	S024BTBSSD05	3.47	0.78	0.64	0.63	384		
12	S024BTBSSH02	3.09	0.86	0.58	0.42	766		
12	S024BTBSTB0102	4	0.93	0.54	0.36	811		
12	S024KXBSP12	3.52	1.03	0.49	0.48	334		
12	S024KXBSSH01	2.9	0.88	0.57	0.34	191		
12	S024STBSSD11	2.74	0.98	0.51	0.25	203		
12	S024STBSSD14	3.19	0.74	0.68	0.54	119		
12	S024STBSSD15	3.25	1.03	0.49	0.40	216		
12	S024STBSSH18	3.13	0.94	0.53	0.40	126		
12	S024STBSTB11	2.41	0.83	0.60	0.16	214		
12	S024STBSTB12	4.28	1.07	0.47	0.22	268		

Tabela C1. Tabela resumo da evolução dos indicadores de *performance* do processo.
(continuação)

Semana	Artigo	Média	Desvio Padrão	Cp	Cpk	Número de Amostras	Cp Semanal	Cpk Semanal
13	S024BTBSPT0204	4.64	0.39	1.28	0.31	114	0.84	0.35
13	S024BTBSPT03	4.45	0.59	0.85	0.31	223		
13	S024BTBSSD03	4.2	0.78	0.64	0.34	287		
13	S024BTBSSH02	3.63	0.77	0.65	0.59	338		
13	S024BTBSTB0102	4.56	0.51	0.98	0.29	1638		
13	S024KXBSPT12	4.19	0.72	0.69	0.38	492		
13	S024KXBSSH01	3.49	1.04	0.48	0.48	196		
13	S024KXBSSH02	2.76	0.88	0.57	0.29	60		
14	S024BTBSPT03	4.45	0.54	0.93	0.34	204	0.95	0.48
14	S024BTBSSD0204	3.98	0.6	0.83	0.57	243		
14	S024BTBSSD03	3.88	0.59	0.85	0.63	497		
14	S024BTBSSH01	3.33	0.58	0.86	0.76	105		
14	S024BTBSTB0102	4.56	0.38	1.32	0.39	470		
14	S024KXBSPT12	4.11	0.67	0.75	0.44	159		
14	S024KXBSSH01	4.11	0.62	0.81	0.48	505		
14	S024STBSSD15	4.25	0.56	0.89	0.45	308		
14	S024STBSSDBE	3.75	0.6	0.83	0.69	112		
14	S024STBSTB12	4.65	0.41	1.22	0.28	156		
14	S024STBSTP13	4.75	0.39	1.28	0.21	69		
15	S024BTBSPT0204	4.51	0.54	0.92	0.30	146	0.97	0.60
15	S024BTBSSD0204	3.57	0.47	1.05	1.00	194		
15	S024BTBSSD05	3.66	0.43	1.17	1.05	35		
15	S024BTBSSH02	3.65	0.53	0.95	0.85	822		
15	S024BTBSTB0102	4.51	0.44	1.13	0.37	833		
15	S024KXBSPT12	3.88	0.68	0.73	0.55	322		
15	S024KXBSSH01	3.90	0.64	0.78	0.57	275		
15	S024KXBSSH02	3.12	0.60	0.84	0.62	72		
15	S024LPBSPT02	3.82	0.39	1.27	1.00	35		
15	S024STBSSD11	2.80	0.52	0.96	0.51	164		
15	S024STBSSD13	4.45	0.75	0.67	0.25	157		
15	S024STBSSDBE	3.41	0.35	1.41	1.33	37		
15	S024STBSTB11	3.42	0.41	1.23	1.17	143		
15	S024STBSTB12	4.62	0.52	0.97	0.24	204		
15	S024STBSTP13	5.14	0.77	0.65	-0.06	47		
16	S024BTBSSD03	3.58	0.47	1.06	1.00	45	0.90	0.58
16	S024BTBSSD05	3.60	0.54	0.92	0.86	86		
16	S024BTBSSH02	3.55	0.59	0.85	0.82	129		
16	S024BTBSTB0102	4.38	0.45	1.11	0.46	325		
16	S024KXBSPT12	3.37	0.65	0.77	0.71	770		
16	S024KXBSSH01	3.58	0.52	0.96	0.91	184		
16	S024KXBSSH03	3.10	0.54	0.92	0.68	557		
16	S024STBSSD14	4.00	0.57	0.88	0.59	241		
16	S024STBSSD15	4.22	0.55	0.90	0.47	326		
16	S024STBSSH18	4.07	0.69	0.73	0.45	190		
16	S024STBSTB12	4.59	0.53	0.94	0.26	463		
16	S024STBSTP13	4.24	0.54	0.93	0.47	184		