



Miguel Barreira Pardal Moutinho

Licenciado em Ciências da Engenharia e Gestão Industrial

Controlo Estatístico de Processos de Soldadura e Estampagem: Estudo de Caso na Indústria Automóvel

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial

Orientador: Doutor José Fernando Gomes Requeijo,
Professor Auxiliar, FCT-UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Helena Maria Lourenço Carvalho Remígio
Arguente(s): Prof. Doutora Maria da Glória Pereira Antunes
Vogal(ais): Prof. Doutor José Fernando Gomes Requeijo

Controlo Estatístico de Processos de Soldadura e Estampagem: Estudo de Caso na Indústria Automóvel

Copyright 2018 © Miguel Barreira Pardal Moutinho, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Dedicado à minha família

Agradecimentos

Apesar de todo este trabalho ser da minha autoria e responsabilidade, não seria possível sem a ajuda de muitas pessoas que de uma forma mais ou menos direta me ajudaram a alcançar este objetivo. Com este pensamento em mente expresso o meu agradecimento:

Ao Professor Doutor José Gomes Requeijo pela sua disponibilidade e profissionalismo, sendo para mim um docente de referência na FCT-UNL. Foi para mim um privilégio tê-lo como orientador desta dissertação.

A todos os meus colegas da MCG, empresa onde foi desenvolvida esta dissertação. Para além de todo o auxílio e ajuda dada ao longo destes meses na conceção e desenvolvimento deste trabalho, não posso deixar de agradecer o modo como fui recebido e me ajudaram (e ajudam) a crescer como profissional na área e como pessoa dia após dia.

Aos meus amigos: aqueles que já me acompanham desde a infância e aos que apareceram na minha vida nesta etapa da faculdade. um obrigado sincero a todos.

Agradecer à minha família, nomeadamente aos meus pais por todo o seu espírito de sacrifício e por me darem sempre todas as condições para alcançar os meus objetivos.

Qualidade é cada vez mais uma característica importante e diferenciadora no desenvolvimento das empresas nas mais variadas áreas, sendo por isso cada vez mais uma área de destaque e de elevada atenção por parte das empresas de modo a fornecer o melhor serviço ou produto possível aos seus clientes.

O estudo de caso apresentado nesta dissertação foi desenvolvido na MCG, empresa do ramo da indústria automóvel. Existe um problema associado à soldadura de uma peça, existindo um risco de produzir produto não conforme. Este componente é constituído por três componentes previamente estampados. Para ajudar a resolver este problema o objetivo desta dissertação consistiu no desenvolvimento e aplicação de métodos de controlo estatístico para controlar o processo de estampagem destes vários componentes e por fim, implementar um sistema de controlo e monitorização desta operação final de soldadura.

Para controlar estatisticamente estes processos foram utilizados cartas de controlo adaptadas às diferentes características dos processos (estampagem e soldadura) e aos meios disponíveis para recolhas de dados, destacando-se as cartas de controlo tradicionais e cartas de controlo adaptadas a 'Pequenas Produções'.

Analisando e estudando cada um dos processos destes componentes, apresentam-se sugestões de melhorias de modo a conseguir processos mais estáveis e capazes de produzir de acordo com as especificações do cliente e assim evitar a produção de produto não conforme.

Palavras Chave: Controlo Estatístico de Processo, Cartas de Controlo, Controlo Estatístico de 'Pequenas Produções', Estabilidade do Processo, Capacidade do Processo.

Quality is becoming more and more an important and differentiating feature in the development of companies in a wide range of areas, which is why it is becoming a prominent area of high attention by companies in order to deliver and provide the best service or product possible to their customers.

The case study presented in this dissertation was developed on MCG, a company in the automobile industry. There is a problem associated with the welding of a part with the risk of producing non-conform product. This part is the sum of three parts previously stamped. To help solving this problem, this thesis objective consists in the application of statistic control methods to control this process of stamping on the three parts and in the end the implementation of a statistic control methods to control and monitorize the final operation of welding.

To control these processes with statistical methods, were used control charts adapted to the different characteristics of the different processes (stamping and welding) and adapted to available measure equipments and data collection, highlighting then the traditional control charts and control charts adapted to short runs.

Analysing and studying each of these parts, the final stage of this dissertation refers to suggestions for improvements to achieve more stable and capable processes to avoid the production of non-conform products.

Key Words: Statistic Process Control, Control Charts, Control Chart for 'Short Runs', Process Stability, Process Capability.

Capítulo 1 – Introdução	1
1.1 Objetivo da Dissertação	1
1.2 Metodologia	2
1.3 Estrutura da Dissertação	2
Capítulo 2 – Contexto Teórico.....	5
2.1 Conceito de Qualidade	5
2.2 Controlo Estatístico Univariado do Processo	6
2.2.1 Carta de Controlo	7
2.2.2 Procedimento para Construir Cartas de Controlo – Fase 1 e Fase 2	9
2.2.3 Regras para deteção de Causas Especiais	10
2.2.4 Condições necessárias para a aplicação de Cartas de Controlo	11
2.2.4.1 – Aleatoriedade	12
2.2.4.2 – Independência	12
2.2.4.3 – Normalidade	12
2.3 Tipos de Cartas de Controlo.....	13
2.4 Capacidade do Processo	14
2.5 Controlo Estatístico de Pequenas Produções.....	15
2.5.1 Introdução	15
2.5.2 Cartas de Observações Individuais e Amplitude Móvel	16
2.5.3 Capacidade do Processo	17
2.5.4 Cartas Q	18
2.5.4.1 Cartas Q para Observações Individuais e Amplitudes Móveis	18
2.5.4.2 Capacidade do Processo – Carta Q	18
2.6 Estudo da Repetibilidade e Reprodutibilidade.....	19
2.6.1 Repetibilidade.....	19
2.6.2 Reprodutibilidade	20
2.6.3 Avaliação Sistema de medição	21
Capítulo 3 – Caracterização da Empresa	22
3.1 História e Localização	22
3.2 Áreas de Negócio	23
3.3 Tecnologia	23
3.4 Laboratório de Qualidade.....	23
3.5 Estrutura Organizacional	24
Capítulo 4 – Parte Experimental.....	26
4.1 Descrição do caso de estudo.....	26

4.2 Característica da qualidade em estudo.....	26
4.3 Componentes em Estudo.....	27
4.4 Componentes Estampados (A1, A2, A3).....	29
4.4.1 Componente A1.....	30
4.4.2 Componente A2.....	33
4.4.3 Componente A3	36
4.5 Componente Soldado (A) – Fase 1.....	39
4.6 Componente Soldado (A) – Fase 2.....	45
4.7 Componente Soldado (A) – Pontos sem Capacidade	48
4.8 Análise aos sistemas de medição – Estudos R&R.....	48
4.8.1 Máquina Tridimensional.....	48
4.8.2 Calibre com recurso ao comparador.....	51
Capítulo 5 - Conclusão	55
Referências Bibliográficas	58
Anexo A	61
Anexo B	63
Anexo C	85
Anexo D.....	97
Anexo E	111
Anexo F	117

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Carta de Controlo.....	8
Figura 2.2 – Regra para a deteção de causas especiais.....	11
Figura 3.1 – Representação geográfica da MCG.....	21
Figura 3.2 - Áreas de Negócio da MCG.....	22
Figura 3.3 – Etapas na concepção de um produto na MCG.....	23
Figura 4.1 – Componente A.....	26
Figura 4.2 – Componente A1.....	27
Figura 4.3 – Componente A2.....	27
Figura 4.4 – Componente A3.....	28
Figura 4.5 – Representação Pontos Componente A1.....	30
Figura 4.6 – Cartas Q(X) e Q(MR), Componente A1, Ponto1 (Produção1).....	30
Figura 4.7 – Cartas Q(X) e Q(MR), Componente A1, Ponto1 (Produção2).....	31
Figura 4.8 – Representação Pontos Componente A2.....	33
Figura 4.9 - Cartas Q(X) e Q(MR), Componente A2, Ponto1 (Produção1).....	34
Figura 4.10 – Cartas Q(X) e Q(MR), Componente A2, Ponto1 (Produção2).....	34
Figura 4.11 – Representação Pontos Componente A3.....	36
Figura 4.12 – Cartas Q(X) e Q(MR), Componente A3, Ponto1 (Produção1).....	36
Figura 4.13 – Cartas Q(X) e Q(MR), Componente A3, Ponto1 (Produção2).....	37
Figura 4.14 – Robot Soldadura Componente A.....	38
Figura 4.15 – Representação Pontos Componente A.....	39
Figura 4.16 – Metodologia do Processo de Soldadura.....	40
Figura 4.17 – Carta X e MR – Ponto 1 (Componente A).....	41
Figura 4.18 – Histograma Ponto1, teste de Kolmogorov-Smirnov.....	41
Figura 4.19 – Resumo Índices de Capacidade (Ponto1).....	43
Figura 4.20 – Carta Z(X) e W(MR) , Ponto2.....	45
Figura 4.21 – Carta Z(X) e W(MR) , Ponto3.....	45
Figura 4.22 – Carta Z(X) e W(MR) , Ponto6.....	46
Figura 4.23 – Exemplo de aplicação das cartas Z e W na MCG.....	46
Figura 4.24 – Diagrama Causa-Efeito : Pontos sem Capacidade.....	47
Figura 4.25 – Máquina Tridimensional.....	48
Figura 4.26 – Carta X (Máquina Tridimensional).....	49
Figura 4.27 – Carta R (Máquina Tridimensional).....	49
Figura 4.28 – Calibre com Comparador.....	50
Figura 4.29 – Cartas X e R (3 Operadores).....	52
Figura B.1 – Carta (X) e Q(MR) , Ponto1 (Produção1).....	63
Figura B.2 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto2 (Produção1).....	64

Figura B.3 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto3 (Produção1)	65
Figura B.4 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto4 (Produção1)	66
Figura B.5 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto5 (Produção1)	67
Figura B.6 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto6 (Produção1)	68
Figura B.7 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto7 (Produção1)	69
Figura B.8 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto8 (Produção1)	70
Figura B.9 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto9 (Produção1)	71
Figura B.10 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto10 (Produção1)	72
Figura B.11 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto11 (Produção1)	73
Figura B.12 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto1 (Produção2)	74
Figura B.13 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto2 (Produção2)	75
Figura B.14 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto3 (Produção2)	76
Figura B.15 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto4 (Produção2)	77
Figura B.16 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto5 (Produção2)	78
Figura B.17 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto6 (Produção2)	79
Figura B.18 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto7 (Produção2)	80
Figura B.19 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto8 (Produção2)	81
Figura B.20 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto9 (Produção2)	82
Figura B.21 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto10 (Produção2)	83
Figura B.22 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto11 (Produção2)	84
Figura C.1 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto2 (Produção1)	85
Figura C.2 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto2 (Produção1)	86
Figura C.3 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto3 (Produção1)	87
Figura C.4 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto4 (Produção1)	88
Figura C.5 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto5 (Produção1)	89
Figura C.6 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto6 (Produção1)	90
Figura C.7 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto1 (Produção2)	91
Figura C.8 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto2 (Produção2)	92
Figura C.9 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto3 (Produção2)	93
Figura C.10 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto4 (Produção2)	94
Figura C.11 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto5 (Produção2)	95
Figura C.12 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto6 (Produção2)	96
Figura D.1 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto1 (Produção1)	97
Figura D.2 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto2 (Produção1)	98
Figura D.3 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto3 (Produção1)	99
Figura D.4 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto4 (Produção1)	100
Figura D.5 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto5 (Produção1)	101
Figura D.6 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto6 (Produção1)	102

Figura D.7 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto7 (Produção1)	103
Figura D.8 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto1 (Produção2)	104
Figura D.9 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto2 (Produção2)	105
Figura D.10 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto3 (Produção2)	106
Figura D.11 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto4 (Produção2)	107
Figura D.12 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto5 (Produção2)	108
Figura D.13 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto6 (Produção2)	109
Figura D.14 – Cartas Q(X) e Q(MR) , Ponto7 (Produção2)	110
Figura E.1 – Cartas Observações Individuais e Médias Móveis – Ponto1	111
Figura E.2 – Cartas Observações Individuais e Médias Móveis – Ponto2	112
Figura E.3 – Cartas Observações Individuais e Médias Móveis – Ponto3	112
Figura E.4 – Cartas Observações Individuais e Médias Móveis – Ponto4	113
Figura E.5 – Cartas Observações Individuais e Médias Móveis – Ponto5	113
Figura E.6 – Cartas Observações Individuais e Médias Móveis – Ponto6	114
Figura E.7 – Cartas Observações Individuais e Médias Móveis – Ponto7	114
Figura E.8 – Cartas Observações Individuais e Médias Móveis – Ponto8	115
Figura E.9 – Cartas Observações Individuais e Médias Móveis – Ponto9	115
Figura E.10 – Cartas Observações Individuais e Médias Móveis – Ponto10	116
Figura E.11 – Cartas Observações Individuais e Médias Móveis – Ponto11	116
Figura F.1 – Histograma Ponto1, teste de Kolmogorov-Smirnov	117
Figura F.2 – Resumo Índices de Capacidade (Ponto1)	117
Figura F.3 – Histograma Ponto2, teste de Kolmogorov-Smirnov	118
Figura F.4 – Resumo Índices de Capacidade (Ponto2)	118
Figura F.5 – Histograma Ponto3, teste de Kolmogorov-Smirnov	119
Figura F.6 – Resumo Índices de Capacidade (Ponto3)	119
Figura F.7 – Histograma Ponto4, teste de Kolmogorov-Smirnov	120
Figura F.8 – Resumo Índices de Capacidade (Ponto4)	120
Figura F.9 – Histograma Ponto5, teste de Kolmogorov-Smirnov	121
Figura F.10 – Resumo Índices de Capacidade (Ponto5)	121
Figura F.11 – Histograma Ponto6, teste de Kolmogorov-Smirnov	122
Figura F.12 – Resumo Índices de Capacidade (Ponto6)	122
Figura F.13 – Histograma Ponto7, teste de Kolmogorov-Smirnov	123
Figura F.14 – Resumo Índices de Capacidade (Ponto7)	123
Figura F.15 – Histograma Ponto8, teste de Kolmogorov-Smirnov	124
Figura F.16 – Resumo Índices de Capacidade (Ponto8)	124
Figura F.17 – Histograma Ponto9, teste de Kolmogorov-Smirnov	125
Figura F.18 – Resumo Índices de Capacidade (Ponto9)	125
Figura F.19 – Histograma Ponto10, teste de Kolmogorov-Smirnov	126

Figura F.20 – Resumo Índices de Capacidade (Ponto10)	126
Figura F.21 – Histograma Ponto11, teste de Kolmogorov-Smirnov	127
Figura F.22 – Resumo Índices de Capacidade (Ponto10)	127

Índice de Tabelas

Tabela 4.1 – Especificações Componente A1	29
Tabela 4.2 – Resumo das duas produções – Estabilidade e Capacidade (A1).....	33
Tabela 4.3 – Especificações Componente A2	34
Tabela 4.4 – Resumo das duas produções – Estabilidade e Capacidade (A2).....	37
Tabela 4.5 – Especificações Componente A3	37
Tabela 4.6 – Resumo das duas produções – Estabilidade e Capacidade (A3).....	41
Tabela 4.7 – Especificações Componente A	42
Tabela 4.8 – Resumo teste de Kolgomorov-Smirnov	45
Tabela 4.9 – Resumo Capacidade Componente A.....	46
Tabela 4.10 – Parâmetros de Processo – Pontos com Capacidade	46
Tabela 4.11 – Estudo Repetibilidade (Resultados Medições)	52
Tabela 4.12 – Resultados Medições 3 Operadores – Calibre com Comparador	55
Tabela A.1 – Valores Críticos Distribuição Estatística D (Lilliefors).....	59
Tabela A.2 – Constantes para Cartas Tradicionais de Variáveis.....	60

Abreviaturas e Siglas

A, A₂, A₃ – Fatores para a construção das cartas de controlo de variáveis

ARL – Average Run Length

B₂, B₃, B₄ – Fatores para a construção das cartas de controlo de variáveis

C₄ – Fator para a construção das cartas de controlo de variáveis

C_p – Índice de Capacidade Potencial do Processo

C_{pk} – Índice de Capacidade do Processo

(C_{pk})_S, (C_{pk})_I – Índice de capacidade Superior ou Inferior

d – Estatística de teste Kolmogorov-Smirnov

d₂ – Fatores para a construção das cartas de variáveis

D_{crítico} – Valor crítico para o teste Kolmogorov-Smirnov

K-S – Kolmogorov-Smirnov

LC – Linha Central

LIE, LSE – Limite Inferior de Especificação, Limite Superior de Especificação

m – Número de amostras

N – Número de dados

n – Dimensão da amostra

Q – Variável adimensional normalmente distribuída com $\mu = 0$ e $\sigma^2 = 1$

Q_i(X_i) – Estatística Q dada pela transformação de X_i

(Q_S)_j, (Q_I)_j – Índice de capacidade superior ou inferior quando se utilizam cartas Q

R – Amplitude amostral

R – Média das amplitudes de determinada amostra

SPC – *Statistical Process Control*

X – Característica da Qualidade

\bar{X} – Média amostral

X_i – Observação da característica X no instante i

Z_S, Z_I – Índices de capacidade superior e inferior para cartas Z.

α – Nível de Significância, Risco tipo I (Risco do Produtor)

β – Risco tipo II (Risco do Consumidor)

μ – Média do Processo

ν – Número de graus de liberdade

σ^2 – Variância do Processo

Introdução

Num mundo cada mais vez pequeno e competitivo, as empresas têm vindo a apostar cada vez mais na sua diferenciação e inovação para não perderem o seu lugar no mercado. A Qualidade assume um papel fundamental para competirem com a concorrência, assumindo cada vez mais destaque nas empresas desde há um século até aos nossos dias. Também da parte do consumidor existe cada vez uma maior sensibilidade e exigência em relação ao produto adquirido.

Neste contexto, aliado a avanços em outras áreas como a estatística, as empresas atualmente procuram mais do que nunca combater o desperdício e reduzir os custos de produção, recorrendo a novas metodologias.

De entre várias ferramentas desenvolvidas no século XX, o Controlo Estatístico do Processo (SPC) apresenta-se como uma ferramenta importante na avaliação da estabilidade e posteriormente da capacidade do processo, conseguindo também estimar os diversos parâmetros do mesmo. Para além de ser um ótimo instrumento para uma melhor tomada de decisão também apresenta a vantagem de ser uma ferramenta 'online', conseguindo assim ser feita uma análise no decorrer do processo, apostando assim numa política de prevenção, reduzindo custos e aumentando a satisfação do cliente.

1.1 Objetivo da Dissertação

Esta dissertação tem como principal objetivo o desenvolvimento e implementação de métodos de controlo estatístico, nomeadamente cartas de controlo, que permitam o controlo e a melhor análise dos processos de estampagem e soldadura de um componente automóvel fabricado na fábrica Manuel da Conceição Graça, também denominada por MCG.

Através desta ferramenta (cartas de controlo) é pretendido perceber se existem variações dimensionais entre diferentes lotes de produção de peças estampadas, quer na sua estabilidade quer na sua capacidade de produzir de acordo com as especificações. Devido à natureza da indústria e realidades de negócio, estes lotes são produzidos em elevadas quantidades num curto espaço de tempo, denominando-se este tipo de produção como "Pequena Produção" (*Short Run*), sendo assim necessário que as cartas de controlo utilizadas sejam adaptadas a esta realidade. Por outro lado, é necessário também perceber em que estado se encontra o processo de soldadura, servindo também para este propósito a utilização de cartas de controlo tradicionais

e análise estatística (SPC). Depois desta análise, estas ferramentas funcionarão como uma técnica de monitorização dos processos referidos.

Por fim através da implementação destas ferramentas serão apresentadas algumas sugestões de melhoria.

1.2 Metodologia

Como já referido anteriormente, para alcançar o objetivo proposto irão ser apresentadas e aplicadas algumas técnicas de controlo estatístico, dependendo do processo a considerar. Antes de qualquer aplicação irá ser apresentado a estrutura teórica referente a estas técnicas de controlo estatístico. Numa primeira fase serão analisadas as diferentes peças que fazem parte do conjunto final soldado na sua fase de estampagem. Devido às suas características de produção, serão aplicadas cartas de controlo adaptadas a uma produção *Short Run*, denominado de controlo estatístico de ‘pequenas produções’. Devido ao facto de não existir tempo para uma recolha de dados de modo a reproduzir a Fase 1 e Fase 2 separadamente, irão ser usadas cartas de controlo $Q(X)$ e $Q(MR)$. Para analisar o conjunto final soldado irá ser aplicada numa primeira fase as cartas de controlo tradicionais para a estimação dos parâmetros dos processos e análise da respetiva capacidade. Numa segunda fase, para um acompanhamento na linha deste processo de soldadura irão ser aplicadas cartas com base no controlo estatístico de ‘Pequenas Produções’, nomeadamente cartas Z e W, para características do componente soldado que apresentem capacidade de produzir de acordo com as especificações.

1.3 Estrutura da Dissertação

O primeiro capítulo tem como objetivo a apresentação das temáticas abordadas nesta dissertação, o seu objetivo prático e a metodologia utilizada.

O segundo capítulo tem como objetivo fornecer todo o contexto teórico que fundamenta o trabalho prático realizado nesta dissertação. Este capítulo apresenta então sobre o ponto de vista teórico o conceito de Qualidade, o conceito de Controlo Estatístico do Processo e os seus pressupostos para uma correta implementação. Dentro destas considerações o destaque é dado às Cartas de Controlo utilizadas no presente trabalho prático. No final deste capítulo é também apresentada a contextualização teórica para a metodologia do controlo estatístico de processo para ‘Pequenas Produções’.

O terceiro capítulo apresenta a Empresa em que foi realizado todo este estudo de caso, apresentado uma breve descrição histórica e principais áreas de negócio.

O quarto capítulo apresenta todo o trabalho prático realizado no âmbito desta dissertação; este trabalho apresentado estende-se deste o tratamento de dados até à aplicação dos conceitos apresentados no segundo capítulo.

O quinto e último capítulo apresenta as conclusões obtidas perante a realização do trabalho desenvolvido no capítulo anterior, apresentando então os resultados finais e sugestões de melhoria para realizar no futuro.

Contexto Teórico

Este capítulo tem como objetivo principal apresentar os conceitos teóricos em que se baseia todo este caso de estudo, nomeadamente os conceitos de Qualidade e Controlo Estatístico do Processo. Sobre o primeiro, será apresentada a sua definição, a sua evolução no contexto histórico e a sua importância atual. Em relação ao controlo estatístico de processos, serão abordados os conceitos de cartas tradicionais de Shewhart e quais os pilares sobre os quais esta ferramenta se baseia. Será depois também apresentado o caso especial das cartas de controlo adaptadas a pequenas produções, usadas também nesta dissertação, denominado por Controlo Estatístico de Pequenas Produções.

2.1 Conceito de Qualidade

Segundo Pereira e Requeijo (2012) o conceito de qualidade sempre foi intrínseco à natureza humana. A noção de executar bem um trabalho recorrendo às ferramentas ou meios mais adequados sempre foram uma preocupação em todas as civilizações.

Apesar de esta noção de qualidade ser desde sempre uma preocupação do Homem, quantificar esta Qualidade envolvendo princípios estatísticos é um conceito moderno (Juran, 1999).

Segundo Doty (1997), a qualidade não tem o mesmo significado para todas essas pessoas e em todas as circunstâncias. A nível industrial este conceito de qualidade está relacionado com a facilidade de um produto se encontrar de acordo com alguma especificação técnica, satisfazendo assim os consumidores.

Mitra (2008) defende que a qualidade de um produto ou serviço é a aptidão que o produto ou serviço apresenta para satisfazer ou exceder a expectativa pretendida pelo cliente. A expectativa de qualidade referente a um serviço ou produto é sempre definida pelo consumidor, sendo assim obrigação do produtor trabalhar para esses níveis de qualidade. De acordo com esta definição, a ideia de Qualidade não é fixa e muda consoante o grupo de consumidores.

Segundo Montgomery (2013), a Qualidade de um produto tornou-se um dos pontos mais importantes na decisão do consumidor quando confrontado com várias opções de fornecedores/serviços.

Garvin (1987) descreve 8 componentes que podem ajudar a dimensionar esta qualidade, sendo estes componentes:

- 1 – Performance: Irá o realizar o seu trabalho previsto?
- 2 – Confiança: O quão frequente é acontecer uma falha no produto?
- 3 - Durabilidade: Quanto tempo vai o produto durar?
- 4 – Facilidade de Manutenção: Qual a facilidade para reparar o produto?
- 5 – Estética: Como é a aparência do produto?
- 6 – Características: O que faz o produto?
- 7 – Qualidade Reconhecida: Qual é a reputação da empresa? E do produto?
- 8 – Conformidade com o Standard: O produto final está de acordo com as intenções iniciais dos seus criadores?

Muitos dos conceitos e técnicas sobre Qualidade usados hoje em dia tiveram o seu aparecimento e crescimento durante o século XX, nomeadamente no pós-Guerra, Gomes (2004) afirma que a nossa definição de Qualidade é resultado de esforços e estudos efectuados por diversas personalidades como os americanos Deming e Juran ou os nipónicos Ishikawa e Taguchi. Estas figuras juntamente com outras suas contemporâneas desenvolveram aquilo que hoje é conhecido como as Sete Ferramentas da Qualidade, sendo elas: Fluxograma, Histograma, Folhas de registo e verificação, Diagrama de Pareto, Gráfico de Dispersão, Diagrama de causa-efeito e Cartas de Controlo ferramentas transversais na sua aplicação a qualquer tipo de indústria ou serviços.

2.2 Controlo Estatístico Univariado do Processo

Controlo Estatístico do Processo também conhecido por SPC (Statistical Process Control) foi numa primeira fase desenvolvido por Walter A. Shewhart. Esta ferramenta é usada para controlar estatisticamente processos, analisando a sua variabilidade e funcionando também como uma metodologia para perceber se determinado processo está a produzir de acordo com as especificações técnicas, denominando-se este estudo por capacidade de processo.

Pitt (1994) defende que é fundamental perceber como é que o processo se comporta ao longo do tempo e que o controlo estatístico do processo serve para controlar este mesmo processo e também para redesenhar e melhorar este processo.

Segundo Montgomery (2013), a introdução do controlo estatístico do processo irá estabilizar o mesmo e reduzir a sua variabilidade. Esta ferramenta tem sido ao longo dos anos alvo de grande atenção por parte de numerosos académicos como Juran e Gryna (1993), Doty (1994), Pitt (1994), Juran (1999), Pereira e Requeijo (2008) entre muitos outros.

Um dos principais objetivos do controlo estatístico do processo é a deteção de causas especiais e a sua distinção das causas comuns de variação. As causas comuns de variação são inerentes ao processo e as causas especiais de variação causam excessiva variação no processo e devem ser eliminadas. Idealmente, só devia existir no processo causas comuns de variação, reproduzindo assim um processo estável e previsível. Um processo que opera sem causas especiais é chamado como processo sob controlo estatístico (Juran, 1999).

Como referido anteriormente, o controlo estatístico do processo serve como uma análise ao desempenho do processo, com objetivo de eliminar causas especiais de variação e com isto tornar o processo mais estável e com uma menor variabilidade. Para atingir estes objetivos, o controlo estatístico do processo recorre às sete ferramentas da qualidade já referidas anteriormente, com especial destaque para as Cartas de Controlo.

2.2.1 Carta de Controlo

As Cartas de Controlo Tradicionais, também conhecidas como Cartas de Controlo de Shewart, devido ao facto de ter sido Walter A. Shewart quem desenvolveu esta metodologia na década 1920, é uma ferramenta gráfica indicada para monitorizar a estabilidade de um processo em andamento. Estas características podem ser por exemplo, diâmetro médio, tensões médias, resistências ou tempos de serviço médios (Mitra, 2008).

Segundo Mitra (2008) diversos benefícios podem ser retirados de uma boa implementação desta ferramenta; estas cartas podem indicar:

- 1 – Quando implementar ações corretivas.
- 2 – Qual o tipo de correções a efetuar.
- 3 - Quando deixar o processo correr sem intervenções.
- 4 – Analisar e calcular a capacidade do processo.
- 5 – Possíveis maneiras de melhorar o processo

Pereira e Requejo (2012) afirmam que uma carta de controlo é a representação gráfica de uma evolução ao longo do tempo de uma estatística (w) que está associada a uma característica da qualidade. Para além destes pontos em estudo, é possível calcular e representar os limites inferiores e superiores de controlo e ainda uma linha central, significando esta o valor médio desta característica w (Figura 2.1).

Para calcular estes limites referidos em cima recorre-se às seguintes equações:

$$LC = \mu_w \quad (2.1)$$

$$LSC = \mu_w + 3\sigma_w \quad (2.2)$$

$$LIC = \mu_{\omega} - 3\sigma_{\omega} \quad (2.3)$$

Seguindo estes limites, a probabilidade de um ponto estar fora dos limites de controlo (acima do limite superior de controlo ou abaixo do limite inferior de controlo) é de 0,27%. O inverso, isto é, a probabilidade de um ponto se situar entre os limites de controlo é então 99.73%. Pontos fora deste intervalo limitado pelos limites inferiores e superiores de controlo indicam que o processo não está controlado estatisticamente.

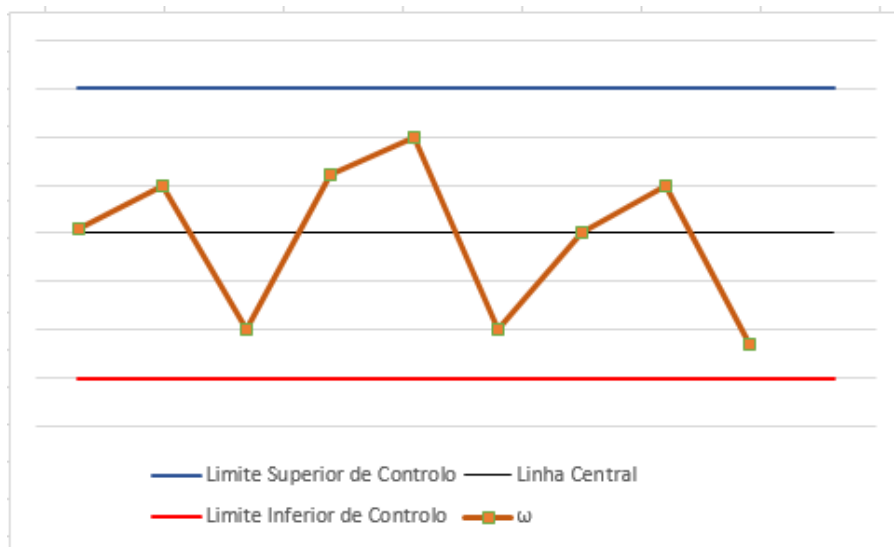


Figura 2.1 - Carta de Controlo

Segundo Montgomery (2013) afirma que precisamos de especificar a dimensão da amostra e a frequência da amostragem. De forma geral, amostras de maiores dimensões tornam mais fácil a deteção de pequenas variações no processo, por outro lado caso as variações no processo sejam grandes a dimensão da amostra pode ser pequena. Existe muitas vezes um problema associado à frequência da amostragem: idealmente seria desejável retirar grandes amostras de uma forma frequente no tempo, embora isto levante um problema do ponto de vista económico em muitas indústrias ou serviços.

Devido a esta questão da dimensão da amostra versus a frequência da amostragem, Montgomery (2013) define como forma de avaliar o desempenho das cartas de controlo a utilização do valor ARL (Average Run Length). ARL representa o número médio de pontos que são inseridos na carta de controlo até aparecer um ponto que se encontre fora desta zona de controlo. Se os dados observados não sofrerem de auto correlação, para qualquer carta de controlo o ARL pode ser calculado como:

$$ARL = \frac{1}{p} \quad (2.4)$$

Onde p é a probabilidade de qualquer ponto exceder os limites de controlo quando este processo se encontra sob controlo estatístico.

Tendo em conta os limites definidos na carta de controlo de acordo com as equações (2.1), (2.2) e (2,3) a probabilidade de um ponto se encontrar fora dos limites quando o processo se encontra controlado estatisticamente é 0,27%. Calculando então o valor do valor do ARL tem-se que:

$$ARL = \frac{1}{p} = \frac{1}{0.0027} = 370 \quad (2.5)$$

Isto significa que, mesmo com o processo controlado estatisticamente, em média a cada 370 pontos a carta apresentará um valor fora de controlo.

Quando o processo se encontra controlado estatisticamente, pretende-se que este valor de ARL seja o mais elevado possível, evitando assim o mais possíveis falsos alarmes. O raciocínio contrário também pode ser aplicado quando o processo não se encontra sobre controlo estatístico, sendo assim desejável que este valor de ARL seja o menor possível, para uma maior rapidez na deteção de variações no processo.

2.2.2 Procedimento para Construir Cartas de Controlo – Fase 1 e Fase 2

O uso de cartas de controlo envolve fases de aplicação diferentes com objetivos diferentes, definidas como Fase 1 e Fase 2. A primeira fase consiste na recolha de dados para calcular os limites de controlo e perceber se o processo se encontra sob controlo estatístico. Depois de garantir que o processo se encontra controlado estatisticamente pode-se assumir que essas são as condições representativas do estado do processo e estimar os respetivos parâmetros (média e variância) e também a sua capacidade de produzir de acordo com as especificações. A Fase 2 funciona então para monitorizar o processo, sendo a partir desta fase adicionadas amostras da característica em estudo à carta de controlo para controlar o processo (Montgomery, 2013). Pereira e Requejo (2012) apresentam uma sequência de passos para a construção das cartas de controlo na Fase 1 e depois na Fase 2:

- 1 - Selecionar a característica da qualidade a estudar
- 2- Desenvolver um plano de controlo em se defina a dimensão da amostra, frequência da amostragem e equipamentos/métodos de medição.
- 3- Selecionar qual a carta de controlo a utilizar em função da estatística escolhida.
- 4- Recolher m amostras de dimensão n durante um determinado período de tempo, fazendo um

total de N unidades ($N = m \cdot n$) garantindo que $N > 100$.

- 5– Calcular a estatística a controlar para cada uma das amostras.
- 6 - Determinar os limites de controlo com base nas amostras recolhidas
- 7– Verificar a existência de causas especiais de variação
- 8– Eliminar os pontos que evidenciam a existência de causas especiais de variação.
- 9– Recalcular os limites de controlo.
- 10– Construir a carta de controlo Revista
- 11 - Verificar se o processo apresenta apenas causas comuns de variação.

Depois de terminada esta fase, pode-se iniciar na Fase 2 que tem como já mencionado o objetivo de monitorizar o processo.

- 1– Representar na carta de controlo os Limites de Controlo determinados na primeira fase.
- 2– Recolher a amostra da característica em estudo, determinar a estatística calculada e representar o valor no gráfico.
- 3– Verificar se existem causas especiais de variação
- 4– Em caso de existirem causas especiais de variação deve se investigar e identificar a causa e implementar ações corretivas necessárias para resolve o problema.

2.2.3 Regras para deteção de Causas Especiais

Nas cartas de controlo é possível observar causas comuns e causas especiais de variação. Um processo encontra-se sob controlo estatístico se nele só residirem causas comuns de variação. Controlar um processo estatisticamente é alcançado através da deteção e eliminação destas causas especiais (Mitra, 2008).

Uma causa especial de variação é qualquer ponto acima ou abaixo dos limites superiores ou inferiores de controlo respetivamente. Para além desta causa especial, existem padrões não aleatórios que merecem atenção e sempre que estes se evidenciem nas cartas de controlo, estaremos na presença de causas especiais de variação (Figura 2.2).

Ao longo dos anos foram publicadas regras que permitem reconhecer padrões sistemáticos, atualmente considera-se a ISO 7870-2:2013, esta norma apresenta 8 regras para deteção de causas especiais. Para a aplicação destas regras utiliza-se os limites superiores e interiores de controlo estabelecidos anteriormente e assume-se que este intervalo está dividido em seis zonas, cada um equivalente a $1 \sigma_\omega$ e designadas por A, B, C, em que C é simétrica em relação à linha central (Pereira e Requeijo, 2012).

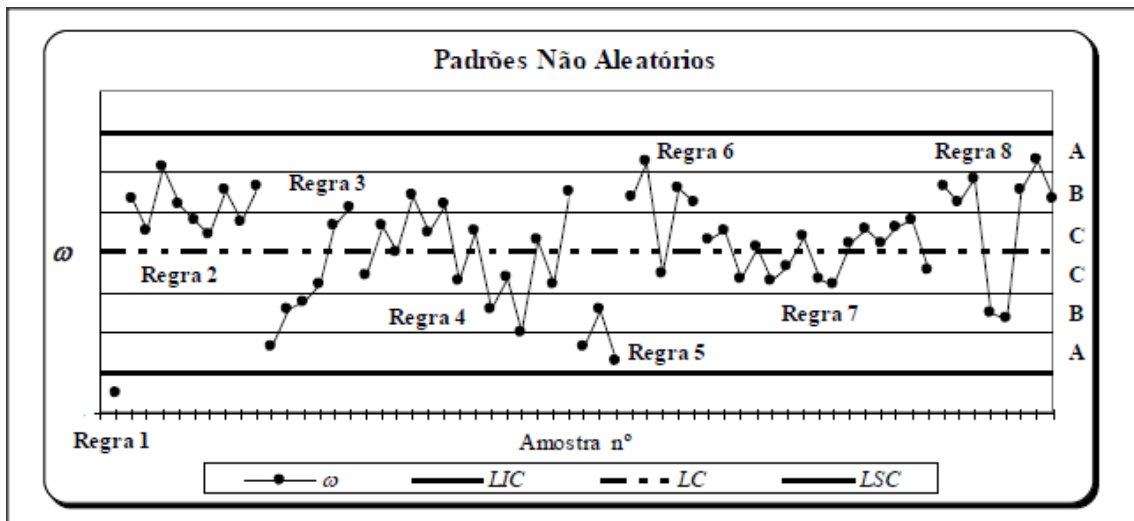


Figura 2.2 - Regra para a detecção de causas especiais (adaptado da norma ISO 8258:1991)

Regra 1 - Um qualquer ponto fora dos limites de Ação.

Regra 2 – Nove pontos consecutivos no sentido ascendente ou descendente.

Regra 3 – Seis pontos consecutivos no sentido ascendente ou descendente.

Regra 4 – Catorze pontos consecutivos crescendo ou decrescendo alternadamente.

Regra 5 – Dois de três pontos consecutivos na zona A, ou além desta zona, do mesmo lado da linha central.

Regra 6 – Quatro de cinco pontos consecutivos na zona B ou A, ou além destas zonas, do mesmo lado da linha central.

Regra 7 – Quinze pontos consecutivos na zona C acima e abaixo da linha central.

Regra 8 – Oito pontos consecutivos de ambos os lados da linha central, sem nenhum ponto na zona C.

2.2.4 Condições necessárias para a aplicação de Cartas de Controle

Para uma correta análise das cartas de controle é necessário que os dados associados à criação destas cartas sigam um conjunto de características. Estes dados devem ser independentes e Normalmente distribuídos com média μ e variância σ^2 . A não verificação destas condições poderá resultar numa má análise e conseqüentemente uma má utilização desta ferramenta. São estas condições então necessárias a verificar: Aleatoriedade, Independência e a Normalidade dos dados.

2.2.4.1 – Aleatoriedade

Para uma correta aplicação das cartas de controlo, os dados considerados não devem apresentar nenhuma correlação, apresentando então assim um comportamento não previsível, isto é, aleatório. Esta não aleatoriedade pode acontecer devido a vários fatores como por exemplo a mistura de populações ou a correlação existente entre observações consecutivas. Para uma análise destes dados quanto a esta questão pode-se utilizar os seguintes métodos: testes de Sequências, teste de Sequências Ascendentes ou Descendentes ou o teste Modificado do Quadrado Médio das Diferenças Significativas (Pereira e Requeijo,2012).

2.2.4.2 – Independência

Para uma correta análise das cartas de controlo é fundamental que os dados se apresentem independentes, a sua não independência é significado de dados auto-correlacionados, isto faz então com que os dados num determinado instante dependam dos anteriores.

Se os dados não se apresentarem independentes os limites e parâmetros do processo estimados estarão errados, não considerar esta auto-correlação implicará uma diminuição do ARL quando o processo se encontra em controlo estatístico e com isto o número de falsos alarmes irá aumentar (Pereira e Requeijo, 2012).

Quando a auto-correlação é verificada é necessário perceber qual a sua origem. Uma causa pode ser natural e inerente ao processo (situação característica em processos químicos) as cartas tradicionais até agora consideradas não são uteis e devem ser descartadas. Por outro lado, esta auto-correlação pode ter como origem causas especiais de variação e nesse caso as cartas de controlo servem para estudar e detectar essa situação (Gilbert et al., 1997).

Para detectar se existe auto-correlação num conjunto de dados pode recorrer-se à Função de Auto-Correlação (FAC) e à Função de Auto-Correlação Parcial (FACP).

Para efeitos práticos, no caso de estudo apresentado nesta dissertação assume-se que os dados são independentes.

2.2.4.3 – Normalidade

As cartas de Shewhart apoiam-se na premissa que a característica em estudo segue uma distribuição Normal. Não é recomendável assumir esta característica sem a sua verificação pois pode colocar em causa todas as posteriores conclusões.

Utilizar cartas de controlo quando os dados não se apresentam a seguir distribuição normal pode resultar em falsos alarmes ou por outro lado, não detectar causas especiais de variação, este problema pode estender-se ao estudo da capacidade do processo, sendo também possível chegar a conclusões erradas.

Quando se pretende estudar uma característica através de amostras com dimensão igual ou superior a quatro, não é necessário testar a Normalidade devido ao facto do Teorema do Limite Central a distribuição de médias amostrais ser Normal (Spedding & Rawlings, 1994).

Quando as amostras são individuais ($n=1$) torna-se então fundamental fazer-se o estudo quanto à normalidade dos dados, existem vários métodos a considerar sendo os mais recorrentes o teste do Qui-Quadrado e o teste de Kolmogorov-Smirnok (K-S).

Quando a Normalidade dos dados não se verifica devem ser utilizadas novas técnicas como a Caracterização da Distribuição de Dados, Método da Variância Ponderada ou Transformação dos Dados (Transformação de Box-Cox ou transformação pelo Sistema de Distribuições de Johnson (SDJ).

2.3 Tipos de Cartas de Controlo

Existem casos em que a amostra é formada por uma única observação individual, ou seja $n=1$, usando-se então a carta de controlo de Observações (X) e amplitudes móveis (MR, Moving Range). Estas cartas são bastante uteis quando por exemplo medição da característica é cara e então não se torna interessante do ponto de vista económico recolher amostras com mais de uma observação.

Com observações individuais não é possível calcular uma estatística que indique a dispersão do processo, para contornar este problema recorre-se a amostras fictícias, constituídas por observações consecutivas, entre as quais se calcula a chamada amplitude móvel.

$$MR_i = |X_i - X_{i-1}| \quad (2.6)$$

Os limites de controlo são calculados da seguinte maneira:

Carta de observações individuais (Carta X):

$$LSC_x = \bar{X} + 3 \frac{MR}{d_2} \quad (2.7)$$

$$LC_x = \bar{X} \quad (2.8)$$

$$LIC_x = \bar{X} - 3 \frac{MR}{d_2} \quad (2.9)$$

Carta de Amplitudes Móveis (Carta MR)

$$LSC_{MR} = D_4 \bar{MR} \quad (2.10)$$

$$LC_{MR} = \bar{MR} \quad (2.11)$$

$$LIC_{MR} = D_3 \bar{MR} \quad (2.12)$$

Depois do processo se encontrar sob controlo estatístico pode-se então recorrer à estimação dos parâmetros de processo, que para o caso das Cartas de Observações Individuais e Amplitude Móveis estimam-se da seguinte maneira.

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

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{MR}}{d_2} \quad (2.14)$$

2.4 Capacidade do Processo

Juran (1999) defende que a avaliação da capacidade é um passo importante na melhoria da qualidade de um processo. O mesmo autor defende que a capacidade de um processo deve ser medida quando este se encontra sob controlo estatístico, isto é, um processo em que a sua variação seja apenas devido a causas comuns.

A capacidade do processo reflete a variação devida a causas comuns, este estudo é muito importante porque ajuda a perceber se o processo é capaz de produzir de acordo com as especificações (Pereira e Requeijo, 2012).

É assumido que a característica apresenta uma característica Normal e com isto 99,73% dos seus dados estão compreendidos no intervalo $\mu \pm 3\sigma$, admitindo-se assim uma variação de 6σ (Mitra, 2008).

O índice de capacidade pretende assim perceber se o processo é capaz de produzir de acordo com a especificação com uma variabilidade aceitável.

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (2.15)$$

Um C_p (Índice de Capacidade Potencial) superior a 1,33 é sinónimo de um processo potencialmente capaz. Pode ser possível um processo apresentar um C_p superior a 1,33 e mesmo assim produzir material não conforme devido à sua média não estar centrada com o valor nominal (Pereira e Requeijo, 2012).

O índice C_{pk} considera não só a dispersão como também a localização da média e é definido por:

$$C_{pk} = \min((Cpk)_I, ((Cpk)_S)) \quad (2.16)$$

$$(Cpk)_I = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \quad (2.17)$$

$$(Cpk)_S = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \quad (2.18)$$

Considera-se um processo com capacidade se o mesmo apresentar um valor de Cpk superior ou igual a 1,33 e o mesmo centrado com o valor nominal quando $(Cpk)_S = (Cpk)_I$

Montgomery (2013) afirma que o C_p mede a capacidade potencial de um processo enquanto que o C_{pk} mede a atual capacidade do processo.

2.5 Controlo Estatístico de Pequenas Produções

Outra temática a ser abordada no caso de estudo desta dissertação tem como referência o controlo estatístico de pequenas produções, esta metodologia irá ser abordada nos pontos em baixo.

2.5.1 Introdução

Atualmente as empresas apostam cada vez mais na redução de armazenamento de matérias-primas, componentes, produtos em via de fabrico e produtos finais, qualquer existência de stock é considerada como um desperdício que acrescenta custos desnecessários à empresa (Pereira e Requeijo, 2012).

Entende-se como pequena produção aquela em que o número de unidades a produzir de cada vez seja muito pequeno ou o número de unidades é suficientemente grande embora a sua produção ocorra rapidamente em termos temporais. Devido a estas características o procedimento normal de retirar 20 ou 30 amostras não é praticável (Juran, 1999).

Todas as cartas dentro da temática Short Run são adaptações das cartas tradicionais de Shewart e por isso, todos os seus pressupostos inerentes às cartas tradicionais também se aplicam a estas. As regras de detecção de causas especiais anteriormente indicadas também serão válidas para este tipo de cartas.

Para além da separação entre cartas de variáveis e atributos, na temática das pequenas produções também se podem ter casos em que existe um número suficiente para estimar os parâmetros do processo e um número insuficiente para estimar parâmetros do processo. No âmbito desta dissertação serão aplicadas cartas Z, W e Q e por isso estas serão abordadas do ponto de vista teórico neste capítulo.

2.5.2 Cartas de Observações Individuais e Amplitude Móvel

Aplicando o conceito de pequenas produções aplicado a observações individuais pode-se então definir as variáveis Z e W por:

$$(Z_i)_j = \frac{X_i - \mu}{\sigma_j} \quad (2.19)$$

$$(W_i)_j = \frac{(|Z_i - Z_{i-1}|)}{d_2} \quad (2.20)$$

Os valores do processo dos parâmetros são estimados na fase 1 do SPC, os limites de controlo considerados são dados por:

$$LSC_Z = 3 \quad (2.21)$$

$$LC_Z = 0 \quad (2.22)$$

$$LIC_Z = -3 \quad (2.23)$$

$$LSC_{W_{MR}} = D_4 \quad (2.24)$$

$$LC_{W_{MR}} = 1 \quad (2.25)$$

$$LIC_{W_{MR}} = D_3 \quad (2.26)$$

2.5.3 Capacidade do Processo

Estas cartas são de um movimento geral, preferencialmente aplicadas na Fase 2, como uma ferramenta para monitorizar o processo. Pereira e Requeijo (2012) desenvolveram índices específicos para controlar a capacidade do processo denominados Z_i e Z_s .

Este índice tem como fundamento o índice C_{pk} , sendo um processo considerado capaz de produzir de acordo com as especificações se o seu índice for maior ou igual a k , mais propriamente considerando uma especificação bilateral, 1,33.

Calculam-se então os índices para cada instante r através das seguintes equações

$$((\hat{Z})_{I r j}) = \left(\frac{L - U - \bar{X}_r}{k\hat{\sigma}_r} \right)_j \quad (2.27)$$

$$((\hat{Z})_{S r j}) = \left(\frac{L - U - \bar{X}_r}{k\hat{\sigma}_r} \right)_j \quad (2.28)$$

As estimações dos parâmetros no instante r são obtidas através de:

$$\hat{\mu} = \bar{X}_r \quad (2.29)$$

$$\hat{\sigma}_r = \frac{MR}{d_2} \quad (2.30)$$

Afirma-se que o processo é capaz se $(Z_I)_j$ é inferior a - 3 e $(Z_S)_j$ é superior a 3.

Estes índices são uma ferramenta muito útil graficamente, observando-se assim a cada instante se o processo apresenta capacidade.

2.5.4 Cartas Q

Existem situações em que os parâmetros dos processos não podem ser corretamente estimados, causando assim uma incompatibilidade com o desenvolvimento das cartas Z e W, visto que estas dependem dos parâmetros de processo calculados na Fase 1. Charles Quesenberry (1997) desenvolveu uma metodologia de maneira a resolver este problema. Esta metodologia consiste em transformar a característica da qualidade X numa variável Q, em que X é uma variável contínua. A variável Q segue aproximadamente a distribuição Normal reduzida com média zero e variância um. Assume-se também que os valores de X são independentes e identicamente distribuídos segundo uma distribuição Normal. Todos os princípios subjacentes às cartas tradicionais de Shewhart podem também, ser aplicadas às cartas Q.

2.5.4.1 Cartas Q para Observações Individuais e Amplitudes Móveis

A variável X, formada por observações endívias é transformada no instante r na estatística Q, assumindo as características anunciadas anteriormente. A carta de controlo Q(X) é então definida por:

$$Q_r(X_r) = \Phi^{-1} \left\{ G_{r-2} \left[\sqrt{\frac{r-1}{r}} \left(\frac{X_r - \bar{X}_{r-1}}{S_{r-1}} \right) \right] \right\}, r = 3, 4 \dots \quad (2.31)$$

A dispersão do processo é obtida através da carta Q(MR) no instante r, esta é obtida através da equação.

$$Q_r(MR_r) = \Phi^{-1} \left\{ F_{1,v} \left(\frac{v(MR)_r^2}{(MR)_2^2 + (MR)_4^2 + \dots + (MR)_{r-2}^2} \right) \right\}, r = 4, 6 \dots; \quad (2.32)$$

O número de graus de liberdade é dado por:

$$v = \frac{r}{2} - 1 \quad (2.33)$$

2.5.4.2 Capacidade do Processo – Carta Q

Estas cartas são de um modo geral, preferencialmente aplicadas na Fase 2, como uma ferramenta para monitorizar o processo. Pereira e Requeijo (2012) desenvolveram índices

específicos para controlar a capacidade do processo denominados Q_S e Q_I .

Este índice tem como fundamento o índice Cpk, sendo um processo considerado capaz de produzir de acordo com as especificações se o seu índice for maior ou igual a k, mais propriamente considerando uma especificação bilateral, 1,33.

No instante r as estimativas destes índices podem se calcular através das seguintes equações.

$$(Q_I)_r = \frac{LIE - \hat{\mu}}{k\hat{\sigma}} \quad (2.34)$$

$$(Q_S)_r = \frac{LSE - \hat{\mu}}{k\hat{\sigma}} \quad (2.35)$$

As determinações das estimativas dos parâmetros no instante r são calculadas através das seguintes equações.

$$\hat{\mu} = \bar{X} \quad (2.36)$$

$$\hat{\sigma} = \frac{S^r}{c_4} \quad (2.37)$$

2.6 Estudo da Repetibilidade e Reprodutibilidade

2.6.1 Repetibilidade

Um dos métodos possíveis para o cálculo da repetibilidade envolve a utilização de cartas \bar{X} , e R. Os dados utilizados na construção destas cartas são constituídos por medições repetitivas efetuadas numa mesma unidade de produto.

Ao contrario do que seria espectável numa carta de controlo da média, o objetivo neste tipo de estudo passa pela observação de um maior número possível de pontos fora de controlo na carta \bar{X} , pois este resultado indica que o equipamento de medição apresenta um bom poder discriminatório. A carta R deve apresentar todos os pontos sob controlo estatístico. (Pereira e Requeijo, 2012).

O procedimento para este estudo pode ser descrito em vários passos

1 – Recolha aleatória de m unidades de produto, é recomendável utilizar dez ou mais unidades do produto e efetuar um mínimo de cinco medições em cada unidade.

2 – Numeração das m unidades e medição da característica X de forma aleatória em cada uma das m unidades.

3 – Repetição do passo 2 até obter o número desejado de medições para cada unidade (r).

4 – Construção das cartas \bar{X} e R e respectiva análise.

A estimação do desvio padrão da repetibilidade deve ser dada por:

$$\hat{\sigma}_{repetibilidade} = \frac{R}{d_2} \quad (2.38)$$

Podemos calcular a repetibilidade através da seguinte equação:

$$Repetibilidade = 6\hat{\sigma}_{repet} \quad (2.39)$$

2.6.2 Reprodutibilidade

Para calcular a Reprodutibilidade de um sistema de medição é preciso repetir todo o processo descrito em cima no cálculo da repetibilidade para mais dois operadores, depois a reprodutibilidade é estimada do seguinte modo:

1 – Calcular o desvio padrão da reprodutibilidade:

$$\hat{\sigma}_{reprod} = \frac{R}{d_2} \quad (2.40)$$

2 – Calcular a reprodutibilidade

$$Reprod = 6\hat{\sigma}_{reprod} \quad (2.41)$$

2.6.3 Avaliação Sistema de medição

Podemos avaliar um sistema de medição através dos valores obtidos no cálculo da %Repetibilidade e %R&R. Estes valores devem apresentar valores inferiores a 0,1. Valores acima de 0,3 não são aceitáveis (Pereira e Requeijo, 2012).

Estes valores podem ser calculados através das equações 2.42 e 2.43:

$$\%Repet. = \frac{6\hat{\sigma}_{repet}}{LSE - LIE} \quad (2.42)$$

$$\%R\&R = \frac{6\sigma\&R}{LSE-LIE} \quad (2.43)$$

-

Caracterização da Empresa

Este capítulo pretende apresentar de um modo geral a empresa onde foi realizado o estudo do caso apresentado nos capítulos seguintes, apresentando diversos aspetos como a sua geografia, história e áreas de negócio.

3.1 História e Localização

MCG, Mind for Metal é uma empresa portuguesa fundada em 1938 por Manuel Conceição Graça, situa-se no Carregado, concelho de Alenquer e distrito de Lisboa a cerca de 50km de Lisboa. A MCG é um fabricante sob contrato de produtos e soluções baseados no metal. Com 60 anos de experiência, a empresa tem vindo a apresentar um enorme crescimento como fornecedor de diversas entidades no ramo da indústria automóvel, a destacar os acordos com a Volkswagen, Benteler e Faurecia em 1993 ou com a Opel em 1995. Atualmente a empresa encontra-se com cinco fábricas operacionais (Metal 1 a Metal 5), fundadas ao longo das décadas de crescimento da empresa, sendo a mais recente inaugurada em 2015 (Metal5).

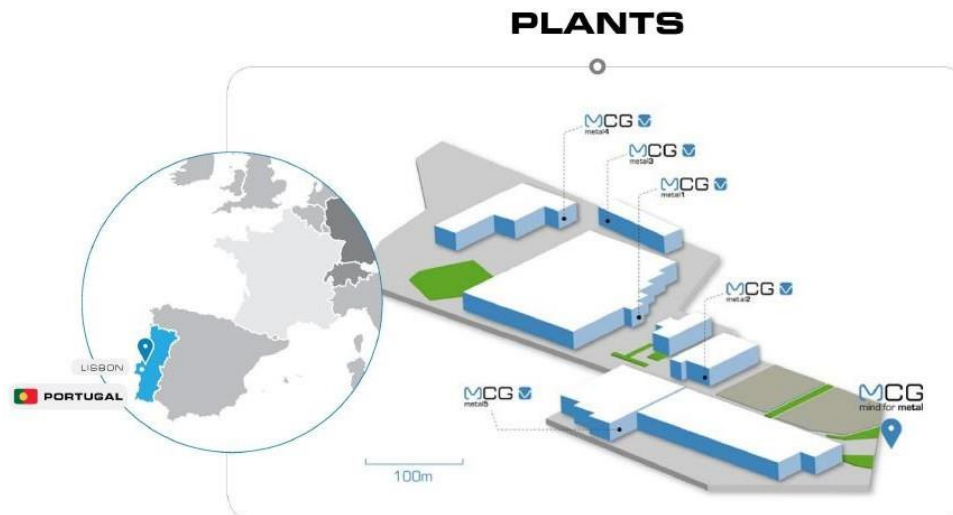


Figura 3.1 - Representação geográfica da MCG

3.2 Áreas de Negócio

A MCG desenvolve os seus negócios em várias áreas, diversificando assim as suas tecnologias e clientes. Estas áreas podem ser divididas como: Automotive, Transportation, Laser, Tooling e Solar. A presente dissertação encontra-se inserida no ramo Automotive, visto tratar-se de um componente desenvolvido para a indústria automóvel.



Figura 3.2 - Áreas de Negócio da MCG

3.3 Tecnologia

No desenvolvimento da sua atividade, a MCG apresenta um leque variado de tecnologias, estas tecnologias são usadas na conceção dos produtos fornecidos como o Corte Laser, Estampagem, Quinagem, Soldadura e Montagem e numa outra fase tecnologias referentes à Qualidade de processos e logística, para garantir assim uma maior satisfação por parte dos clientes.

A equipa de engenharia MCG suporta todas as fases do processo de fabrico – desde a fase conceptual de desenvolvimento de produto até a produção – para garantir a máxima eficiência e maior precisão.

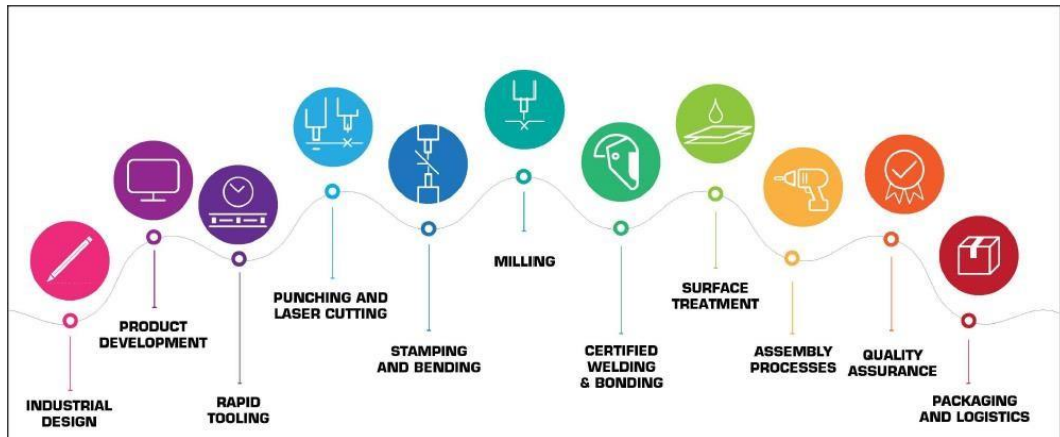


Figura 3.3 - Etapas na concepção de um produto na MCG

3.4 Laboratório da Qualidade

A MCG possui um laboratório da Qualidade completo, incluindo laboratório de medição, laboratório de soldadura, ensaios de tratamento de superfície, laboratório mecânico e laboratório de calibração, onde se destacam as máquinas de medição 3D CMM, camara de nevoeiro salino e máquina de teste de dureza. Destaca-se o laboratório de medição onde se encontram as máquinas de medição tridimensionais, fundamentais para a recolha de dados da presente dissertação.

3.5 Estrutura Organizacional

O estudo de caso apresentado nesta dissertação foi efetuado na instalação industrial denominada por Metal1. Para garantir o bom funcionamento e um maior rendimento possível de todas as partes envolvidas, esta unidade está dividida em equipas de Produção, Engenharia e Qualidade que devido a uma política de melhoria contínua trabalham em constante contacto umas com as outras.

Esta dissertação foi inserida no departamento da Qualidade. Este departamento tem como principal objetivo realizar a medição das peças produzidas, desenvolver e dimensionar calibres de controlo de qualidade e garantir a qualidade das ferramentas usadas na fábrica, para além de tratar de toda a documentação associada a protocolos e normas de qualidade. Este departamento da Qualidade é constituído por um laboratório de metrologia, que conta com uma equipa técnicos especializados, uma equipa de APQP (*Advanced Product Quality Planning*) e uma equipa de auditores internos responsáveis por fazer a ligação entre estas equipas e o *shop floor*.



Parte Experimental

Neste capítulo irá ser apresentada a descrição e planeamento do caso estudo. Será apresentado o problema em estudo, os componentes alvos de análise bem com a metodologia utilizada.

4.1 Descrição do caso de estudo

A fábrica denominada Metal1 da empresa MCG é responsável pela produção de centenas de componentes metálicos de vários clientes diferentes. Estes componentes têm como base do seu processo a estampagem e quinagem, estando então assim este complexo industrial equipado com diversos equipamentos destinados a este efeito. Existem também alguns componentes mais complexos que para além das tecnologias referidas anteriormente, também são sujeitos a um processo de soldadura.

Existe uma dificuldade em controlar o processo de soldadura de um determinado componente final, constituído por três componentes previamente estampados. Esta soldadura é efetuada num robot de soldadura e é do tipo soldadura por pontos. Existe o risco de produzir componentes não conformes e que poderão ser assim rejeitados pelo cliente.

Atualmente este controlo de qualidade é feito através de calibres, sendo a informação obtida por via de passa/não passa. Estes componentes são também medidos nas máquinas tridimensionais disponíveis no laboratório de metrologia. É feita apenas a medição da primeira e última peça de cada lote de produção, sendo esta informação puramente informativa e não alvo de um estudo estatístico.

Analisando este contexto, esta dissertação tem como objetivo implementar um controlo estatístico ao produto final soldado e aos componentes individuais estampados, aplicando cartas de controlo adaptadas aos seus contextos de produção. Também é necessário perceber se entre lotes de produção o processo se encontra nas mesmas condições.

Identificando então este problema é necessário encontrar e aplicar a metodologia mais adequada para uma melhoria de qualidade destes processos.

4.2 Característica da qualidade em estudo

Os “pontos de forma” dos diversos componentes estampados servem para diferentes análises. No componente estampado A1 estes “pontos de forma” são os mesmos analisados no componente soldado A e são os pontos onde este componente irá montar na estrutura final no cliente. Os pontos de forma dos componentes A2 e A3 são de importância para o processo de soldadura, visto que são as localizações da soldadura por pontos.

A característica a controlar é denominada por T, que é dada através da medição das peças nas máquinas tridimensionais, estas máquinas calculam a relação entre o estado real do componente e este mesmo componente no seu estado nominal (ficheiro CAD). Esta característica apresenta o valor zero quando o ponto medido está exatamente no nominal. Em contexto industrial, esta informação é muitas vezes mais útil do que informar os técnicos das ferramentas em que coordenadas cartesianas se encontram os pontos, sendo esta característica T útil para perceber se a peça se encontra 'aberta' ou 'fechada'. O calibre com recurso a comparador usado para retirar os dados para a peça soldada também replicam esta mesma característica T.

4.3 Componentes em Estudo

Como indicado anteriormente, existe um componente soldado constituído por três elementos, portanto este conjunto será alvo de estudo bem como os componentes em separado. A designação utilizada será de Componente A para o conjunto final soldado, A1 para o componente estampado de maior dimensão e A2 e A3 para os outros dois componentes estampados mais pequenos que têm como objetivo funcionar como suporte/reforço na montagem final no cliente.

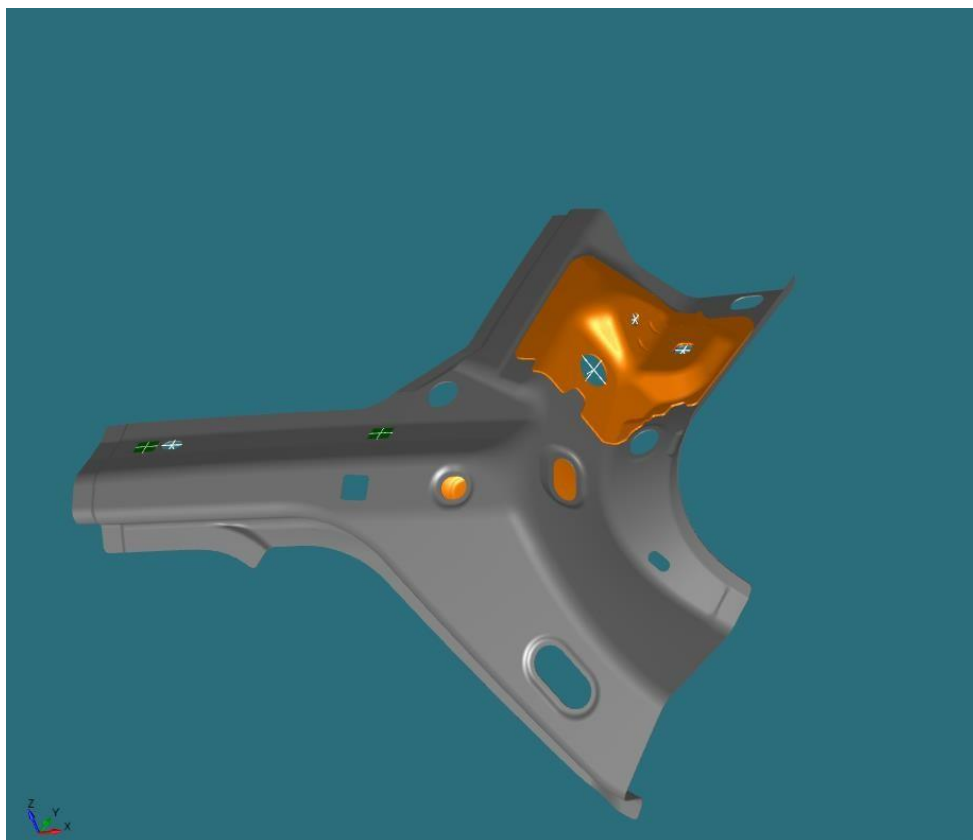


Figura 3.1 - Componente A

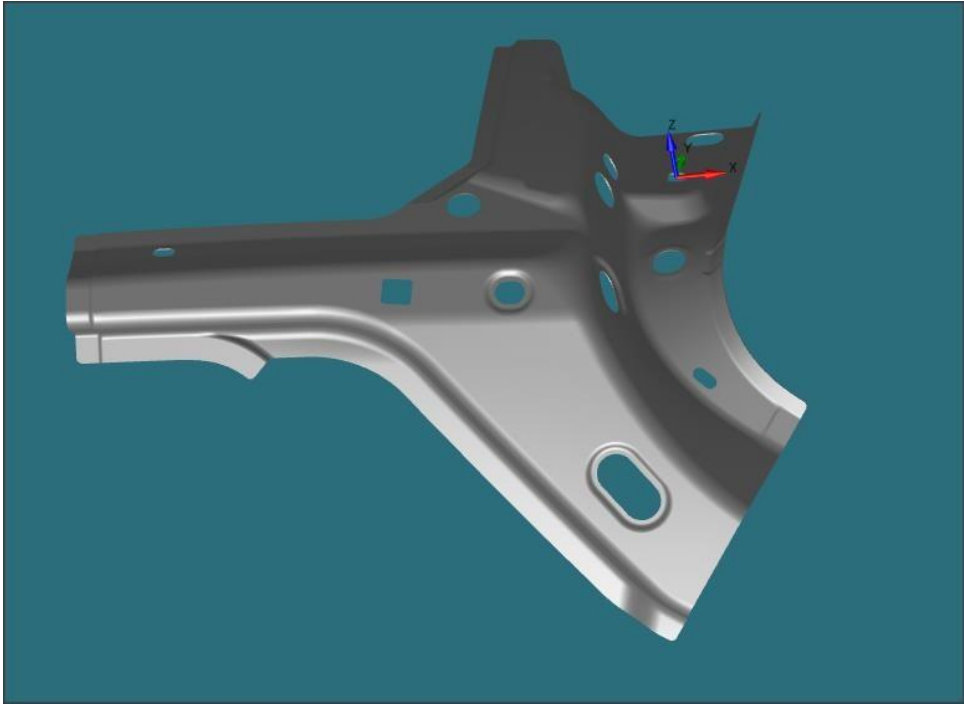


Figura 4.2 - Componente A1

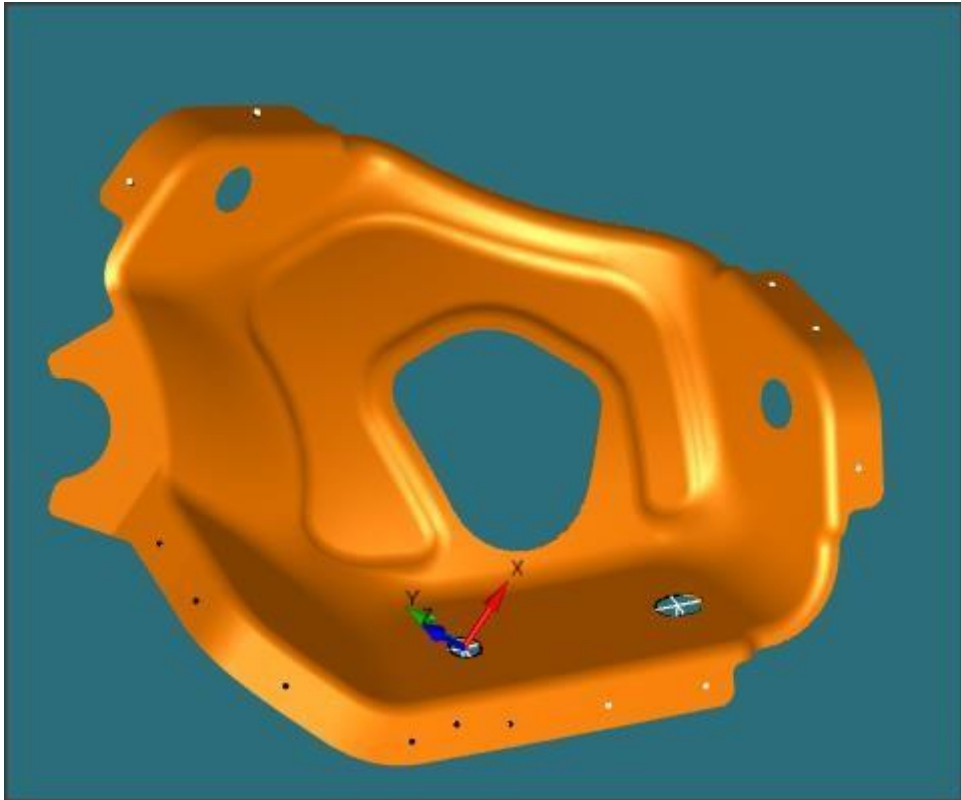


Figura 4.3 - Componente A2

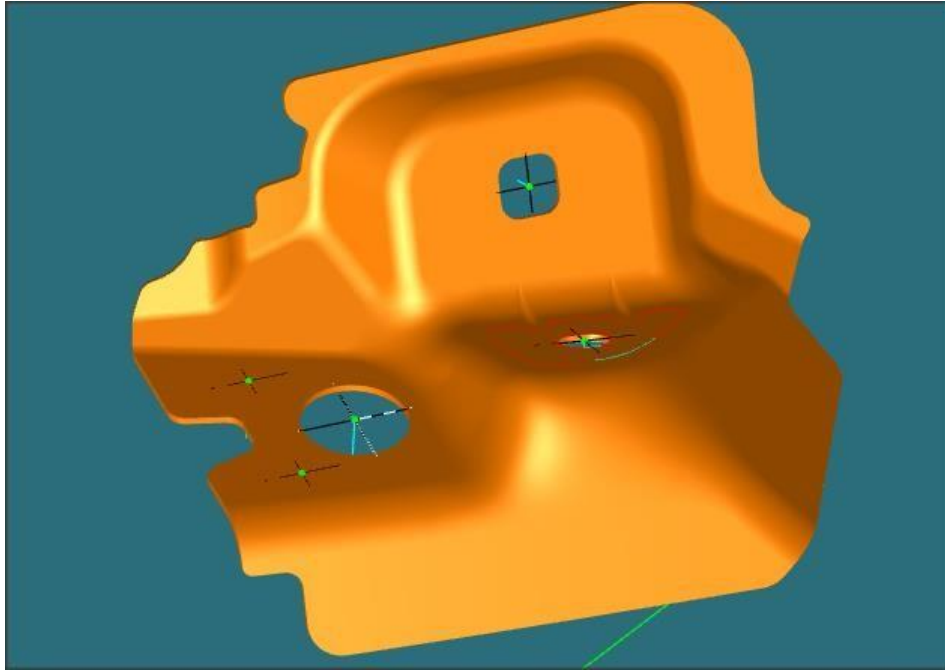


Figura 4.4 - Componente A3

4.4 Componentes Estampados (A1, A2, A3)

Os componentes individuais são estampados em diferentes prensas. A produção destes componentes é sujeita a um planeamento e é articulado de maneira a fornecer os robots de soldadura continuamente. A produção destes componentes é então feita apenas num turno (turnos de oito horas) e espaçada por intervalos semanais, sendo que em cada turno se produzem normalmente cerca de 2000 componentes.

A característica em estudo é controlada em rotina através do operador de linha no calibre do componente, através de passa/não passa e no início e fim de produção são levadas ao laboratório de medição um componente para medição nas máquinas tridimensionais.

Cada componente demora cerca de 20 minutos a ser medido no laboratório e por isso torna-se impossível estimar os parâmetros do processo (Fase1) e depois monitorizar o mesmo (Fase2), visto que quando se obtivessem dados suficientes para estimar os parâmetros de processo, a produção já tinha acabado.

Para responder a esta questão, foram implementadas cartas de controlo adaptadas a pequenas produções, denominadas cartas Q. Estas cartas conseguem então controlar estatisticamente o processo sem se estimar previamente os parâmetros do processo.

Para além de se ter como objetivo perceber em que estado se encontram os processos relativos à sua estabilidade e capacidade, existe uma outra questão relacionada com perceber se entre produções o processo se encontra em condições semelhantes, sendo então repetida toda a

metodologia numa produção posterior à primeira, visto que apesar da prensa ser a mesma existe um processo de instalação e programação da ferramenta que é efetuado sempre que se inicia uma nova produção.

Em cada produção de cada componente estampado, foram então recolhidas amostras individuais a cada vinte minutos, perfazendo no fim das 8 horas de produção 20 amostras individuais. Estes componentes foram então medidos no laboratório de metrologia nas máquinas tridimensionais e com estes resultados foram construídas as cartas Q(X) e Q(MR).

4.4.1 Componente A1

Este é o maior componente ao qual se vão soldar os outros dois componentes A2 e A3. Serão controlados estatisticamente onze pontos, seguindo o raciocínio apresentado no ponto anterior recolheram-se as amostras e construíram-se as cartas de controlo para cada ponto considerado.

Na tabela seguinte está representada a especificação de cada um dos pontos.

Tabela 4.1 - Especificações Componente A1

Característica	Especificação (mm)
Ponto 1	0 ± 0.5
Ponto 2	0 ± 0.5
Ponto 3	0 ± 0.5
Ponto 4	0 ± 0.5
Ponto 5	0 ± 0.5
Ponto 6	0 ± 0.5
Ponto 7	0 ± 0.5
Ponto 8	0 ± 0.5
Ponto 9	0 ± 0.5
Ponto 10	0 ± 0.5
Ponto 11	0 ± 0.5

Irá ser apresentado a metodologia aplicada ao Ponto 1, sendo os restantes pontos alvos da mesma metodologia os seus resultados podem ser consultados nos anexos. As cartas para o Ponto 1 estão apresentadas na figura 4.6.

Os dados utilizados foram recolhidos através de medição de 20 componentes no laboratório de metrologia da MCG. As cartas Q(X) e Q(MR) foram desenhadas através do software Excel.

Na figura 4.5 apresenta-se o componente com todos os pontos em estudo representados.

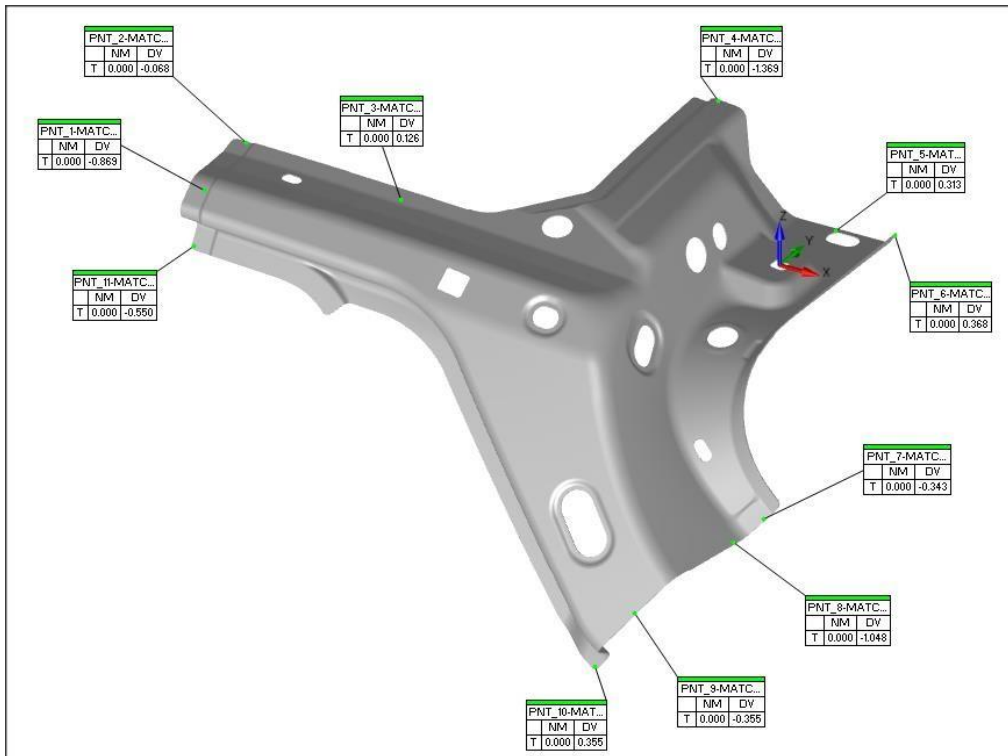


Figura 4.5 - Representação Pontos Componente A1

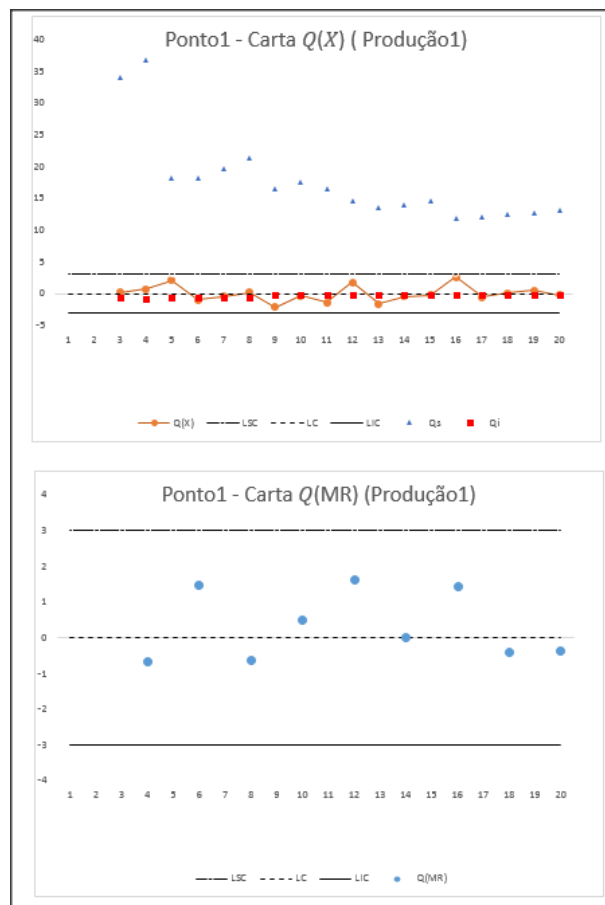


Figura 4.6 - Cartas Q(X) e Q(MR) , Componente A1, Ponto1 (Produção1)

Através da análise das cartas de controlo construídas consegue-se perceber que o processo se encontra estável, mas não é capaz de produzir de acordo com a especificação, visto que o índice inferior de capacidade (Q_i) é superior a -3.

Devido à natureza do negócio na Indústria Automóvel e prazos a cumprir, não foi possível determinar as causas que levam a esta falta de capacidade e actuar sobre elas. Estes índices de capacidade foram na mesma calculados porque podem ajudar a dar resposta numa segunda análise dos respectivos resultados e apresentações de melhorias. Estas cartas tem como função apresentar o estado actual do processo, visto este não ser conhecido até este ponto.

Semanas depois foi novamente produzido este componente e foi repetido todo o processo para se perceber se entre produções os resultados conseguidos são semelhantes.

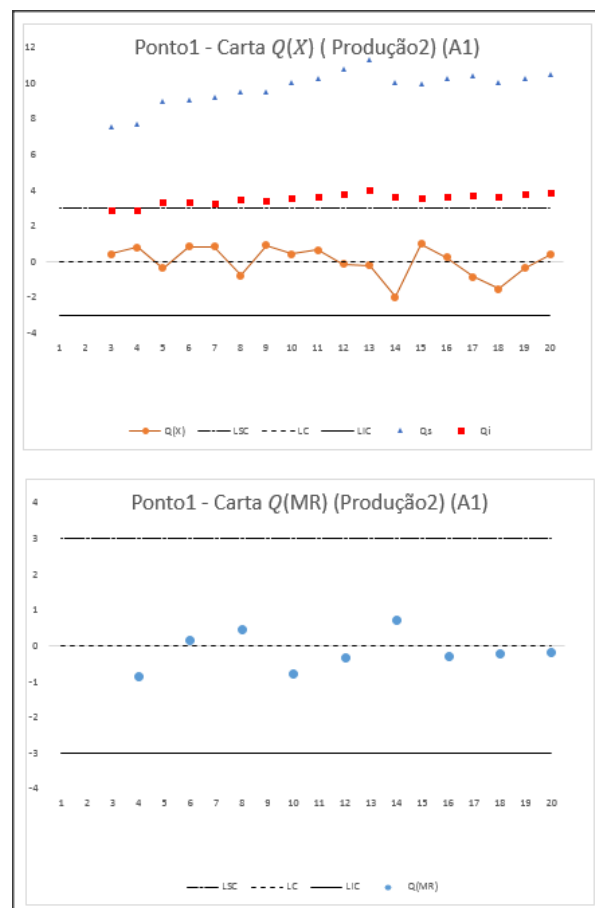


Figura 4.7 - Cartas $Q(X)$ e $Q(MR)$, Componente A1, Ponto1 (Produção2)

Através da análise destas novas cartas de controlo, verifica-se que o processo continua estável e não capaz de produzir de acordo com a especificação, é de realçar também que os valores do índice de capacidade inferior se encontram ainda mais longe do pretendido (inferiores a -3), o

que demonstra que a produção ainda se encontra mais longe do intervalo da especificação.

Esta metodologia foi então repetida para os restantes dez pontos do componente e para duas produções consecutivas espaçadas por algumas semanas de intervalo, na tabela em baixo encontram-se as conclusões efetuadas. Na tabela abaixo assume-se a cor verde como sinónimo para um processo estável e capaz, o vermelho para designar o contrário.

Tabela 4.2 - Resumo das duas produções - Estabilidade e Capacidade

	Estabilidade		Capacidade	
	Produção1	Produção2	Produção1	Produção2
Ponto 1	Verde	Verde	Vermelho	Vermelho
Ponto 2	Verde	Verde	Verde	Verde
Ponto 3	Verde	Verde	Verde	Verde
Ponto 4	Verde	Verde	Vermelho	Vermelho
Ponto 5	Verde	Verde	Vermelho	Vermelho
Ponto 6	Verde	Verde	Vermelho	Vermelho
Ponto 7	Verde	Verde	Verde	Vermelho
Ponto 8	Verde	Verde	Vermelho	Vermelho
Ponto 9	Verde	Verde	Vermelho	Vermelho
Ponto 10	Verde	Verde	Vermelho	Vermelho
Ponto 11	Verde	Verde	Vermelho	Vermelho

Através desta análise pode-se concluir que apenas dois pontos são capazes de produzir de acordo com a especificação e existem variações significativas entre lotes de produção, existindo inclusive um ponto que numa primeira produção apresentava capacidade e na segunda já não é capaz de produzir de acordo com a especificação.

Numa segunda análise é importante perceber se apesar de vários pontos não apresentarem capacidade, o comportamento do processo é semelhante entre produções. Isto é importante porque estes componentes irão ser soldados e apesar de não se encontrarem com capacidade o seu comportamento previsível e constante pode ajudar na afinação dos robots de soldadura. Atendendo a esta preocupação verifica-se também que existem grandes diferenças entre produções em pontos sem capacidade, o que representa assim um problema a considerar.

4.4.2 Componente A2

Este componente é um dos dois reforços que irão ser soldados ao componente A1. Os pontos em análise são importantes por serem os locais onde irá ocorrer a soldadura por pontos, toda a metodologia utilizada para este componente é análoga à do componente A1, sendo por isso exposta a seguir as cartas de controlo referentes ao Ponto1, podendo as outras cartas ser consultadas nos anexos.

Tabela 4.3 - Especificações Componente A2

Característica	Especificação (mm)
Ponto 1	0 ± 0.5
Ponto 2	0 ± 0.5
Ponto 3	0 ± 0.5
Ponto 4	0 ± 0.5
Ponto 5	0 ± 0.5
Ponto 6	0 ± 0.5

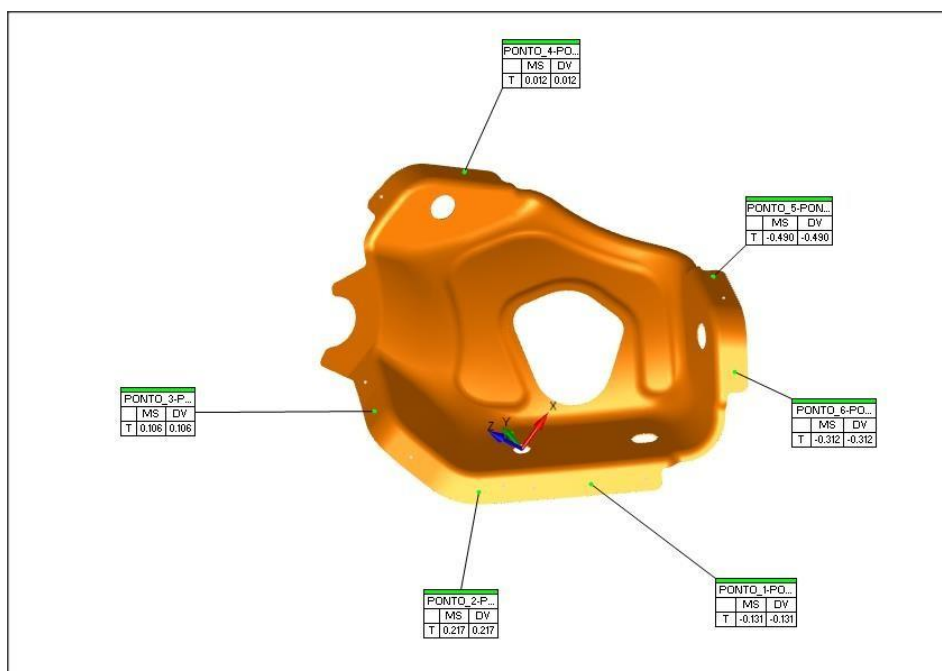


Figura 4.8 - Representação CAD Componente A2

É possível observar que a característica em estudo (Ponto1) apresenta-se estável e com capacidade, é importante perceber se estes resultados se continuam a registar numa produção posterior. As cartas para ambas as produções estão representadas respetivamente, nas figuras 4.9 e 4.10.

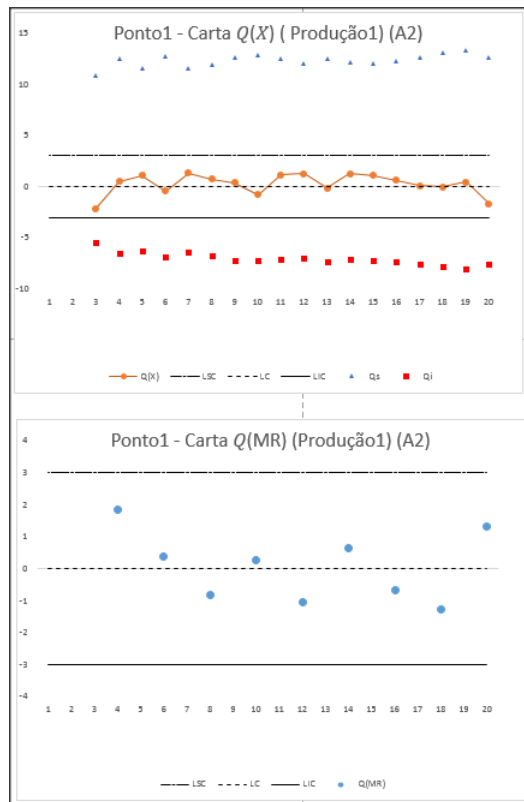


Figura 4.9. - Cartas $Q(X)$ e $Q(MR)$, Componente A2, Ponto1 (Produção1)

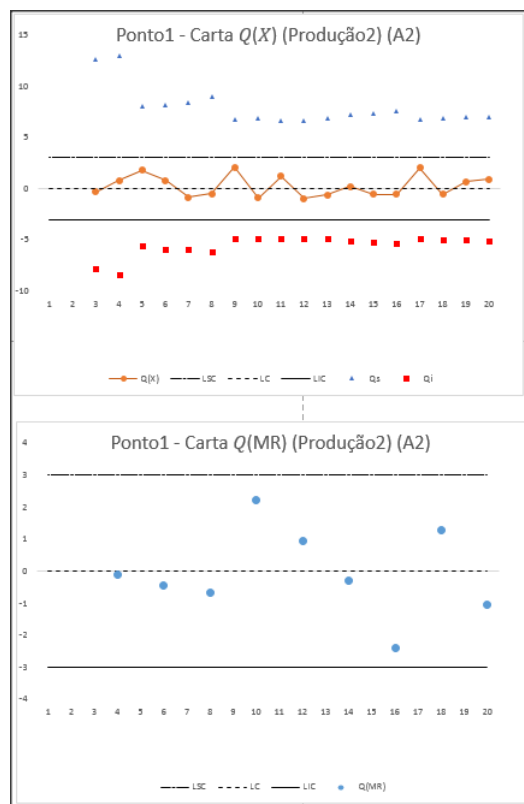


Figura 4.10 - Cartas $Q(X)$ e $Q(MR)$, Componente A2, Ponto1 (Produção2)

Verifica-se que a estabilidade e capacidade mantêm-se entre produções para o Ponto1. Na tabela em baixo pode-se ver o resumo de todos os pontos nas duas produções.

Tabela 4.4 - Resumo das duas Produções - Estabilidade e Capacidade

	Estabilidade		Capacidade	
	Produção1	Produção2	Produção1	Produção2
Ponto 1				
Ponto 2				
Ponto 3				
Ponto 4				
Ponto 5				
Ponto 6				

Este componente apresenta estabilidade em todas as características em estudo. Entre produções verifica-se que um ponto que não apresentava capacidade já consegue produzir de acordo com as especificações, evidenciando que existem diferenças significativas entre produções.

4.4.3 Componente A3

Em conjunto com o componente A2, este componente serve como reforço no componente final A, são analisados 7 pontos que como no componente anterior, são as zonas localizadas para os pontos de soldadura. Foram novamente recolhidas vinte amostras individuais, medidas no laboratório de metrologia e desenhadas as cartas Q.

Tabela 4.5 - Especificações Componente A3

Característica	Especificação (mm)
Ponto 1	0 ± 0.5
Ponto 2	0 ± 0.5
Ponto 3	0 ± 0.5
Ponto 4	0 ± 0.5
Ponto 5	0 ± 0.5
Ponto 6	0 ± 0.5
Ponto 7	0 ± 0.5

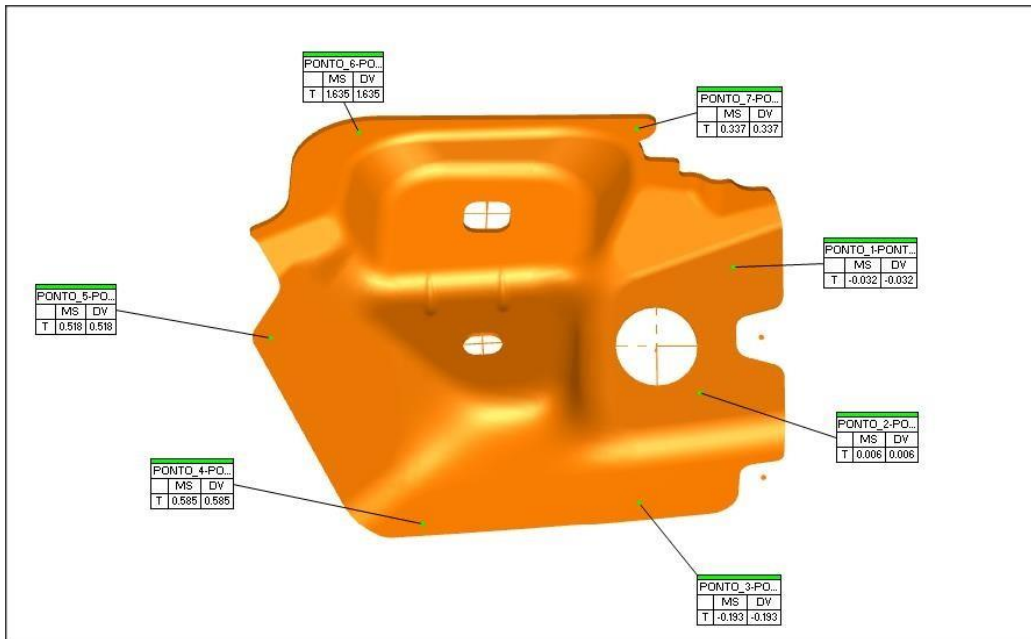


Figura 4.11 - Representação CAD Componente A3

A análise ao Ponto1 é apresentada nas figuras 4.12 e 4.13 em baixo, estando os restantes pontos disponíveis em anexo.

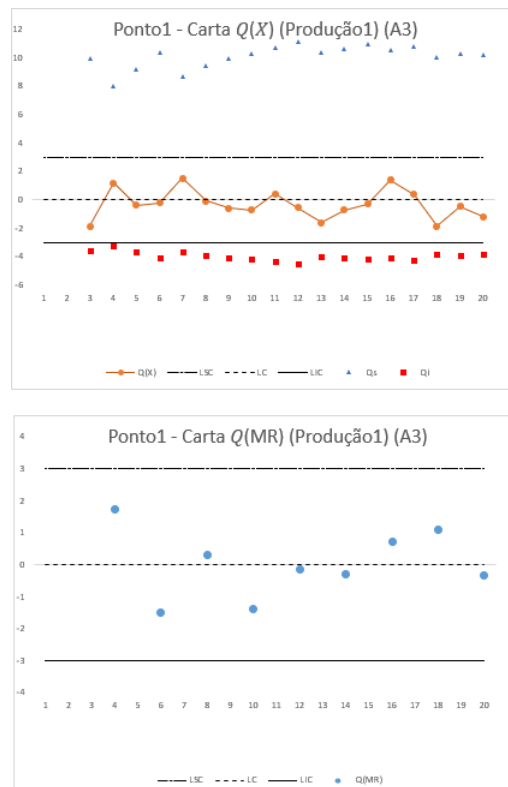


Figura 4.12 - Cartas Q(X) e Q(MR) , Componente A3, Ponto1 (Produção1)

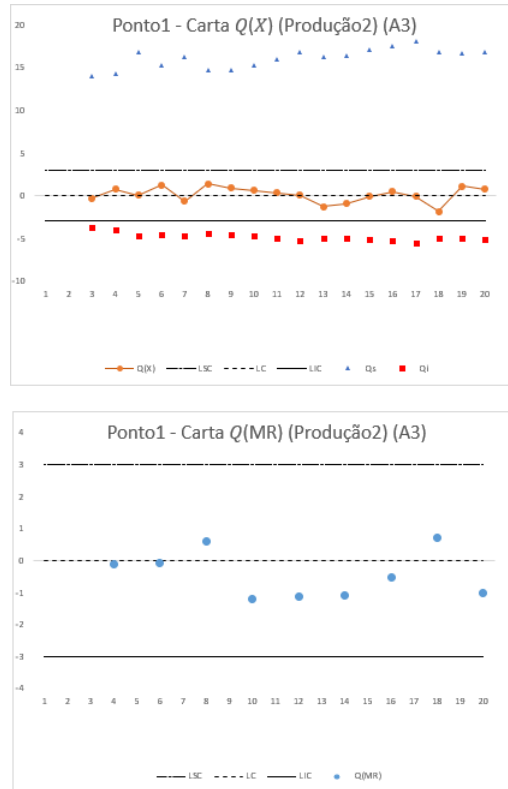


Figura 4.13 - Cartas Q(X) e Q(MR) , Componente A3, Ponto1 (Produção2)

A característica em estudo (Ponto1) apresenta estabilidade e capacidade em ambas as produções, sendo esta a situação desejável. Na Tabela 4.6 apresenta-se o resumo dos sete Pontos em análise.

Tabela 4.6 - Resumo das duas Produções - Estabilidade e Capacidade

	Estabilidade		Capacidade	
	Produção1	Produção2	Produção1	Produção2
Ponto 1	Green	Green	Green	Green
Ponto 2	Green	Green	Red	Green
Ponto 3	Green	Green	Red	Green
Ponto 4	Green	Green	Red	Green
Ponto 5	Green	Green	Green	Red
Ponto 6	Green	Green	Red	Green
Ponto 7	Green	Green	Green	Green

Novamente fica evidenciado que existem diferenças entre lotes de produção quanto à capacidade de produzir de acordo com as especificações, apesar do processo de estampagem se apresentar sempre estável do ponto de vista estatístico.

4.5 Componente Soldado (A) – Fase 1

Este componente é a junção das diversas partes estampadas por via de soldadura por pontos. A soldadura é efetuada num robot e é um processo que se encontra, salvo manutenções preventivas ou manutenções corretivas, sempre em atividade, sendo então feita a soldura de um modo contínuo durante 24 horas.



Figura 4.14 - Robot Soldadura Componente A

Os pontos relevantes para o controlo estatístico são aqueles que podem provocar problemas de montagens no cliente final, estando o seu valor nominal e limites de especificações considerados na tabela 4.7. Estes pontos são os mesmos considerados no componente A1 e podem ser consultados na figura 4.15.

Ao contrário dos componentes estampados em que a recolha de dados é feita através de medições no laboratório de metrologia, a recolha de dados do componente final será feita através do auxílio de um comparador e um calibre, instalados ao lado do robot de soldadura no chão de fábrica. A peça é colocada neste calibre e existem posições pré-definidas para colocar o comparador e retirar a característica T em estudo, simulando o mesmo efeito que as medições efetuadas pelas máquinas tridimensionais. Este comparador está preparado para na recolha dos dados enviar os resultados automaticamente através de wireless para um computador. Devido à facilidade e rapidez de recolha de dados com este método, irão ser recolhidas 100 amostras individuais para cada ponto em estudo espaçadas por uma hora de intervalo. Estes dados servirão para analisar a estabilidade do processo e a sua capacidade, estimando então os parâmetros de processo (Fase1). Para os pontos que apresentem estabilidade e capacidade, serão implementadas cartas Z e W para observações individuais de modo a se implementar um controlo em tempo real na linha de produção destas características (Fase2). Esta metodologia está representada na figura 4.16.

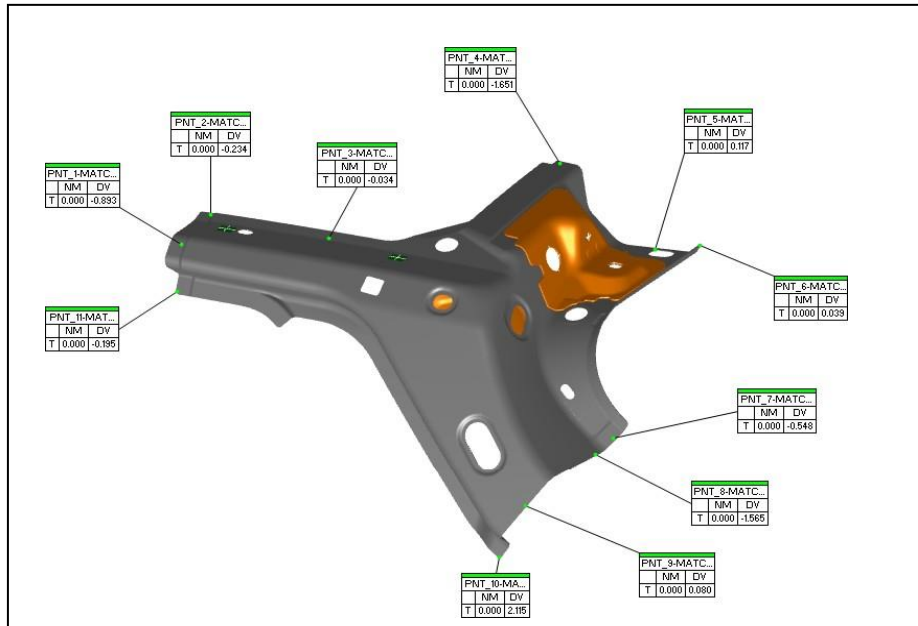


Figura 4.15 - Representação Pontos Componente A

Tabela 4.7 - Especificações Componente A

Característica	Especificação (mm)
Ponto 1	0 ± 0.8
Ponto 2	0 ± 0.8
Ponto 3	0 ± 0.8
Ponto 4	$0-2.2 \mid 0+0.8$
Ponto 5	0 ± 0.8
Ponto 6	0 ± 0.8
Ponto 7	0 ± 0.8
Ponto 8	0 ± 0.8
Ponto 9	0 ± 0.8
Ponto 10	$0-2 \mid 0+0.8$
Ponto 11	0 ± 0.8
Ponto 12	0 ± 0.8
Ponto 13	0 ± 0.8

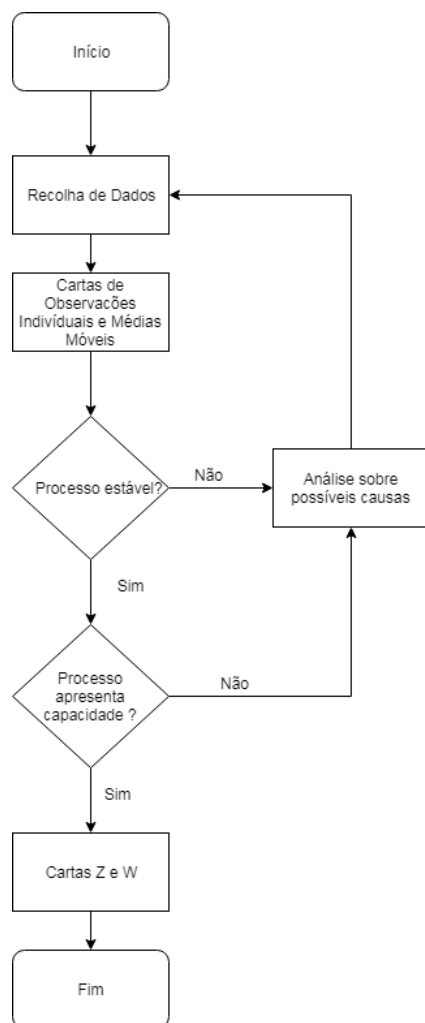


Figura 4.16 - Metodologia do Processo de Soldadura

Com as cem amostras recolhidas através do calibre e comparador já referido foi possível construir a carta de observações individuais e média móvel. Estas cartas foram desenhadas com a ajuda do software *Statística*. O primeiro ponto está representado nas cartas apresentadas na figura 4.17, as restantes cartas podem ser consultadas nos anexos.

Através das análises das cartas de observações individuais e média móvel conseguimos perceber que o processo se encontra sob controlo estatístico, não existindo no processo nenhuma causa de variações especiais. Os restantes pontos também se encontram nesta condição.

O próximo passo é perceber se então este processo apresenta capacidade, sendo primeiro necessário verificar a Normalidade dos dados. Para verificar esta condição recorreu-se mais uma vez ao software *Statística* onde foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov, para o Ponto1 os resultados encontram-se na figura 4.18.

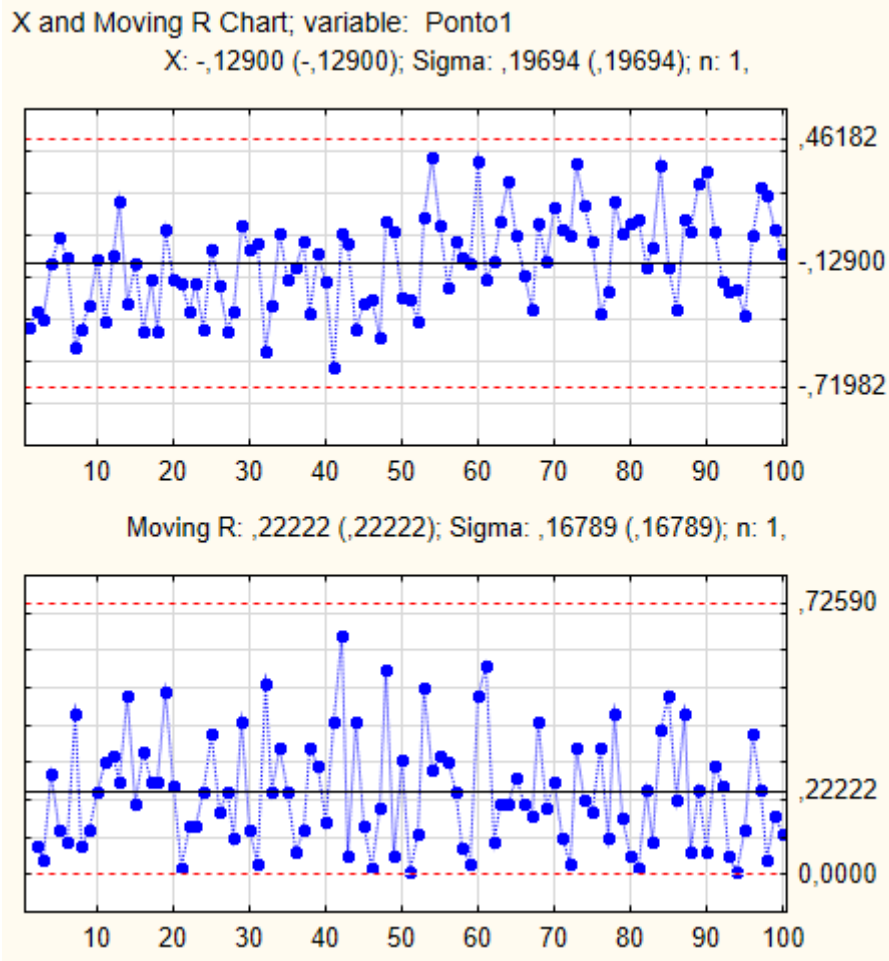


Figura 4.17 - Carta X e MR - Ponto1 (A)

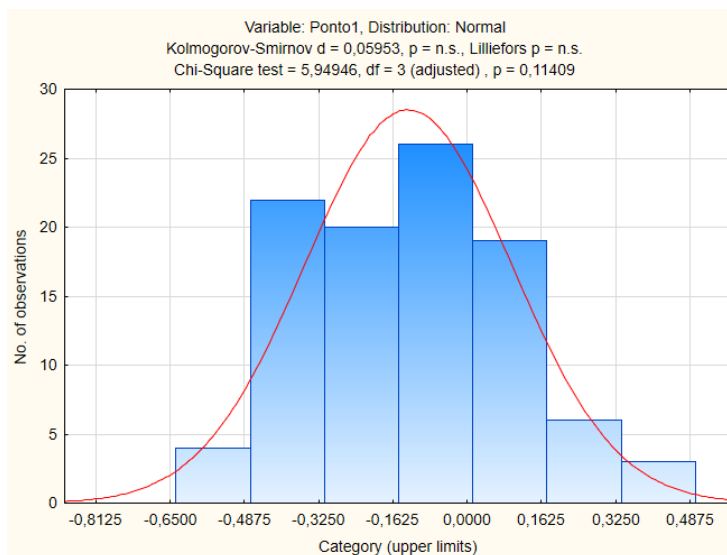


Figura 4.18 - Histograma Ponto1, teste de Kolmogorov-Smirnov

O valor crítico para esta estatística com $\alpha=5\%$ e $N=100$ apresenta o valor de 0.089. Na característica em estudo o valor do teste assume o valor de 0,05953 como mostra a Figura 4.18.

Como este valor é menor que o valor crítico, segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov, pode se assumir que os dados seguem uma distribuição aproximadamente normal.

Foi aplicado o mesmo teste para as restantes características em estudo, os resultados encontram-se na tabela em baixo (todos os histogramas obtidos no Statistica encontram-se em anexo).

Tabela 4.8 - Resumo teste de Kolgomorov-Smirnov

	Dcritico ($\alpha=5\%;N=100$)	D	Distribuição
Ponto 1	0,089	0,059	Normal
Ponto 2	0,089	0,069	Normal
Ponto 3	0,089	0,088	Normal
Ponto 4	0,089	0,049	Normal
Ponto 5	0,089	0,056	Normal
Ponto 6	0,089	0,097	Não Normal
Ponto 7	0,089	0,053	Normal
Ponto 8	0,089	0,051	Normal
Ponto 9	0,089	0,043	Normal
Ponto 10	0,089	0,154	Não Normal
Ponto 11	0,089	0,07	Normal

Dois dos onze pontos apresentam dados que não seguem uma distribuição Normal. Com esta informação pode-se então perceber se os processos apresentam capacidade, apresentando os índices de capacidade adaptados à realidade dos dados.

Estes índices podem ser calculados no software *Statistica*, que apresenta estes valores para distribuições Normais e não Normais. Na Figura 4.19 são apresentados os resultados para o Ponto1.

Considerando que o Ponto1 segue uma distribuição Normal como visto em cima, o seu valor de C_{PK} apresenta um valor de 1.14. Visto este valor ser inferior a 1.33 o processo não apresenta capacidade.

		Variable: Ponto1 (Spreadsheet1) -3.000 *Sigma=-,71982 +3.000 *Sigma=,461818		
Capability Index	Normal	Non-Nrml	Pearson	
Within-sample sigma=R-bar/d2	Distrib.	Distrib.	Curves	
Lower Specification Limit	-0.800000			
Nominal Specification	0.000000			
Upper Specification Limit	0.800000			
Lower Perc. Value: ,135	-0,719818	-0,583817	-0,577452	
Median (50%) Value: 50,000	-0,129000	-0,134568	-0,134351	
Upper Perc. Value: 99,865	0,461818	0,381446	0,380267	
CP (potential capability)	1,354055	1,657580	1,670636	
CR (capability ratio)	0,738522	0,603289	0,598574	
CPK (demonstrated excellence)	1,135714	1,481211	1,502250	
CPL (CP, lower)	1,135714	1,481211	1,502250	
CPU (CP, upper)	1,572396	1,811128	1,815621	
K (non-centering correction)	0,161250	0,168210	0,167939	

Figura 4.19 – Resumo Índices Capacidade (Ponto1)

Na tabela seguinte apresentam-se os resultados para os onze pontos em estudo.

Tabela 4.9 - Resumo Capacidade Componente A

Característica	Dist.Dados	Cp	Cpk(i)	Cpk(s)	Cpk	Processo capaz
Ponto1	Normal	1.35	1.14	1.57	1.14	Não
Ponto2	Normal	4.11	3.87	4.35	3.87	Sim
Ponto3	Normal	2.91	1.86	3.97	1.86	Sim
Ponto4	Normal	1.56	0.78	2.35	0.78	Não
Ponto5	Normal	1.61	0.87	2.35	0.87	Não
Ponto6	Non-Normal	2.7	3.01	2.4	2.4	Sim
Ponto7	Normal	0.9	0.77	1.03	0.77	Não
Ponto8	Normal	0.97	0.23	1.7	0.23	Não
Ponto9	Normal	0.81	0.75	0.88	0.75	Não
Ponto10	Non-Normal	1.51	2.84	0.64	0.64	Não
Ponto11	Normal	0.61	0.33	0.88	0.33	Não

Depois desta análise pode-se concluir que apenas três dos onze pontos apresentam capacidade de produzir de acordo com as especificações do cliente (Cpk>1.33).

Tendo em conta esta análise, os pontos que apresentam capacidade serão alvo de cartas Z e W, que serão implementadas junto ao robot de soldadura e darão assim início à Fase 2 do controlo estatístico de processo com objetivo de monitorizar este mesmo processo nos diferentes pontos. Os restantes pontos serão alvo de uma análise com as equipas de engenharia e soldadura para perceber os vários fatores que podem estar a resultar nesta falta de capacidade.

4.6 Componente Soldado (A) – Fase 2

Para os pontos que apresentam capacidade foi decidido então recorrer-se às cartas Z e W para começar a monitorizar o processo. Estas cartas foram então implementadas depois da estimação dos parâmetros do processo com a conclusão da Fase 1 e podem ser consultados na tabela em baixo:

Tabela 4.10 - Parâmetros de Processo para pontos com Capacidade

Característica	μ	σ
Ponto 2	-0.05	0.065
Ponto 3	-0.29	0.092
Ponto 6	0.07	0.114

Através desta estimação de parâmetros foi decidido continuar a retirar amostras individuais de hora a hora no calibre com ajuda do comparador, estes dados deram então origem às cartas Z e W que estão agora implementadas na linha de produção para controlar o processo, as primeiras vinte amostras podem ser consultadas nas cartas em baixo. Estas cartas foram construídas com a ajuda do software *Excel*.

Através da análise das cartas Z e W representadas nas figuras 4.20 a 4.22, os pontos em estudo continuam a apresentar-se com estabilidade e capacidade, visto por um lado não se verificarem qualquer tipo de causas especiais de variação e os índices de capacidade apresentam-se maiores que 3 para o caso do índice superior e menores que -3 quando nos referimos ao índice de capacidade inferior.

Estas cartas estão então a ser usadas no chão de fábrica ao lado do robot de soldadura como forma de monitorização do processo.

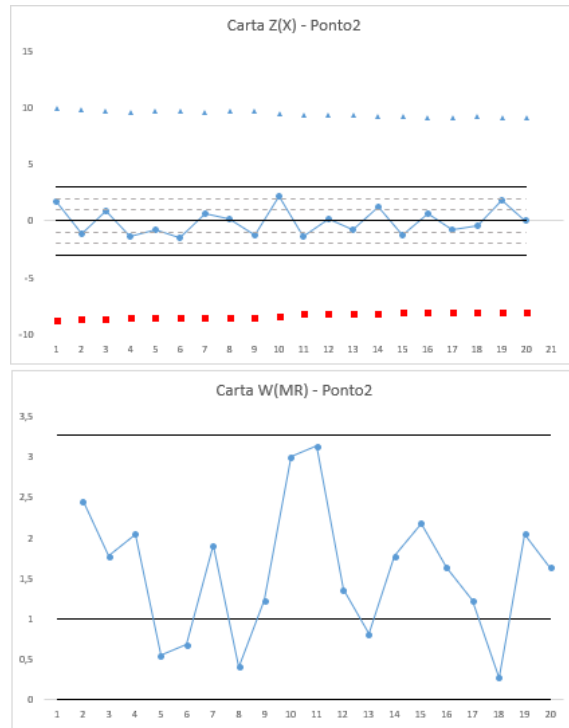


Figura 4.20 - Carta Z(X) e W(MR) , Ponto2

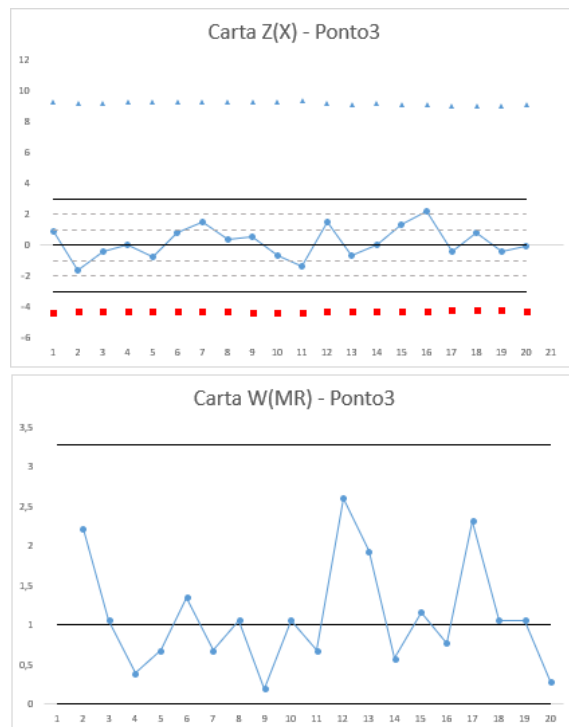


Figura 4.21 - Carta Z(X) e W(MR) , Ponto3

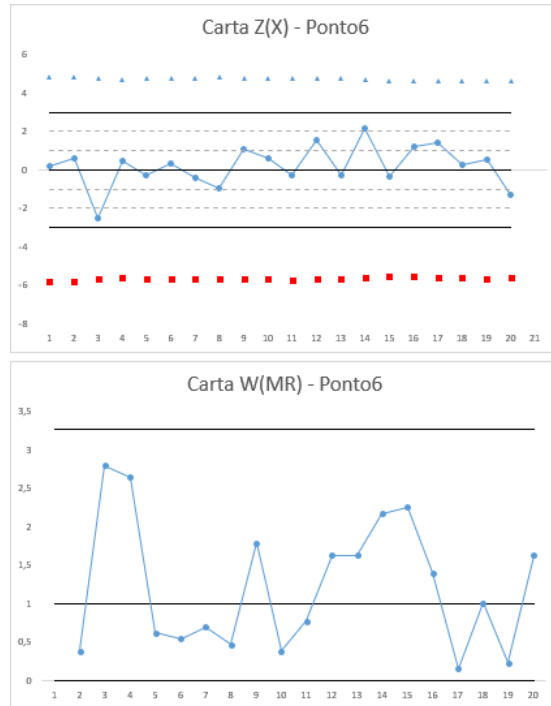


Figura 4.22 - Carta W(X) e W(MR) , Ponto6



Figura 4.23 - Exemplo de aplicação das Cartas Z e W na MCG

4.7 Componente Soldado (A) – Pontos sem Capacidade

Como visto anteriormente, depois de realizada a Fase1 foi concluído que oito dos onze pontos não apresentam capacidade de produzir de acordo com a especificação do cliente. Para tentar resolver este problema foi desenvolvido um diagrama de Causa-Efeito, também conhecido por Diagrama de Ishikawa, com a ajuda das equipas de Engenharia, Soldadura e Qualidade da MCG.

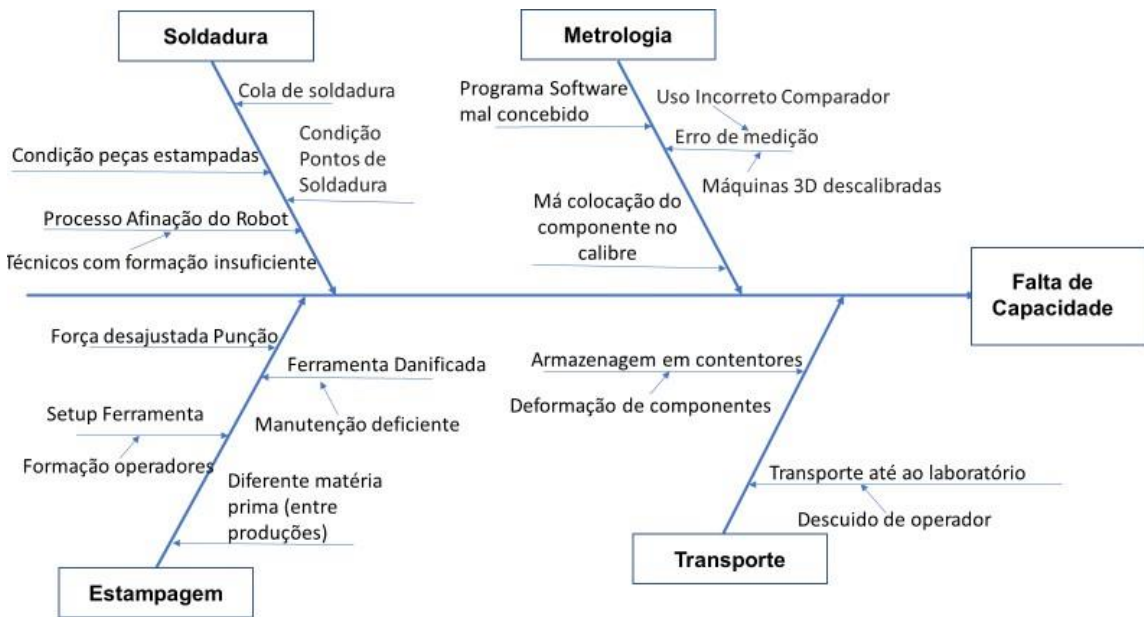


Figura 4.24 - Diagrama Causa-Efeito : Pontos sem Capacidade

4.8 Análise aos sistemas de medição – Estudos R&R

Como se consegue perceber no diagrama Causa-Efeito, foram introduzidas algumas questões referentes aos métodos de medição e ao seu rigor.

Na presente dissertação todos os dados foram recolhidos como já referido anteriormente, através de dois métodos: através da máquina tridimensional para o caso dos componentes estampadas e o calibre com recurso a um comparador para os componentes finais soldados.

Para responder a estas questões colocadas foram realizados estudos com respeito à repetibilidade da máquina tridimensional e estudos a propósito da repetibilidade e da reprodutibilidade para o comparador.

4.8.1 Máquina Tridimensional

Foi medida a mesma característica em quinze componentes diferentes. Cada componente foi alvo de cinco medições. Os resultados encontram-se na tabela 4.11

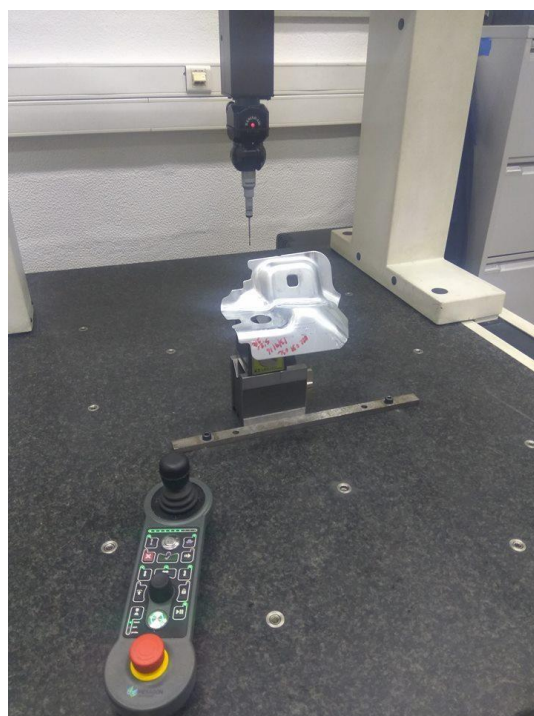


Figura 4.25 - Máquina Tridimensional

Tabela 4.11 - Estudo Repetibilidade (Resultados Medições)

Componente	Medições				
	1	2	3	4	5
1	0,24	0,241	0,243	0,24	0,238
2	0,237	0,229	0,226	0,227	0,225
3	0,22	0,223	0,221	0,224	0,222
4	0,197	0,194	0,198	0,197	0,196
5	0,2	0,21	0,21	0,199	0,22
6	0,21	0,22	0,216	0,23	0,214
7	0,203	0,214	0,216	0,204	0,211
8	0,19	0,193	0,196	0,193	0,192
9	0,23	0,237	0,228	0,233	0,231
10	0,2	0,199	0,21	0,22	0,2
11	0,23	0,236	0,227	0,234	0,236
12	0,253	0,251	0,256	0,254	0,253
13	0,187	0,185	0,192	0,184	0,186
14	0,206	0,212	0,22	0,21	0,22
15	0,26	0,263	0,261	0,267	0,264

Construindo as cartas \bar{X} e R obtêm-se os seguintes resultados:

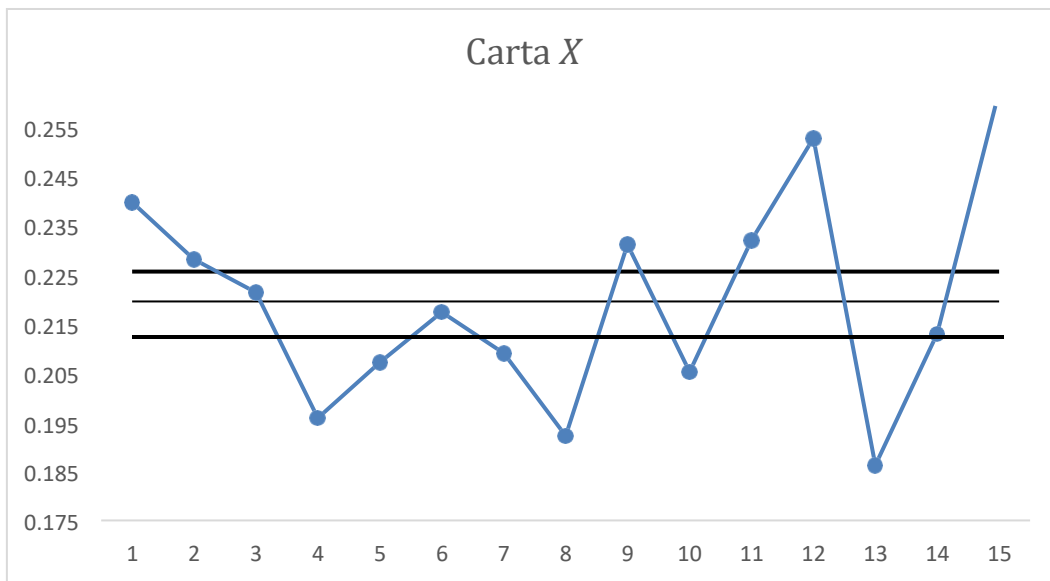


Figura 4.26 - Carta \bar{X} (Máquina Tridimensional)

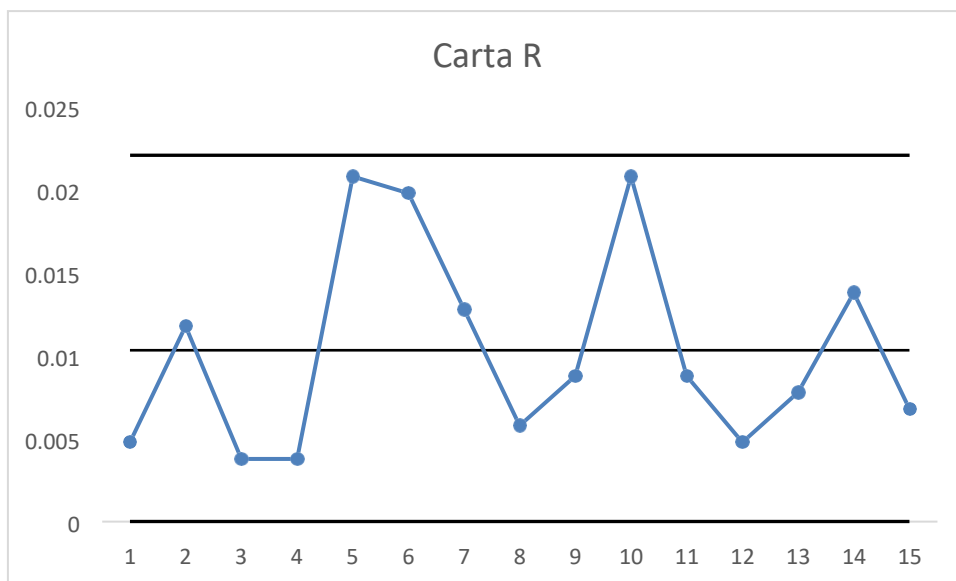


Figura 4.27 - Carta R (Máquina Tridimensional)

Analisando as duas cartas, verifica-se que mais de 30% das medições se encontram fora dos limites de controlo na Carta \bar{X} como era pretendido. Esta carta mostra que o equipamento apresenta um bom poder discriminatório, ou seja, apresenta uma boa capacidade de distinguir entre unidades de produto.

A carta R apresenta todos os valores dentro dos limites de controlo como pretendido.

Devido à natureza do método de medição, não faz sentido estudar a sua reprodutibilidade. Isto

deve-se ao facto de ser o próprio aparelho a efetuar toda a medição e respetiva análise dos dados, não existindo assim qualquer fator humano a controlar.

Para garantir que estes resultados se mantêm ao longo do tempo, estas máquinas são alvo de calibrações regulares, efetuadas pelos técnicos do laboratório.

4.8.2 Calibre com recurso ao comparador

Ao contrário das máquinas tridimensionais que já são usadas há décadas para controlo de qualidade na MCG, este sistema é usado há pouco mais de um ano, sendo então por isso alvo de algumas dúvidas por parte das equipas de engenharia e soldadura quanto à sua fiabilidade para reproduzir a real condição dimensional dos componentes.



Figura 4.28 - Calibre com Comparador

Todo o calibre e respetivas torres de apoio onde é colocado o comparador são alvo de medições periódicas no laboratório de metrologia, de modo a garantir que este calibre se encontra sempre na linha em condições dimensionais aceitáveis. A questão colocada prende-se com as garantias que podem ser dadas pelo próprio sistema de medição: o uso do comparador. Para responder a estas questões foi realizado um estudo R&R.

A realização deste estudo foi feita através da medição de dez componentes diferentes, cada um alvo de cinco medições. Este processo foi realizado igualmente por três operadores.

A tabela 4.12 mostra os resultados obtidos pelos três operadores.

Tabela 4.12 - Resultados Medições 3 Operadores (Calibre com comparador)

Componente	Medições - Operador 1					Medições - Operador 2					Medições - Operador 3				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	0,33	0,25	0,32	0,28	0,3	0,31	0,33	0,36	0,29	0,3	0,29	0,34	0,24	0,28	0,34
2	0,24	0,21	0,17	0,22	0,23	0,2	0,24	0,25	0,23	0,21	0,17	0,19	0,24	0,17	0,23
3	0,63	0,57	0,59	0,6	0,62	0,57	0,64	0,58	0,67	0,63	0,62	0,61	0,63	0,61	0,66
4	-0,2	-0,23	-0,14	-0,21	-0,25	-0,24	-0,22	-0,28	-0,23	-0,21	-0,21	-0,24	-0,21	-0,24	-0,22
5	0,34	0,29	0,35	0,3	0,32	0,36	0,31	0,34	0,3	0,28	0,33	0,4	0,37	0,32	0,27
6	0,14	0,22	0,24	0,18	0,22	0,18	0,24	0,21	0,23	0,19	0,23	0,21	0,18	0,26	0,22
7	0,37	0,32	0,35	0,34	0,39	0,32	0,33	0,29	0,36	0,3	0,26	0,264	0,21	0,28	0,28
8	0,22	0,17	0,23	0,2	0,24	0,22	0,19	0,25	0,17	0,19	0,18	0,23	0,21	0,24	0,26
9	0,53	0,51	0,47	0,49	0,5	0,43	0,45	0,47	0,51	0,56	0,44	0,41	0,38	0,43	0,41
10	0,47	0,45	0,54	0,47	0,54	0,44	0,45	0,54	0,53	0,47	0,35	0,41	0,34	0,39	0,39

Analisando as cartas obtidas, pode-se concluir que mais de 30% das medições encontram-se fora dos limites de controlo como pretendido, as cartas R apresentam todos os pontos dentro dos limites de controlo. Estas cartas estão representadas na figura 4.28.

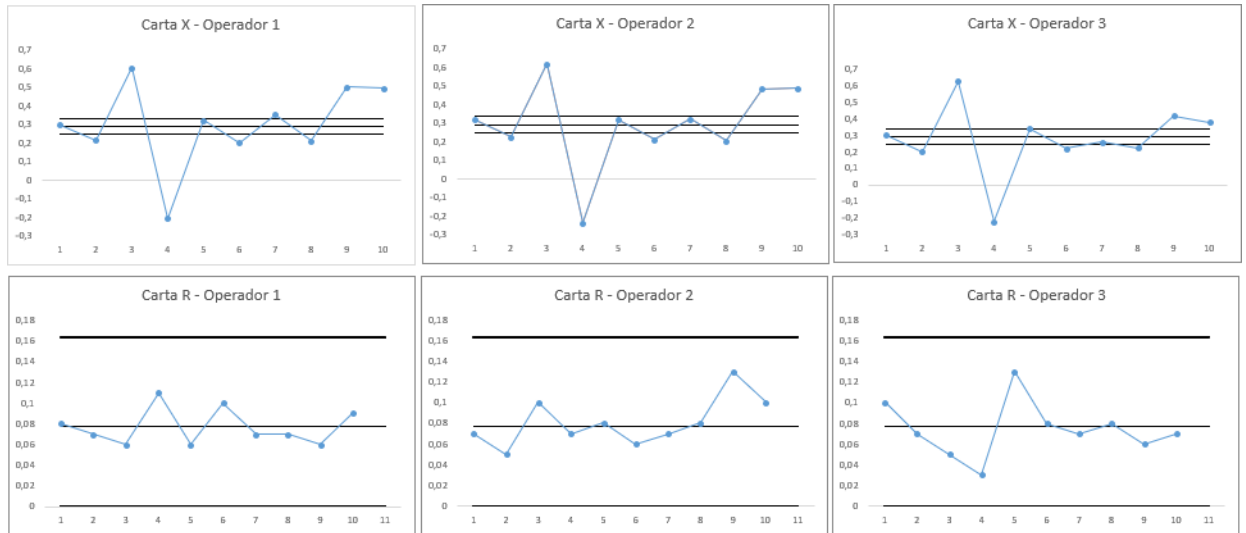


Figura 4.29 - Carta \bar{X} e R (3 Operadores)

O sistema de medição e questão apresenta então um desvio padrão para a sua repetibilidade e reprodutibilidade de respetivamente de:

$$\hat{\sigma}_{\text{repetibilidade}} = 0,033$$

$$\hat{\sigma}_{\text{reprodutibilidade}} = 0,013$$

Podemos avaliar o sistema de medição através dos valores da %Repetibilidade e %R&R. Estes valores devem se apresentar o mais baixo possível, admitindo que um valor superior a 0,3 não será aceitável.

Os valores obtidos para estas características foram:

$$\% \text{ Repetibilidade} = 0.13$$

$$\% \text{ R\&R} = 0.14$$

Tendo em conta os valores obtidos, podemos dizer que este sistema de medição se encontra com valores aceitáveis quanto à sua repetibilidade e reprodutibilidade e então todos os dados retirados através deste sistema de medição e respetivas conclusões podem ser válidas e consideradas.

Para continuar a obter estes resultados o departamento de Qualidade vai continuar a assegurar a condição dimensional do calibre, a calibração do respetivo comparador e a continua formação e profissionalismo dos operadores na linha que efetuam a recolha de dados.

Conclusão

A realização desta dissertação tinha como dois objetivos principais a implementação do controlo estatístico em vários processos da empresa MCG na fabricação de um determinado componente e como segundo objetivo a análise do estado em que se encontravam estes mesmos processos.

Conforme as características de produção e métodos de medição dos diversos componentes, foram implementadas cartas Q para o processo de estampagem. Para o processo de soldadura foram implementadas cartas de observações individuais e médias móveis tradicionais na Fase 1 do SPC e cartas Z e W na Fase 2, para monitorizar os pontos que apresentavam capacidade. Estes métodos estão de acordo com a realidade da empresa e estão agora a ser utilizados para um melhor acompanhamento e análise destes mesmos processos.

Sobre o segundo objetivo deste trabalho, a implementação das diversas cartas de controlo nos vários componentes e processos de produção permitiram perceber melhor o estado em que se encontram os vários processos.

Sobre a estampagem (Componentes A1, A2 e A3), foi verificado apesar de todos os pontos em consideração apresentarem estabilidade, vários pontos não apresentam capacidade de produzir de acordo com a exigência do cliente, isto é, com a especificação requerida.

Outra questão interessante prendia-se com o facto de se perceber se entre lotes de produções deste mesmo processo de estampagem os processos apresentavam os mesmos comportamentos no que diz respeito à sua estabilidade e capacidade, o que não se verificou, existindo vários casos de pontos que apresentavam índices de capacidade aceitáveis e numa segunda produção deixaram de os conseguir replicar. Este estudo serviu então para perceber que entre os processos de estampagem o processo não se encontra nas mesmas condições o que poderá inviabilizar qualquer tentativa de uma posterior afinação do Robot de Soldadura. Várias causas para estas variações entre produções e falta de capacidade foram apresentadas no diagrama de Causa-Efeito e serão alvo futuramente de maior atenção.

Devido a esta falta de capacidade em diversos pontos nos três componentes estampados, e visto estes componentes serem parte de um processo intermédio que tem como finalização a sua soldadura, existem várias opções consideradas pelas equipas de engenharia e soldadura da MCG. É fundamental perceber as causas para as variações entre produções, sendo o setup da ferramenta no início de cada produção, na opinião dos engenheiros de processo, o principal

responsável por esta variação. O segundo ponto passa por estabilizar o processo de maneira a obter sempre os mesmos índices de capacidade. Isto passará por inspecionar as diversas ferramentas que estampam os vários componentes. Quando este objectivo for alcançado e os processos continuem a não apresentar capacidade, poderão ser derogadas novas especificações para as características em estudo. O factor mais importante para estes processos é apresentarem um comportamento estável e previsível, de maneira a ser mais fácil controlar o processo final de soldadura.

Paralelamente a esta análise foi também realizado um estudo ao processo de soldadura, o controlo estatístico deste processo assume-se como fundamental pois são estes os componentes que a empresa fornece ao seu cliente. Numa primeira fase foi efetuada a Fase1 do controlo estatístico de processo, onde se verificou que apenas três dos onze pontos em estudo apresentavam capacidade de produzir de acordo com as especificações. Esta situação é motivo de alarme e está neste momento a ser analisada por uma equipa multidisciplinar da MCG, de modo a perceber de que maneira atuar para aumentar os índices de capacidade. Os restantes três pontos estão neste momento a ser acompanhados na linha de produção através de cartas Z e W, onde se observa que o processo continua estável e com índices de capacidade aceitáveis.

De todas as causas apresentadas no diagrama de Causa-Efeito, a equipa de soldadura acredita que a principal causa para esta falta de capacidade advém da variação verificadas nos processos de estampagem. Devido a estas variações torna-se difícil afinar o processo de soldadura para uma determinada condição. As ferramentas de estampagem serão então alvo de uma análise pormenorizada pela equipa de Engenharia e produções futuras serão controladas estatisticamente novamente com recurso a cartas Q.

Foram levantadas também algumas questões quanto aos métodos de medição, para responder a estas dúvidas foram efetuados testes R&R. Estes resultados mostraram que os métodos de medição utilizados são credíveis e os seus resultados podem ser considerados.

A equipa de soldadura também acredita que existam problemas no processo de afinação dos robots de soldadura, para responder a esta questão existe uma possibilidade de se efectuar um Desenho de Experiências, de maneira a perceber que factores é que estão verdadeiramente a influenciar o output dos componentes soldados.

Para além destas duas causas a considerar com maior destaque, olhando para o Diagrama de Causa-Efeito foi assumido por todas as equipas envolvidas na produção deste componente o compromisso para eliminar todos os possíveis erros de medição, transporte ou qualquer tipo de erro grosseiro de factor humano, através de uma política de melhoria contínua com o factor Qualidade sempre presente no dia-a-dia de cada um.

Referências Bibliográficas

- Agostinho, I. (2011). Aplicação do Controlo Estatístico do Processo numa Indústria de Derivados de Tomate. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Amhemad, A.Z (2010). Effect of non normality on statistical control charts. *International Conference on Networking and Information Technology*, pp 87-95.
- Burr, I. (1976). *Statistical Quality Control Methods*, Vol15, Taylor & Francis, New York.
- Chan, L. K., Hapuarachchi, K. P., & Macpherson, B. D. (1988). Robustness of mean X and R charts, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol 37, pp 17-123.
- Chandra, M. (2001). *Statistical Quality Control*. Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Pennsylvania State University.
- Doty, L. (1996). *Statistical Process Control*, 2a Edição. New York: Industrial Press Inc.
- Doty, L. A. (1997). *SPC for Short Run Manufacturing*. Hanser Gardner Publications, Cincinnati.
- Duncan, A. (1986). *Quality Control and Industrial Statistics*, 5a Edição. Homewood: Irwin.
- Fernandes, J. (2010). Controlo Estatístico do Processo. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial. Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa.
- Gomes, P. J. P. (2004). A evolução do conceito de Qualidade: dos bens manufacturados aos serviços de informação. *Cadernos BAD*, Vol.2, pp.6-18.
- Juran, J. M. (1999). *Juran's Quality Control Handbook*, 5a Edição. New York: McGraw-Hill.
- Mitra, A. (2008). *Fundamentals of Quality Control and Improvement*, 3a Edição. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Montgomery, D. C. (2013). *Introduction to Statistical Quality Control*, 7a Edição. New York: John Wiley & Sons.
- Oakland, J. (2003). *Statistical Process Control*, 5a Edição. Oxford: Butterworth-Heinmann.
- Pereira e Requeijo, J. G. (2012). *Qualidade: Planeamento e Controlo Estatístico de Processos*, 2a Edição. Lisboa: FCT-UNL.
- Pires, A. R. (2007). *Qualidade: Sistemas de Gestão da Qualidade*, 3a Edição. Edições Silabo.
- Pitt, H. (1994). *SPC for the Rest of US: A Personal Path to Statistical Process Control*. Addison-

Wesley Publishing Company, Massachusetts.

Western Electric. (1956). Statistical Quality Handbook, Western Electric Corporation. Indianapolis.

Wheeler, D. (1992). Short Run SPC. Knoxville, Tennessee: SPC Press.

Quesenberry, C. P. (1997). SPC Methods for Quality and Improvement. New York: John Wiley & Sons.

Shewhart, W.A (1931). Economic Control of Quality of Manufactured Product, D. Van Nostrand Company, Inc, New York.

Tabelas e Fórmulas Estatísticas

Tabela A.1 - Valores Críticos Distribuição Estatística D (Lilliefors)

n	α				
	0,20	0,15	0,10	0,05	0,01
4	0,300	0,319	0,352	0,381	0,417
5	0,285	0,299	0,315	0,337	0,405
6	0,265	0,277	0,294	0,319	0,364
7	0,247	0,258	0,276	0,300	0,348
8	0,233	0,244	0,261	0,285	0,331
9	0,223	0,233	0,249	0,271	0,311
10	0,215	0,224	0,239	0,258	0,294
11	0,206	0,217	0,230	0,249	0,284
12	0,199	0,212	0,223	0,242	0,275
13	0,190	0,202	0,214	0,234	0,268
14	0,183	0,194	0,207	0,227	0,261
15	0,177	0,187	0,201	0,220	0,257
16	0,173	0,182	0,195	0,213	0,250
17	0,169	0,177	0,189	0,206	0,245
18	0,166	0,173	0,184	0,200	0,239
19	0,163	0,169	0,179	0,195	0,235
20	0,160	0,166	0,174	0,190	0,231
25	0,149	0,153	0,165	0,180	0,203
30	0,131	0,136	0,144	0,161	0,187
30	$\frac{0,736}{\sqrt{n}}$	$\frac{0,768}{\sqrt{n}}$	$\frac{0,805}{\sqrt{n}}$	$\frac{0,886}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,031}{\sqrt{n}}$

Tabela A.2 - Constantes para Cartas Tradicionais de Variáveis.

Factores para construção das cartas de controlo de variáveis

Dimensão Amostra	Carta da Média						Carta do Desvio Padrão						Carta da Amplitude			
	Factores Limites Controlo			Factores Linha Central			Factores para Limites de Controlo						Factores para Limites de Controlo			
	A	A ₂	A ₃	d ₂	c ₄	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	d ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄		
2	2,121	1,881	2,659	1,128	0,7979	0	3,267	0	2,606	0,853	0	3,686	0	3,267		
3	1,732	1,023	1,954	1,693	0,8862	0	2,568	0	2,276	0,888	0	4,358	0	2,574		
4	1,500	0,729	1,628	2,059	0,9213	0	2,266	0	2,088	0,880	0	4,698	0	2,282		
5	1,342	0,577	1,427	2,326	0,9400	0	2,089	0	1,964	0,864	0	4,918	0	2,114		
6	1,225	0,483	1,287	2,534	0,9515	0,030	1,970	0,029	1,874	0,848	0	5,078	0	2,004		
7	1,134	0,419	1,182	2,704	0,9594	0,118	1,882	0,113	1,806	0,833	0,204	5,204	0,076	1,924		
8	1,061	0,373	1,099	2,847	0,9650	0,185	1,815	0,179	1,751	0,820	0,388	5,306	0,136	1,864		
9	1,000	0,337	1,032	2,970	0,9693	0,239	1,761	0,232	1,707	0,808	0,547	5,393	0,184	1,816		
10	0,949	0,308	0,975	3,078	0,9727	0,284	1,716	0,276	1,669	0,797	0,687	5,469	0,223	1,777		
11	0,905	0,285	0,927	3,173	0,9754	0,321	1,679	0,313	1,637	0,787	0,811	5,535	0,256	1,744		
12	0,866	0,266	0,886	3,258	0,9776	0,354	1,646	0,346	1,610	0,778	0,922	5,594	0,283	1,717		
13	0,832	0,249	0,850	3,336	0,9794	0,382	1,618	0,374	1,585	0,770	1,025	5,647	0,307	1,693		
14	0,802	0,235	0,817	3,407	0,9810	0,406	1,594	0,399	1,563	0,763	1,118	5,696	0,328	1,672		
15	0,775	0,223	0,789	3,472	0,9823	0,428	1,572	0,421	1,544	0,756	1,203	5,741	0,347	1,653		
16	0,750	0,212	0,763	3,532	0,9835	0,448	1,552	0,440	1,526	0,750	1,282	5,782	0,363	1,637		
17	0,728	0,203	0,739	3,588	0,9845	0,466	1,534	0,458	1,511	0,744	1,356	5,820	0,378	1,622		
18	0,707	0,194	0,718	3,640	0,9854	0,482	1,518	0,475	1,496	0,739	1,424	5,856	0,391	1,608		
19	0,688	0,187	0,698	3,689	0,9862	0,497	1,503	0,490	1,483	0,734	1,487	5,891	0,403	1,597		
20	0,671	0,180	0,680	3,735	0,9869	0,510	1,490	0,504	1,470	0,729	1,549	5,921	0,415	1,585		
21	0,655	0,173	0,663	3,778	0,9876	0,523	1,477	0,516	1,459	0,724	1,605	5,951	0,425	1,575		
22	0,640	0,167	0,647	3,819	0,9882	0,534	1,466	0,528	1,448	0,720	1,659	5,979	0,434	1,566		
23	0,626	0,162	0,633	3,858	0,9887	0,545	1,455	0,539	1,438	0,716	1,710	6,006	0,443	1,557		
24	0,612	0,157	0,619	3,895	0,9892	0,555	1,445	0,549	1,429	0,712	1,759	6,031	0,451	1,548		
25	0,600	0,153	0,606	3,931	0,9896	0,565	1,435	0,559	1,420	0,708	1,806	6,056	0,459	1,541		

Para $n > 25$

$$A = \frac{3}{\sqrt{n}} \quad A_3 = \frac{3}{c_4 \sqrt{n}} \quad c_4 \approx \frac{4(n-1)}{4n-3} \quad B_3 = 1 - \frac{3\sqrt{1-c_4^2}}{c_4} \quad B_4 = 1 + \frac{3\sqrt{1-c_4^2}}{c_4} \quad B_5 = c_4 - 3\sqrt{1-c_4^2} \quad B_6 = c_4 + 3\sqrt{1-c_4^2}$$

Cartas de Controlo Q(X) e Q(MR) – Componente A1 (Produção 1 e 2)

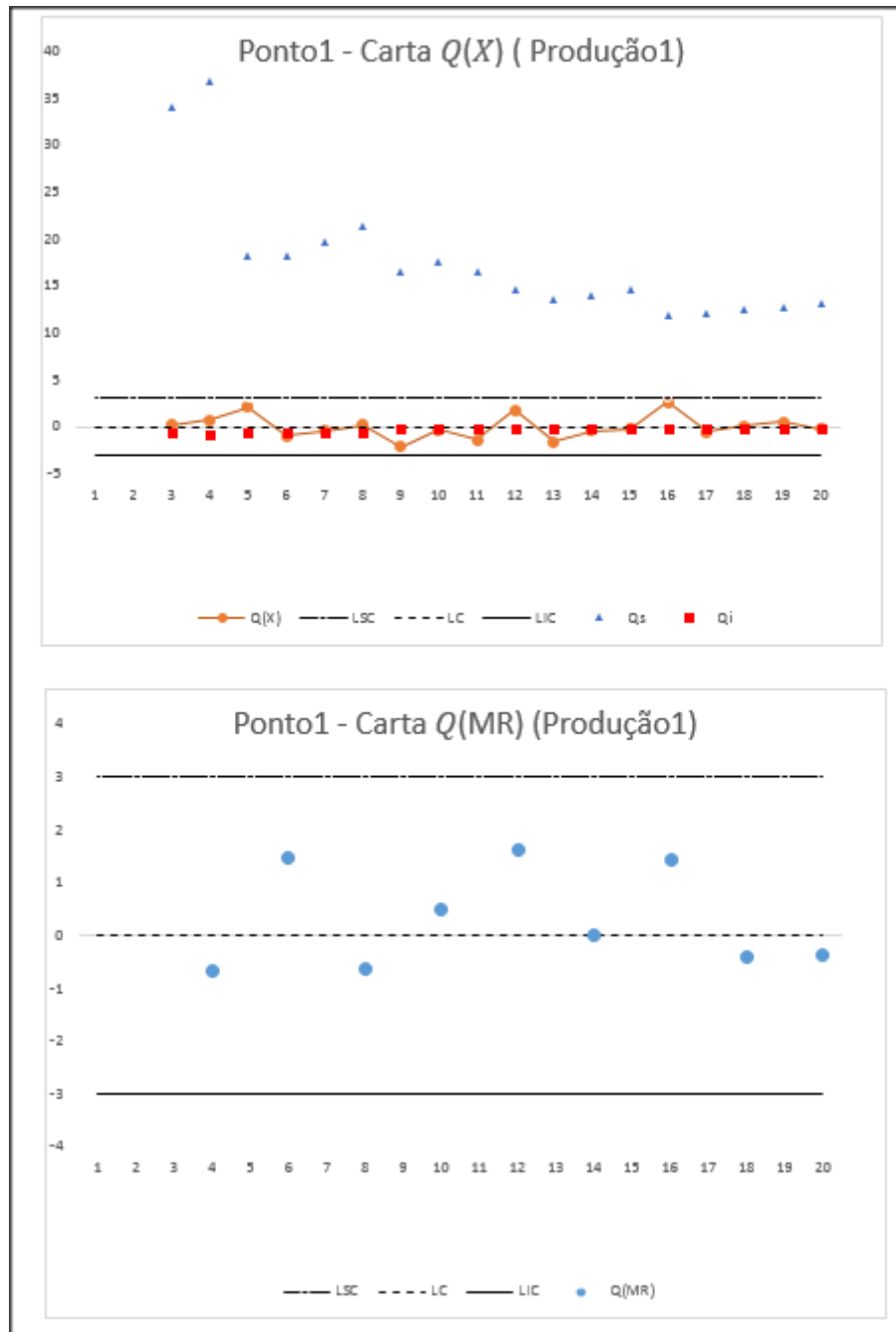


Figura B.1 - Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto1 (Produção1)

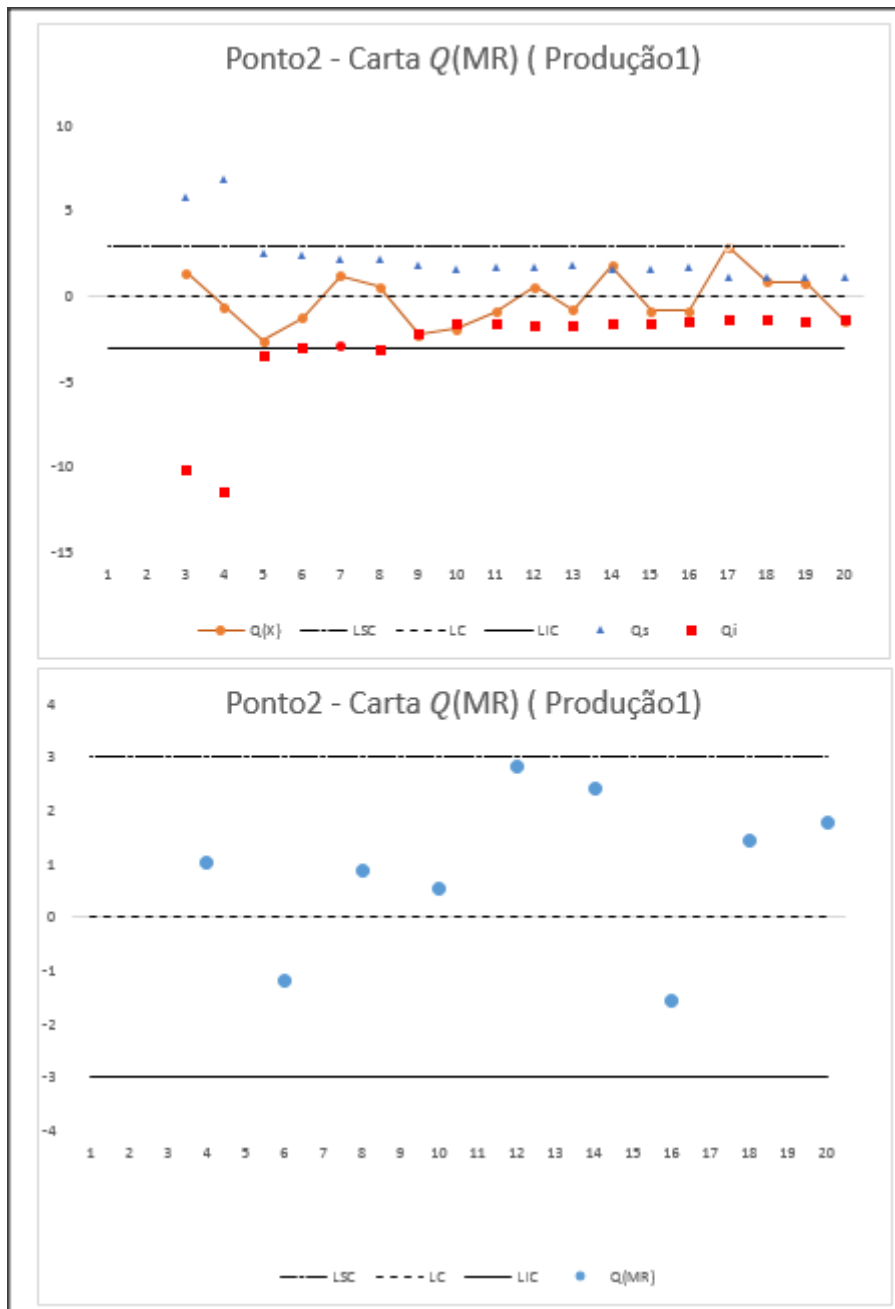


Figura B.2 - Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto2 (Produção1)

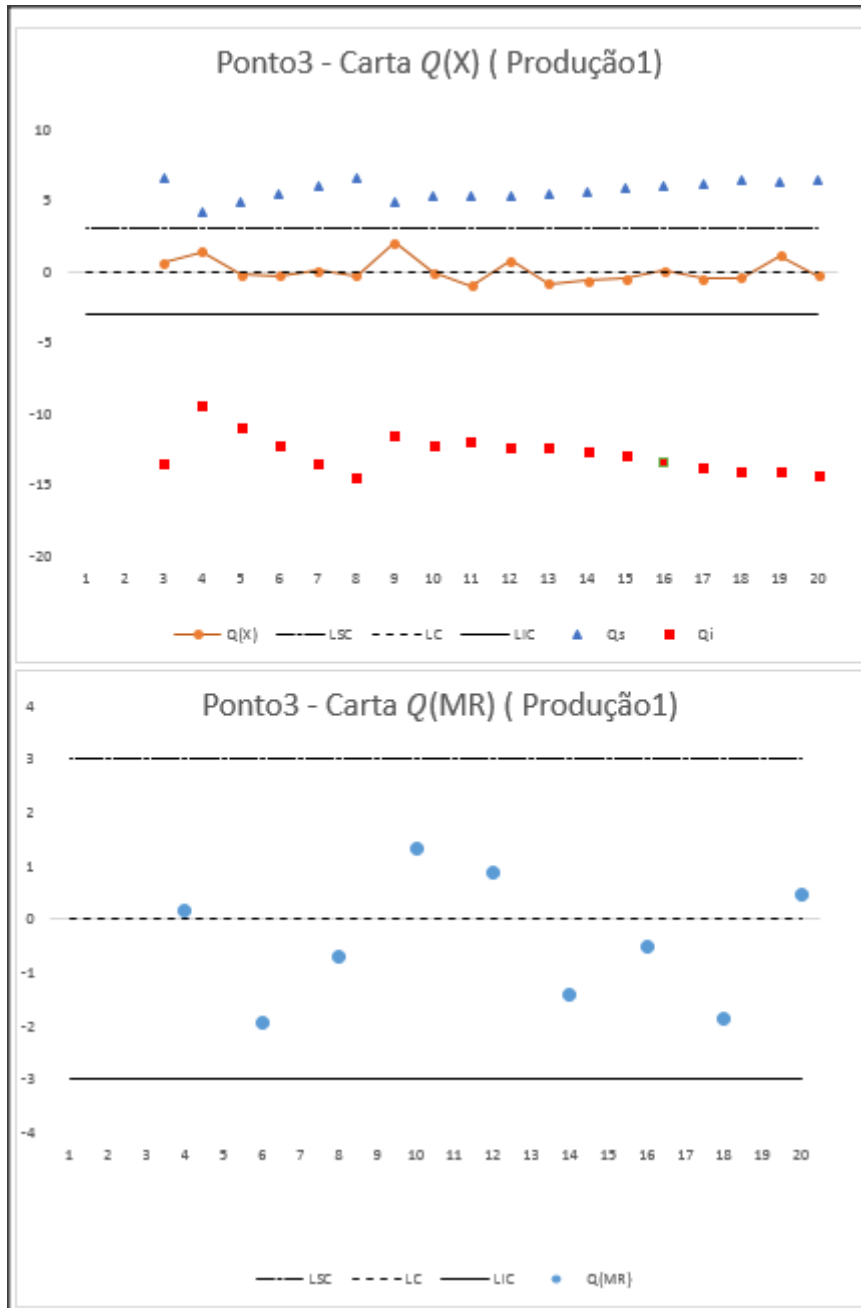


Figura B.3 - Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto3 (Produção1)

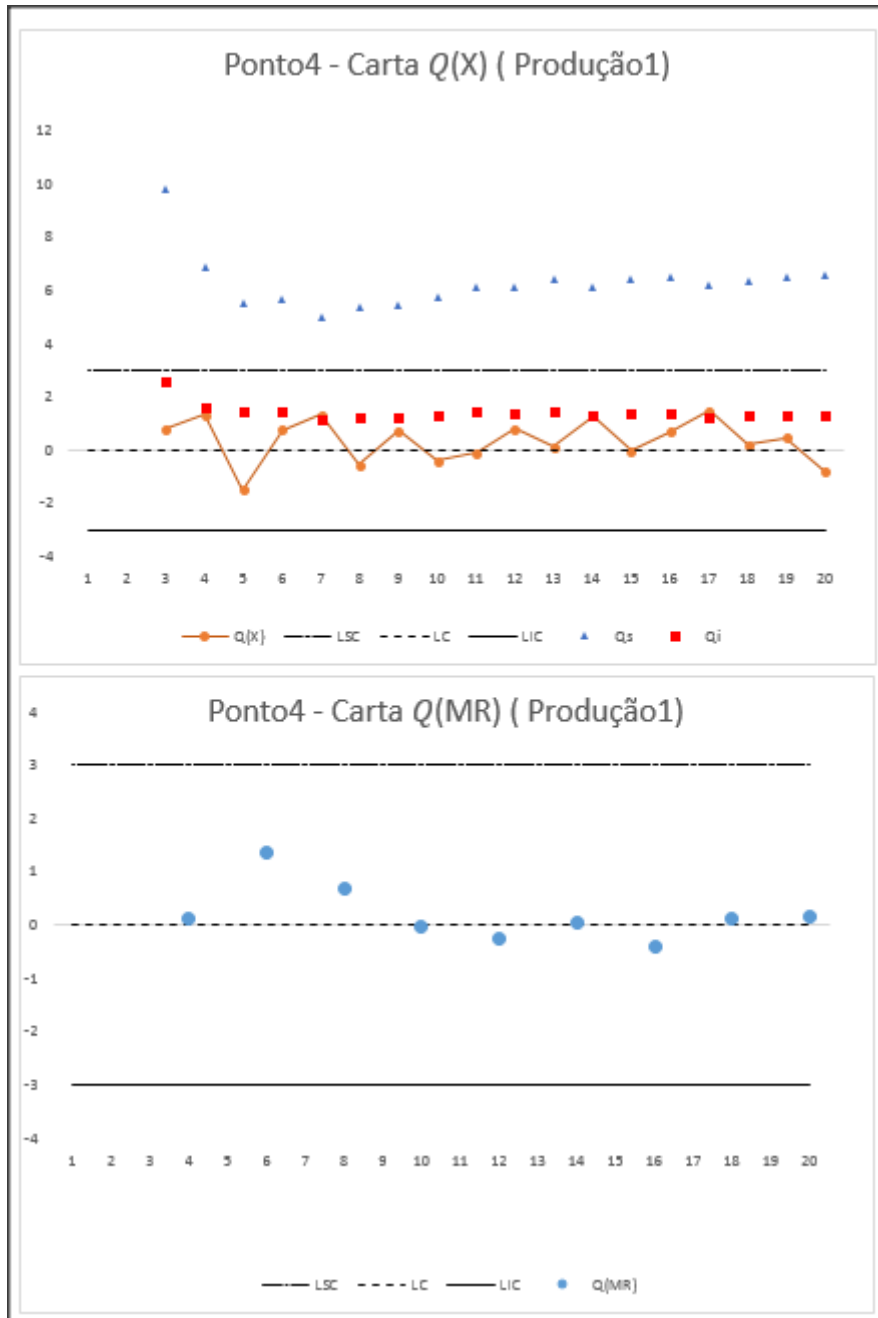


Figura B.4 - Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto4 (Produção1)

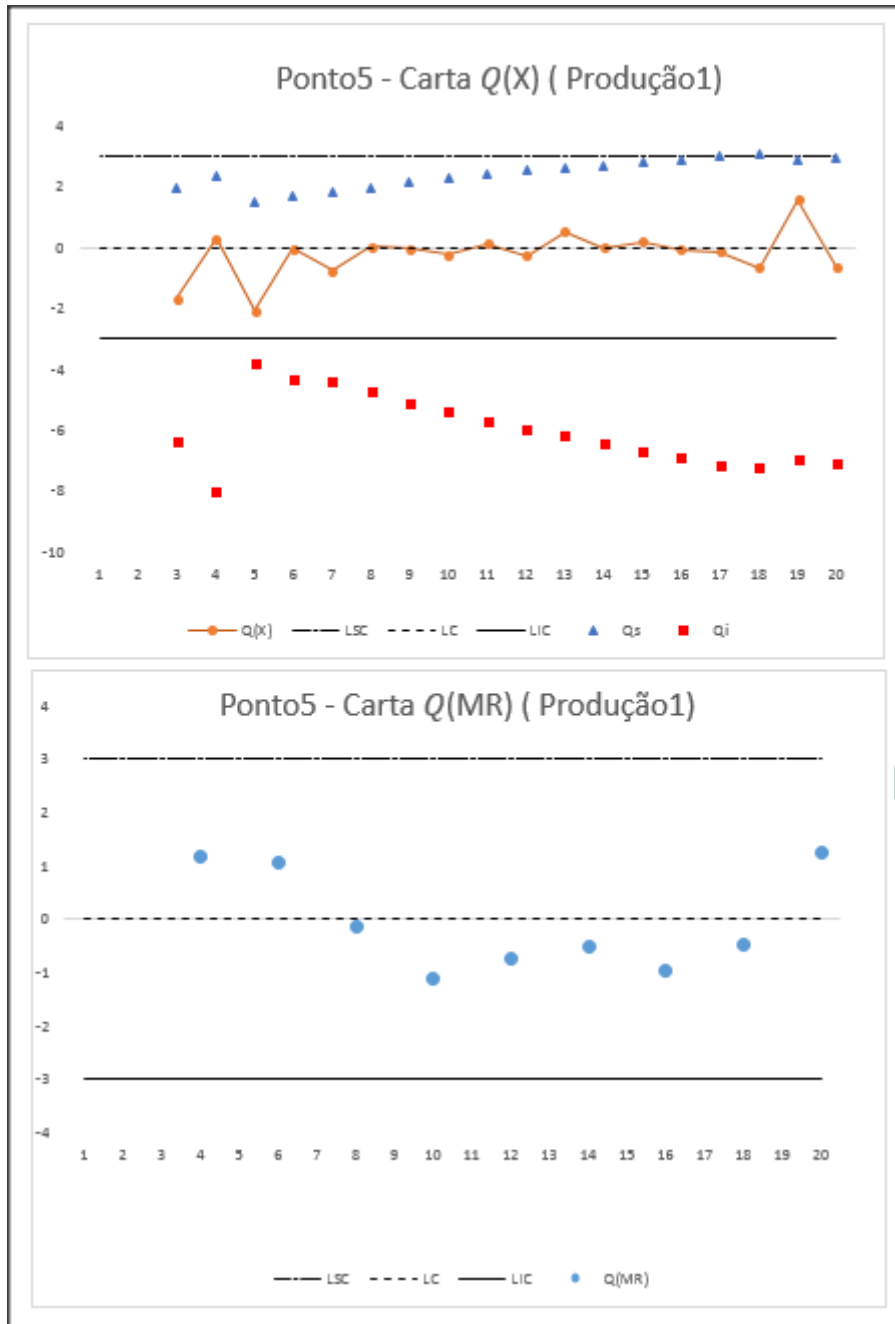


Figura B.5 - Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto5 (Produção1)

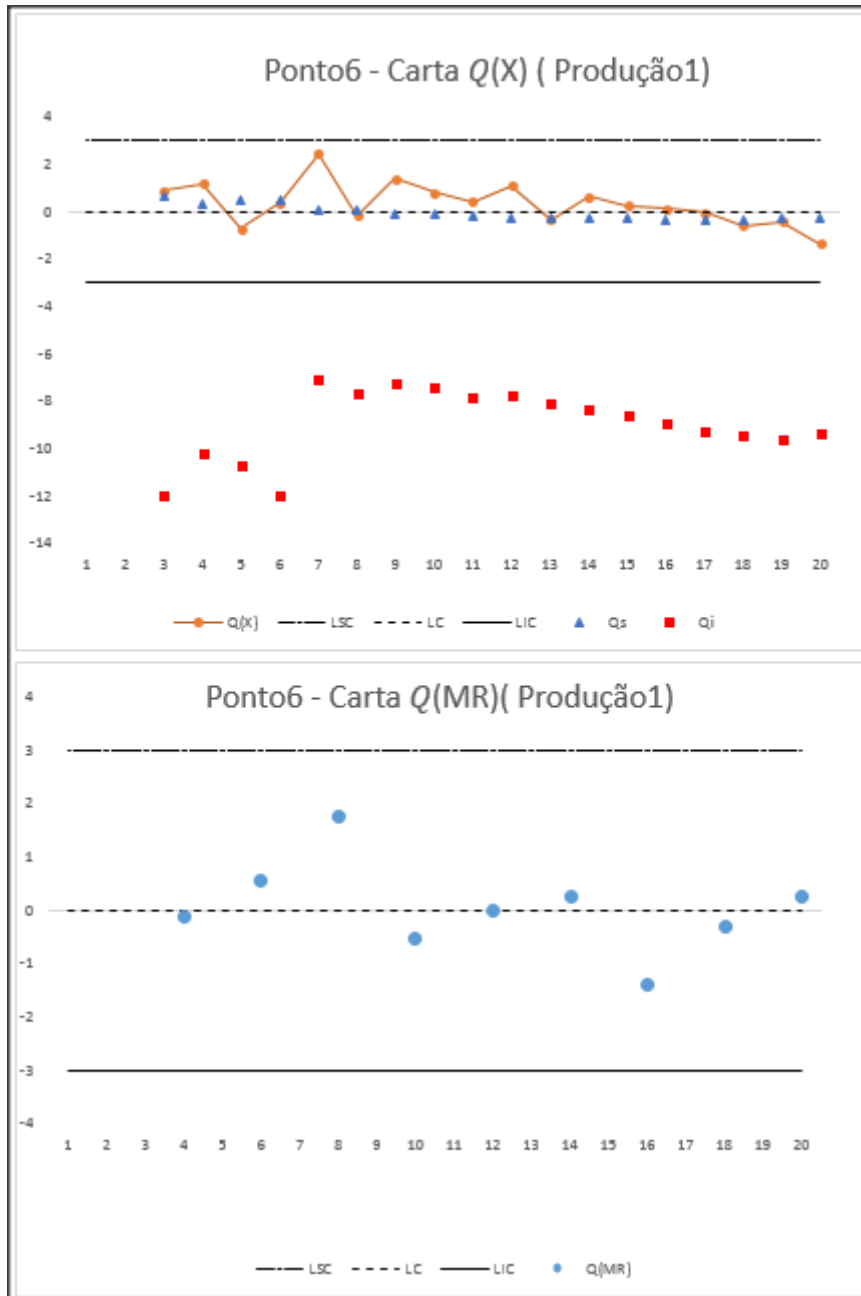


Figura B.6 - Carta $Q(X)$ e $Q(MR)$, Ponto6 (Produção1)

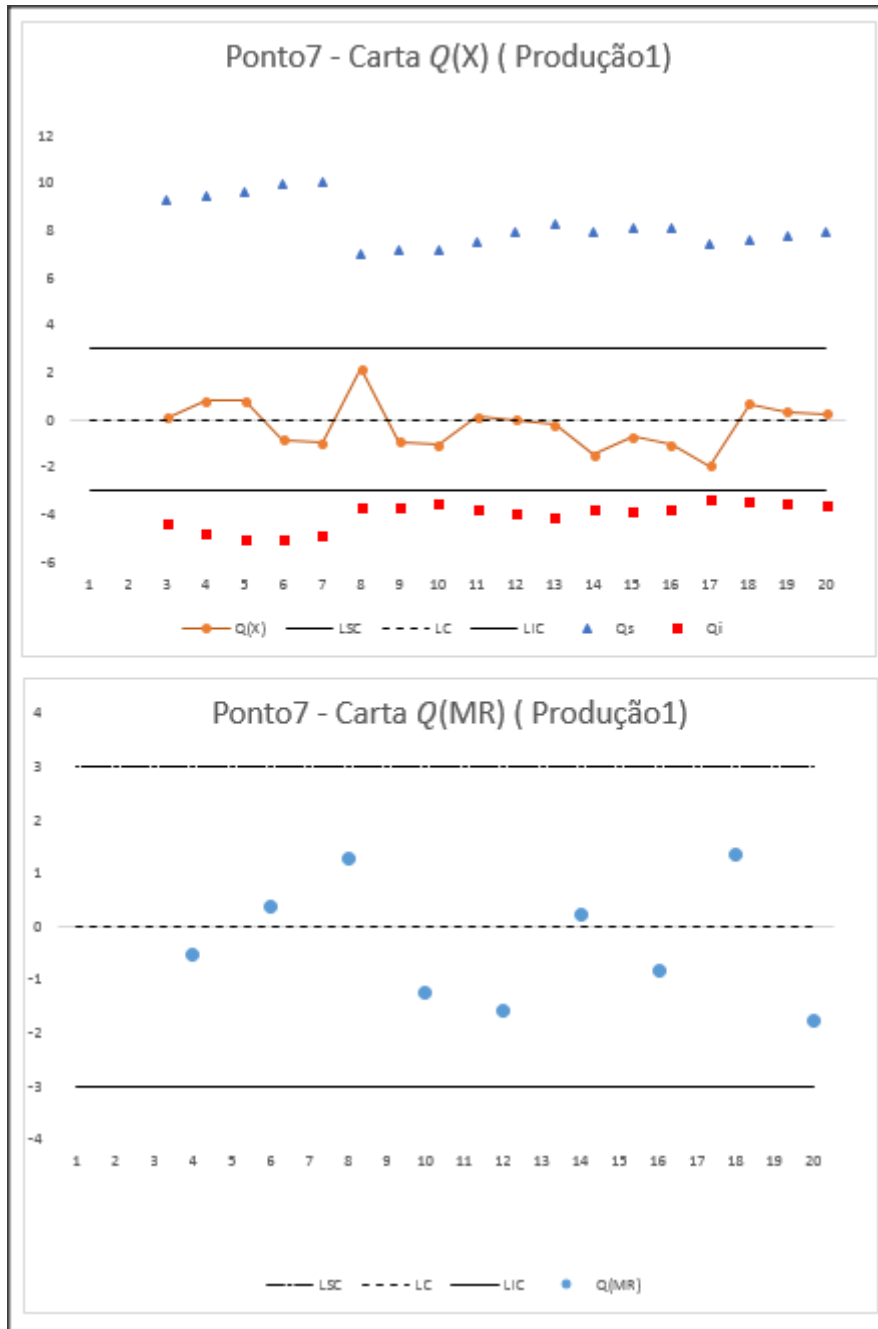


Figura B.7 - Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto7 (Produção1)

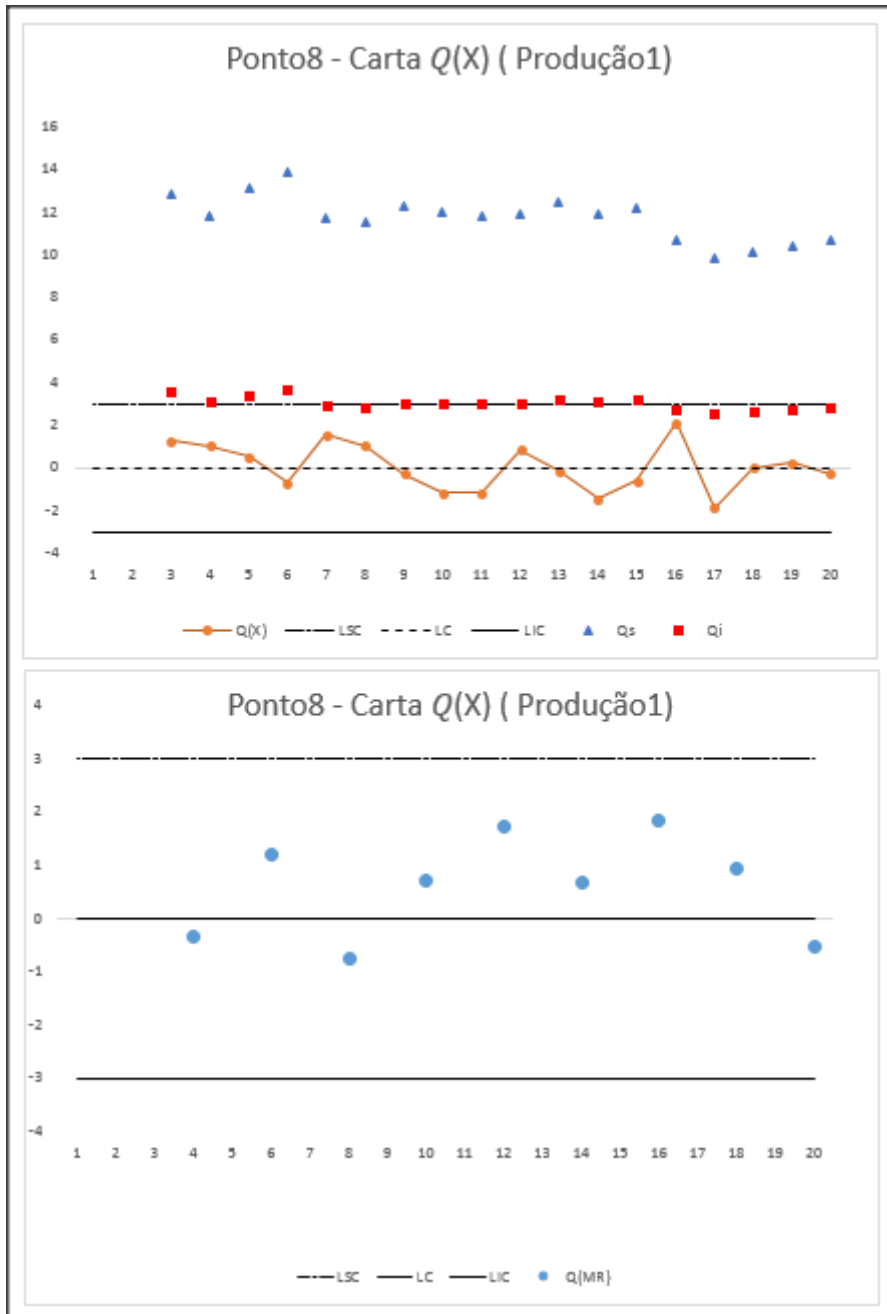


Figura B.8 - Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto8 (Produção1)

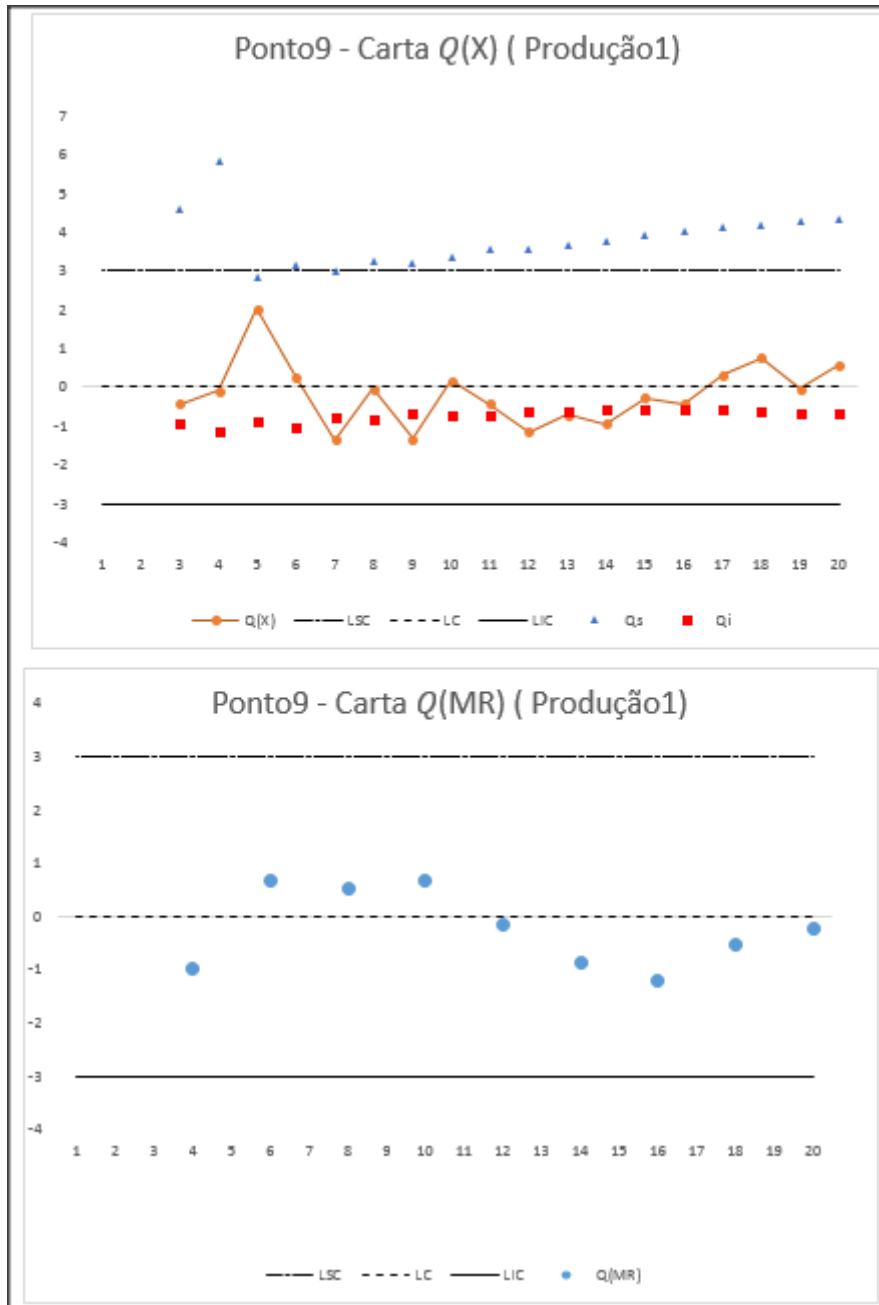


Figura B.9 - Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto9 (Produção1)

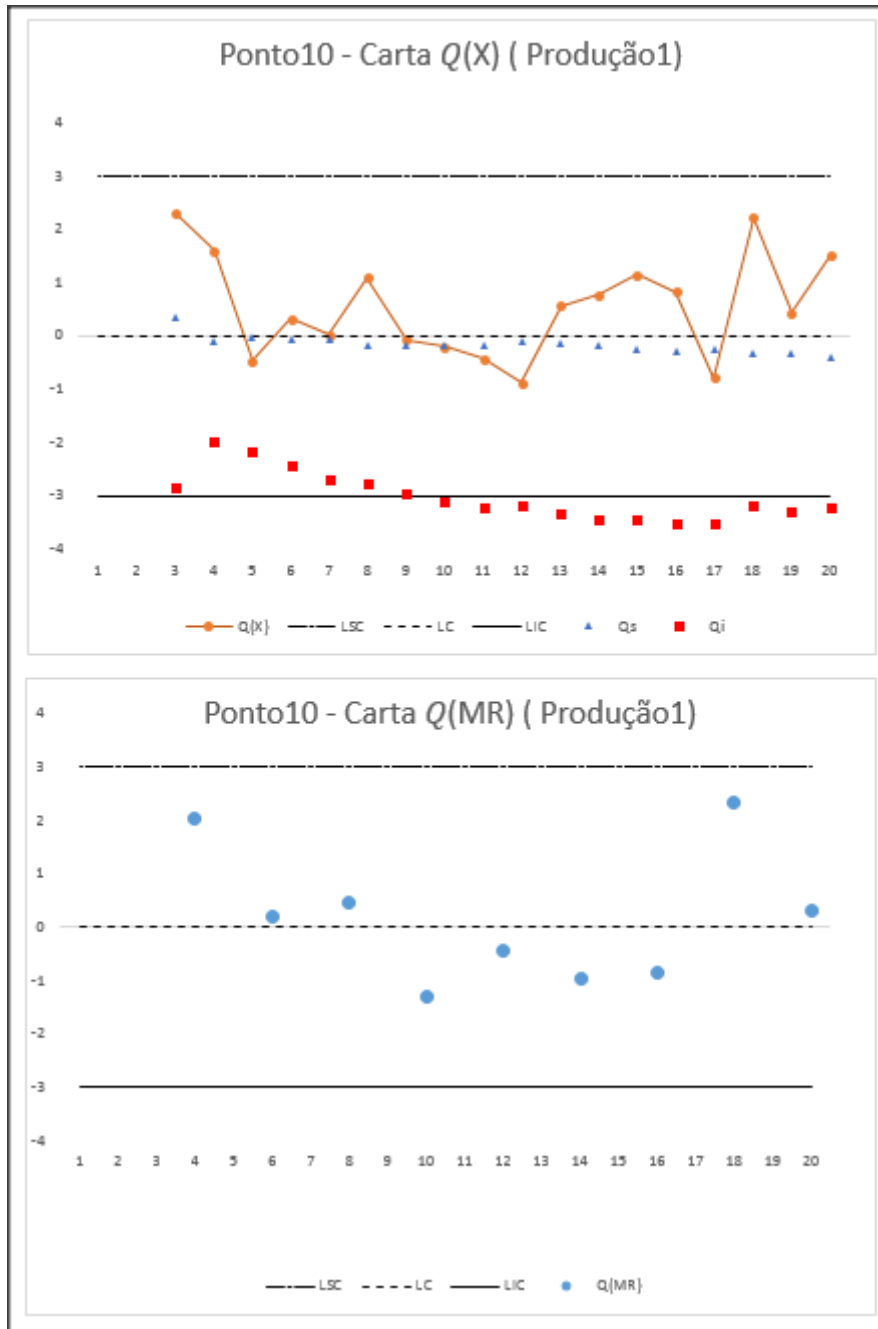


Figura B.10 - Carta $Q(X)$ e $Q(MR)$, Ponto10 (Produção1)

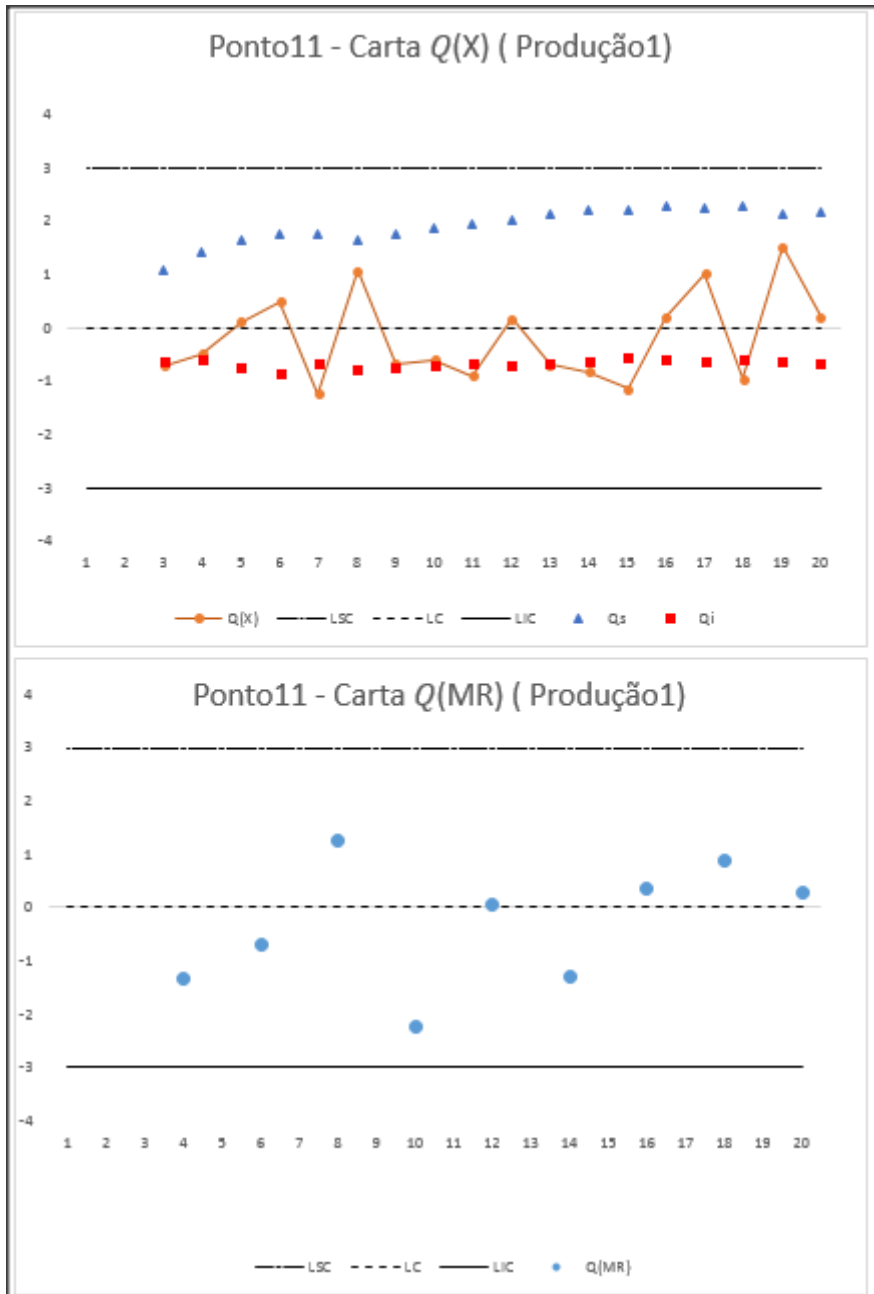


Figura B.11 - Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto11 (Produção1)

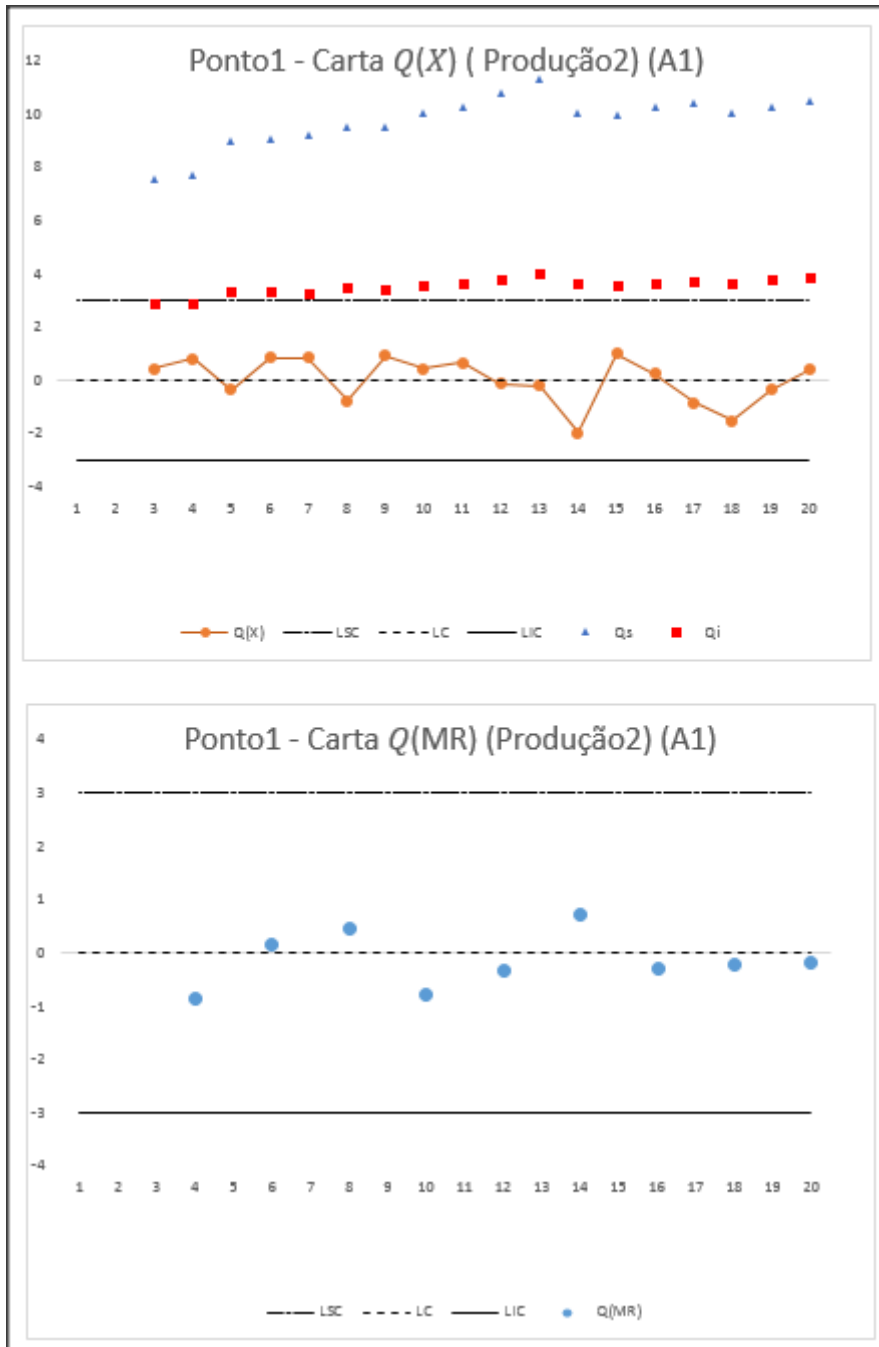


Figura B.12 - Carta $Q(X)$ e $Q(MR)$, Ponto1 (Produção2)

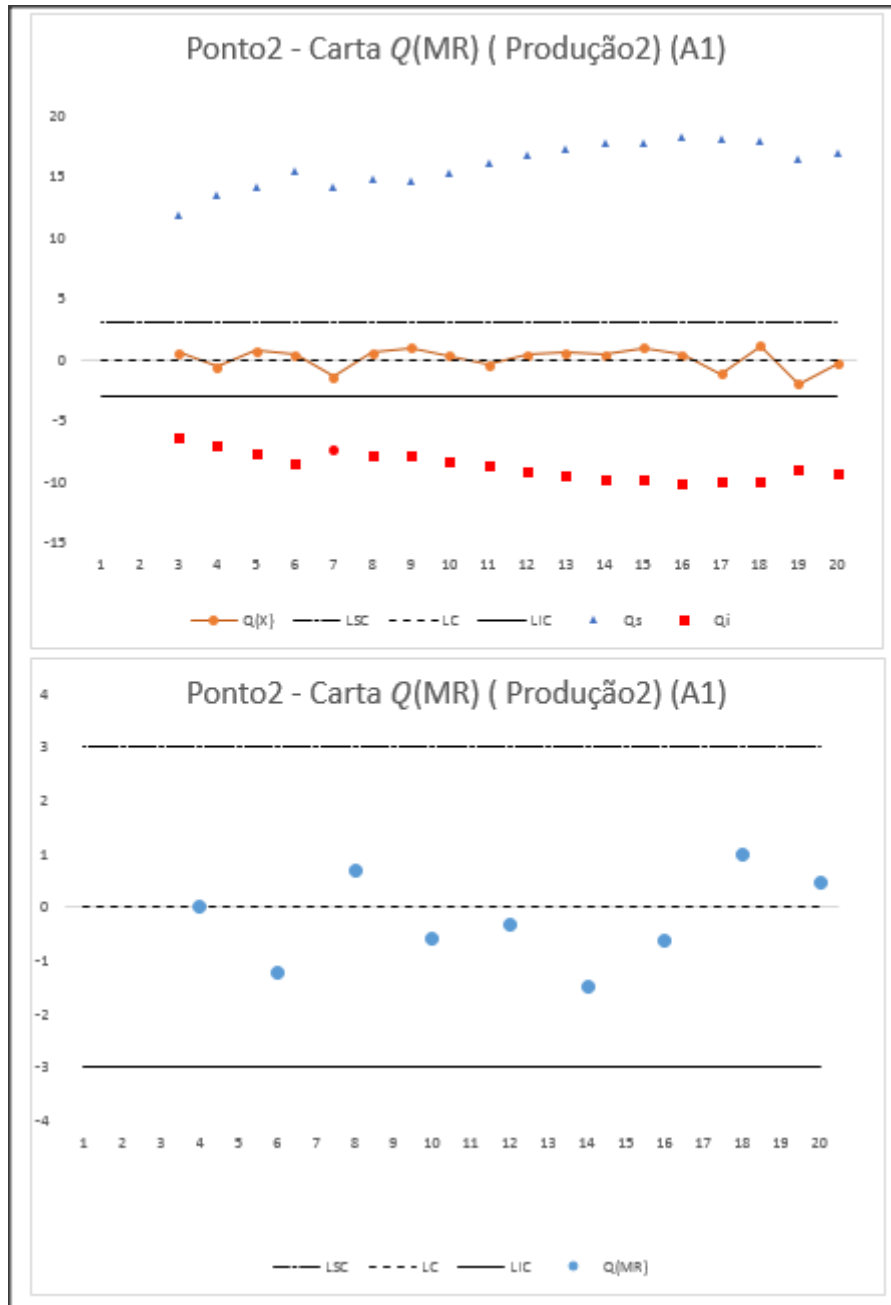


Figura B.13 - Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto2 (Produção2)

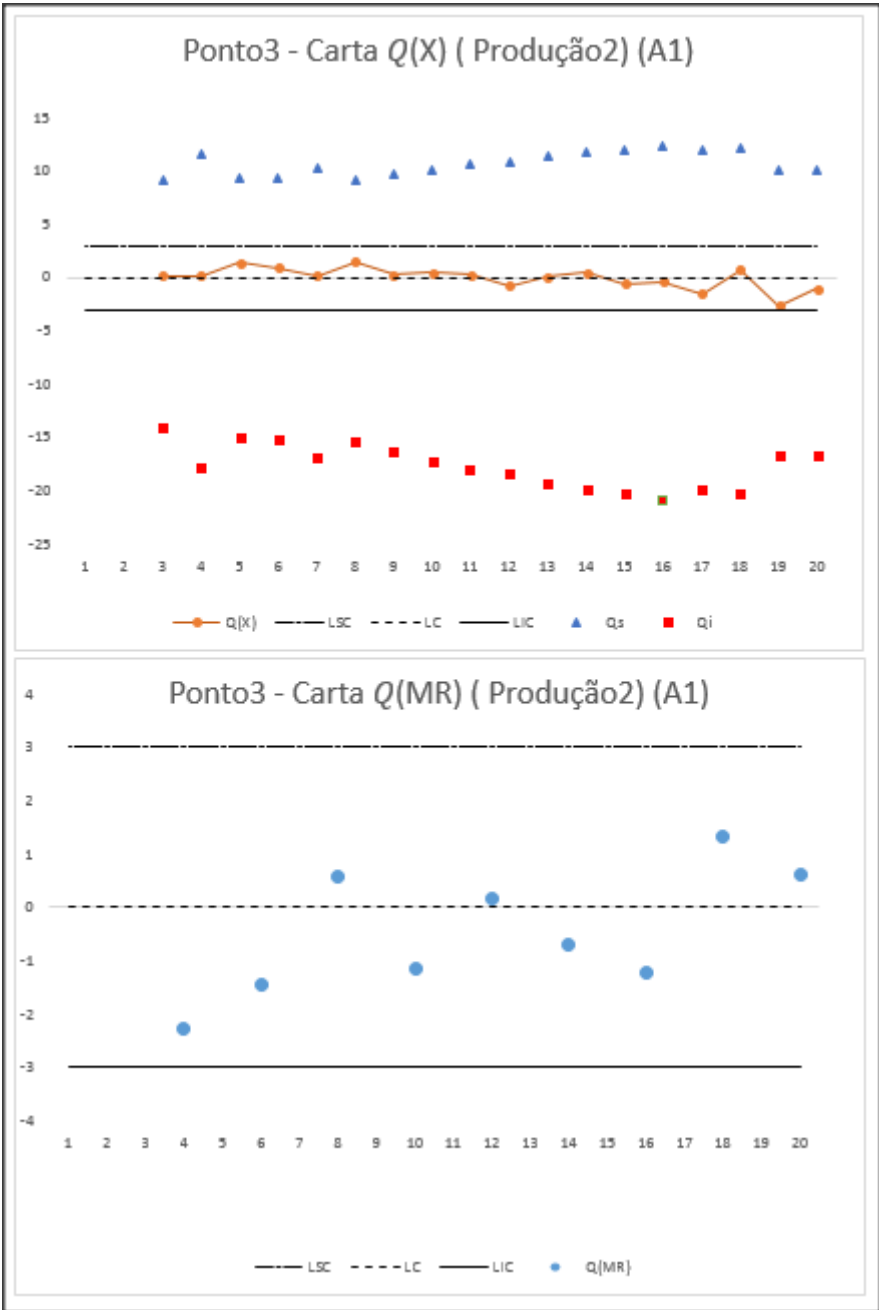


Figura B.14 - Carta $Q(X)$ e $Q(MR)$, Ponto3 (Produção2)

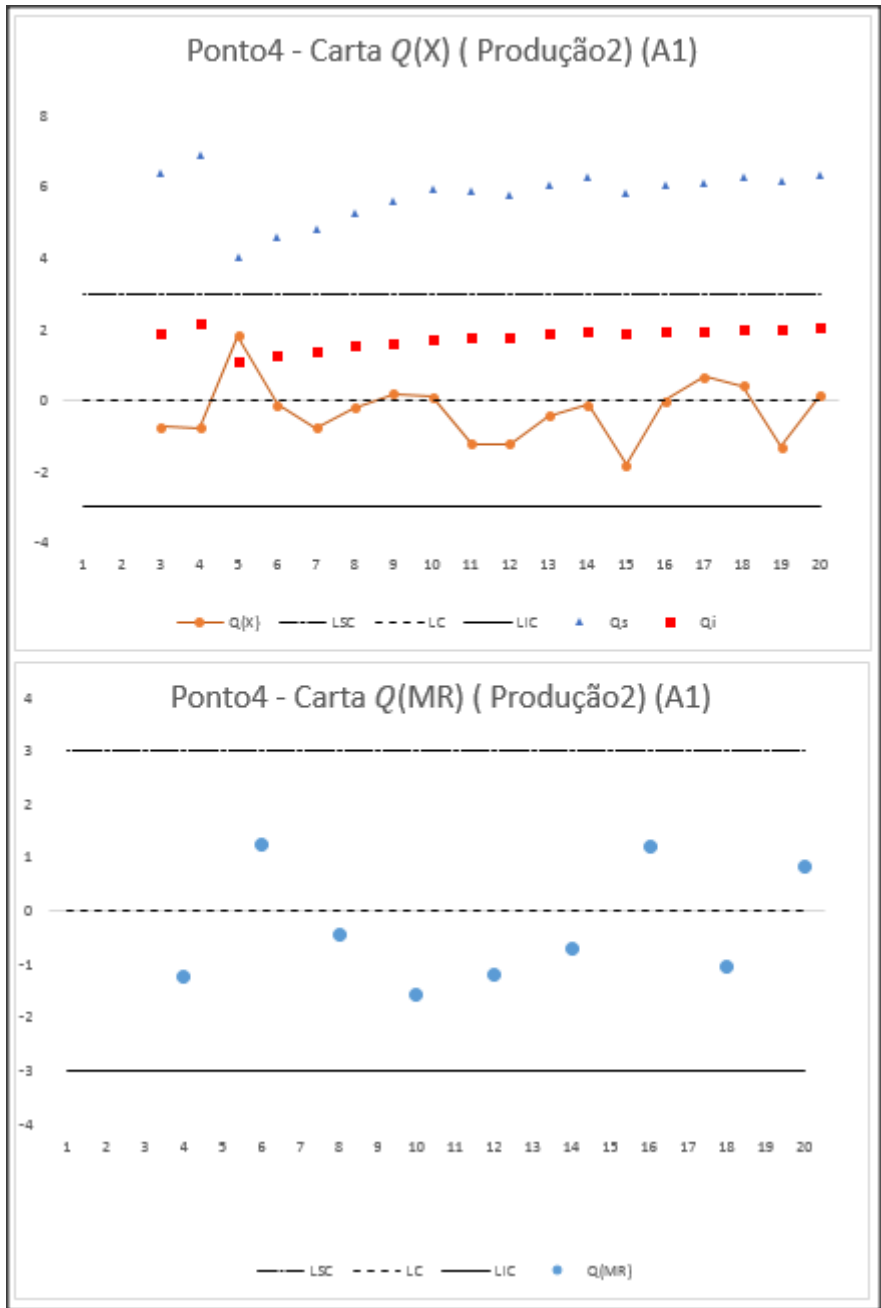


Figura B.15 - Carta $Q(X)$ e $Q(MR)$, Ponto4 (Produção2)

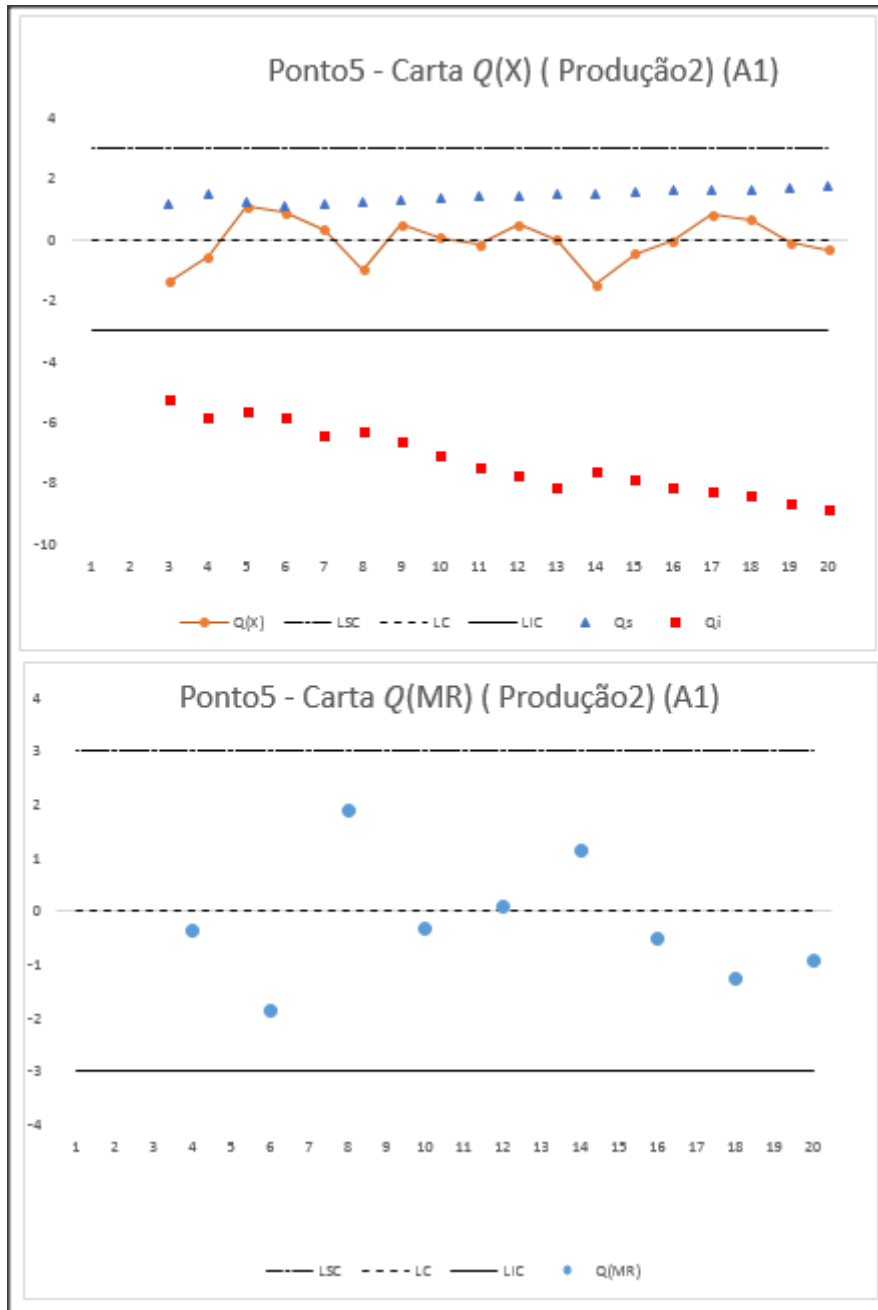


Figura B.16 - Carta $Q(X)$ e $Q(MR)$, Ponto5 (Produção2)

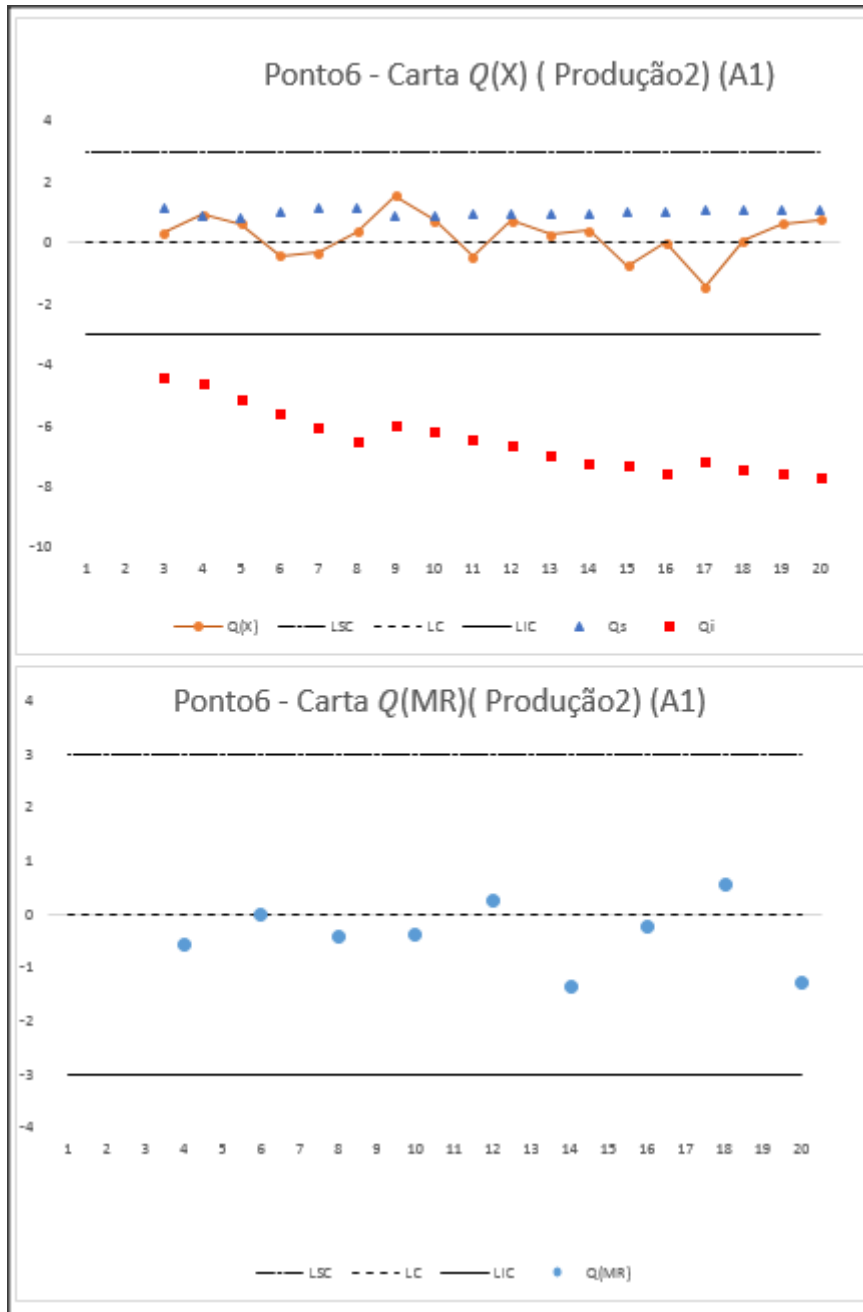


Figura B.17 - Carta $Q(X)$ e $Q(MR)$, Ponto6 (Produção2)

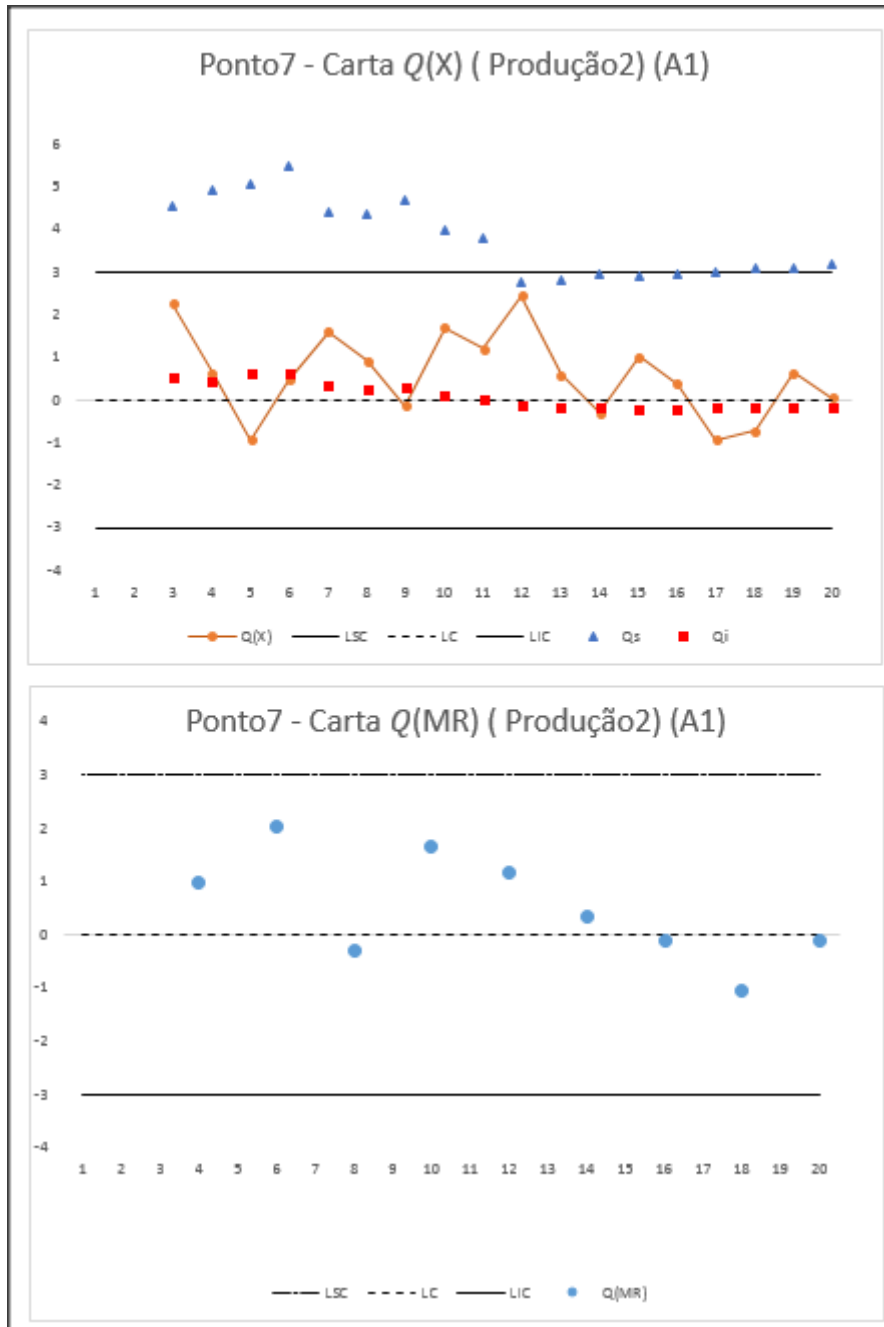


Figura B.18 - Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto7 (Produção2)

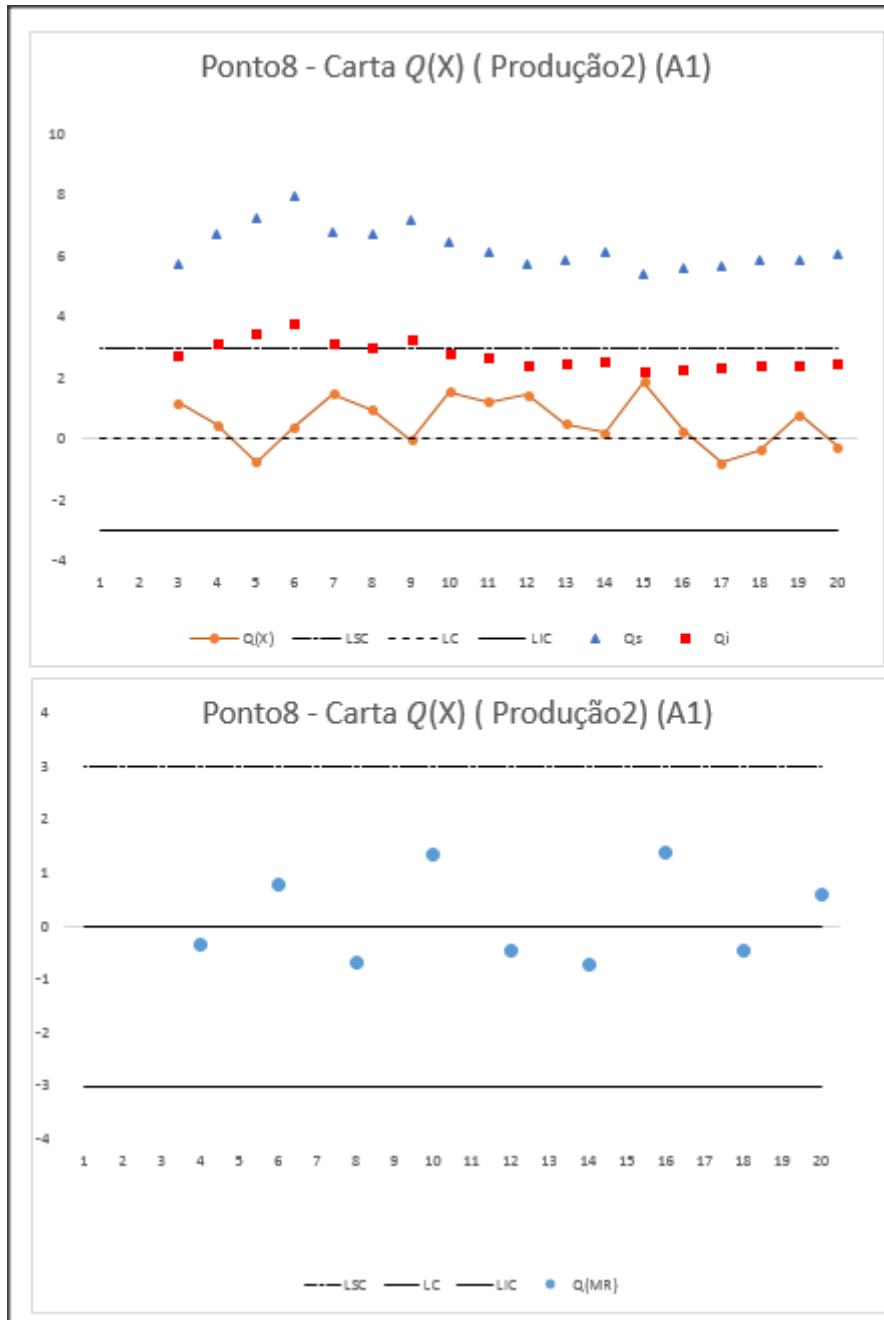


Figura B.19 - Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto8 (Produção2)

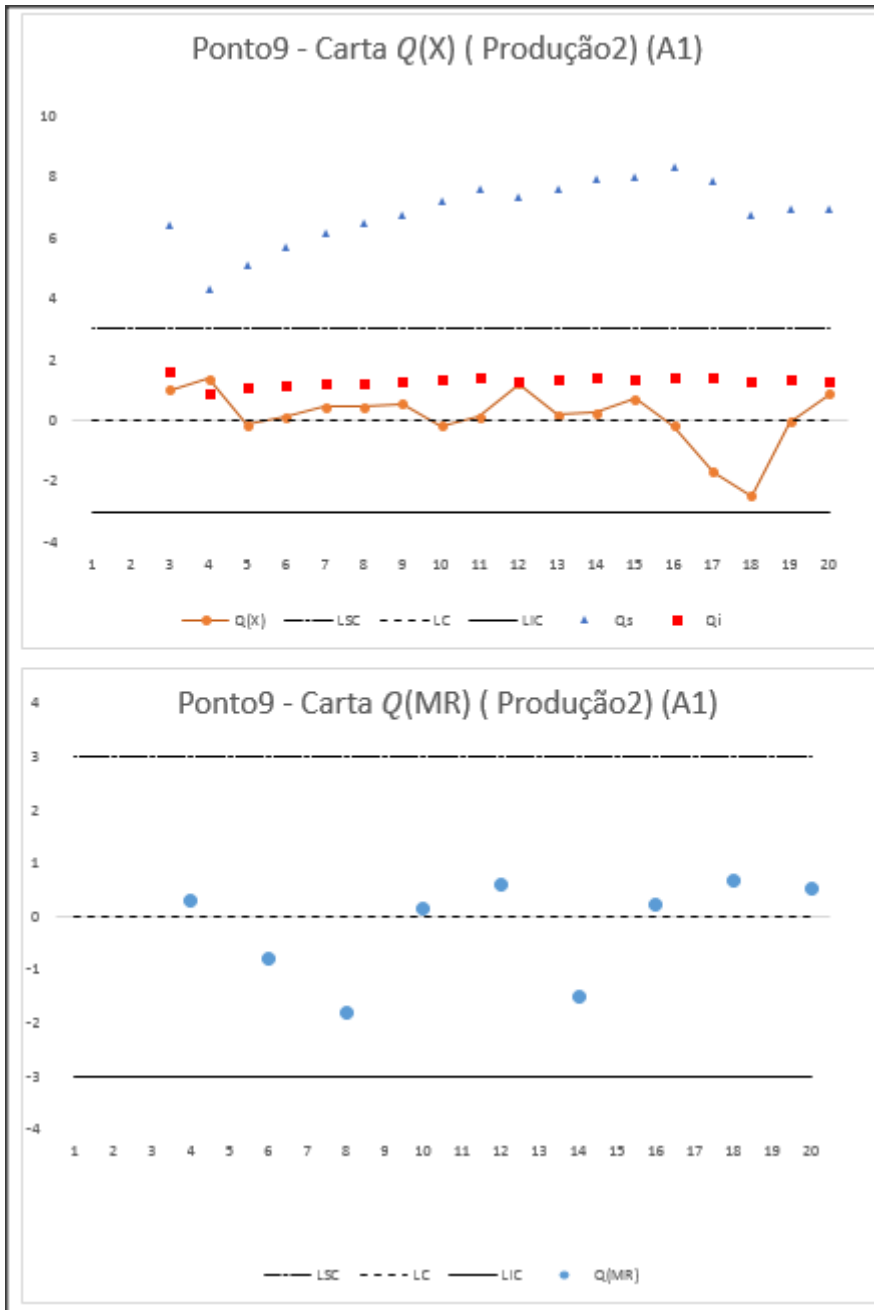


Figura B.20 - Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto9 (Produção2)

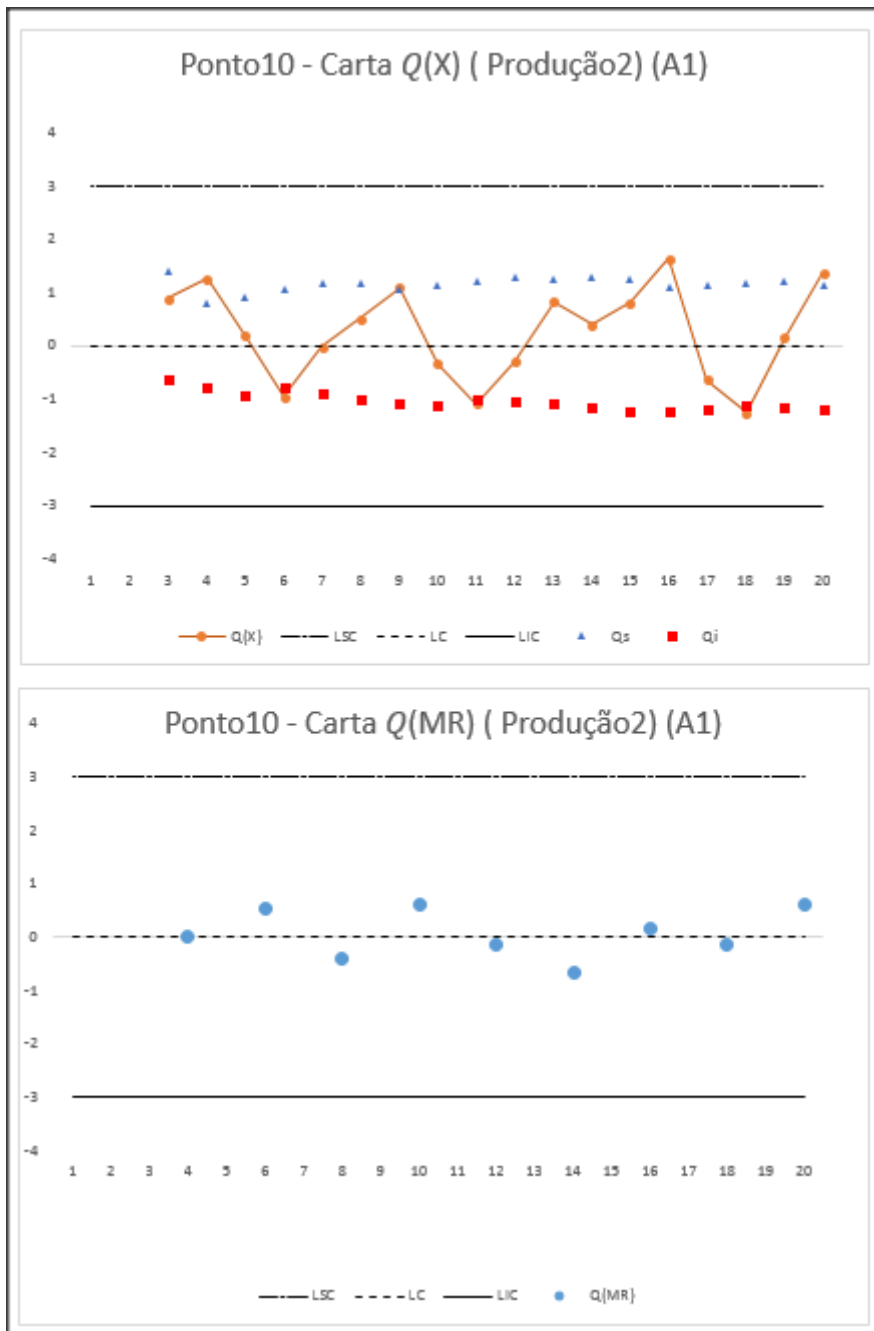


Figura B.21 - Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto10 (Produção2)

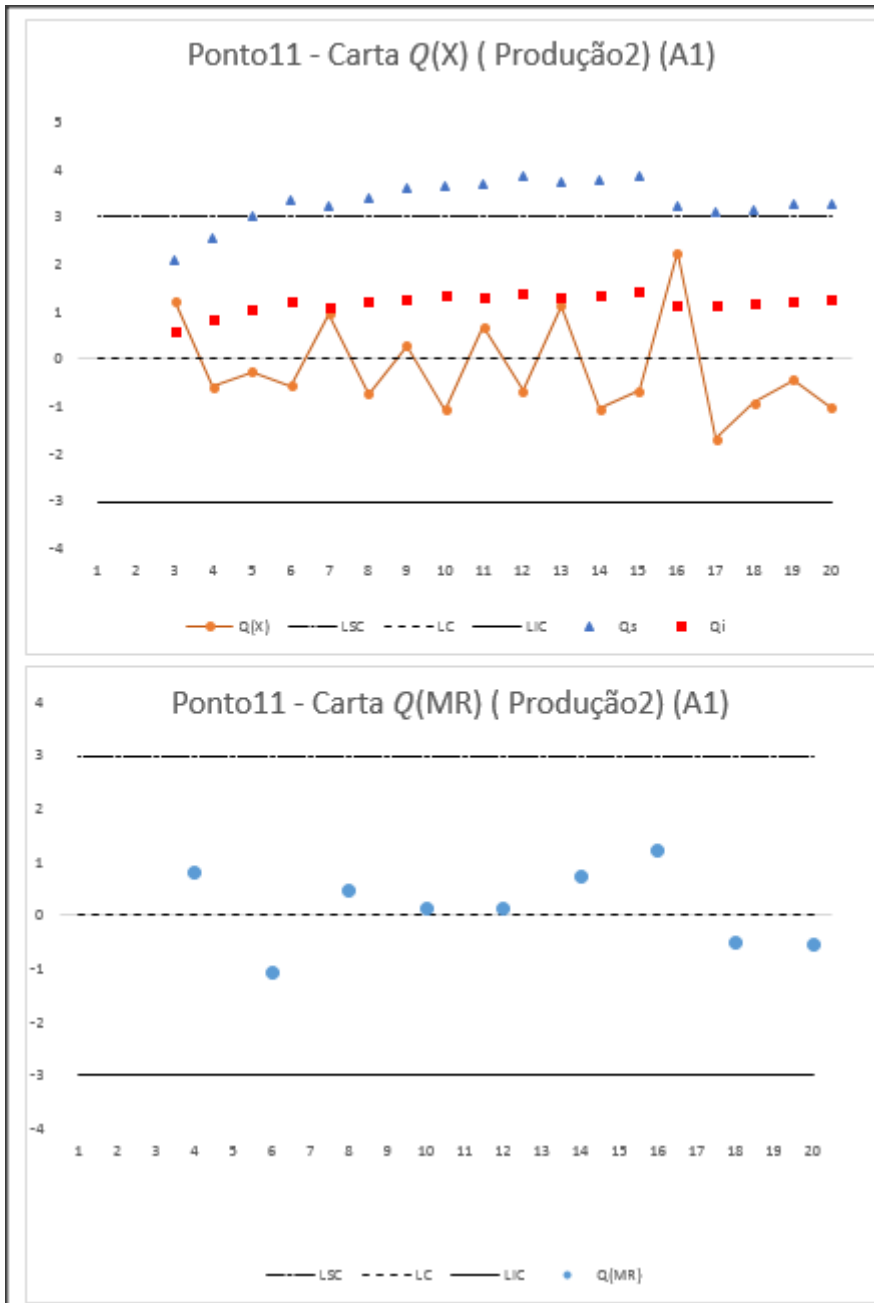


Figura B.22 - Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto11 (Produção2)

Cartas de Controlo Q(X) e Q(MR) – Componente A2 (Produção 1 e 2)

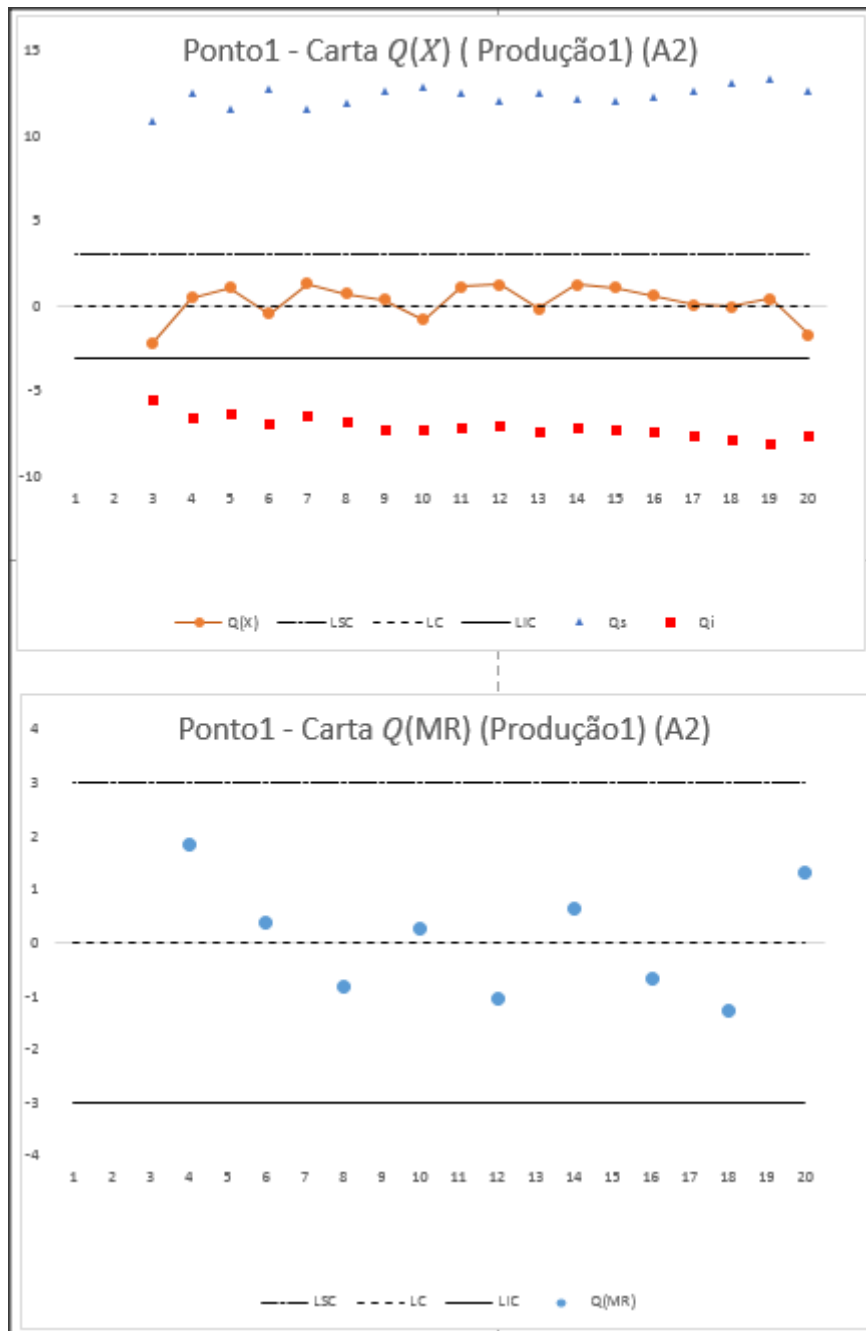


Figura C.1 - Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto1 (Produção1)

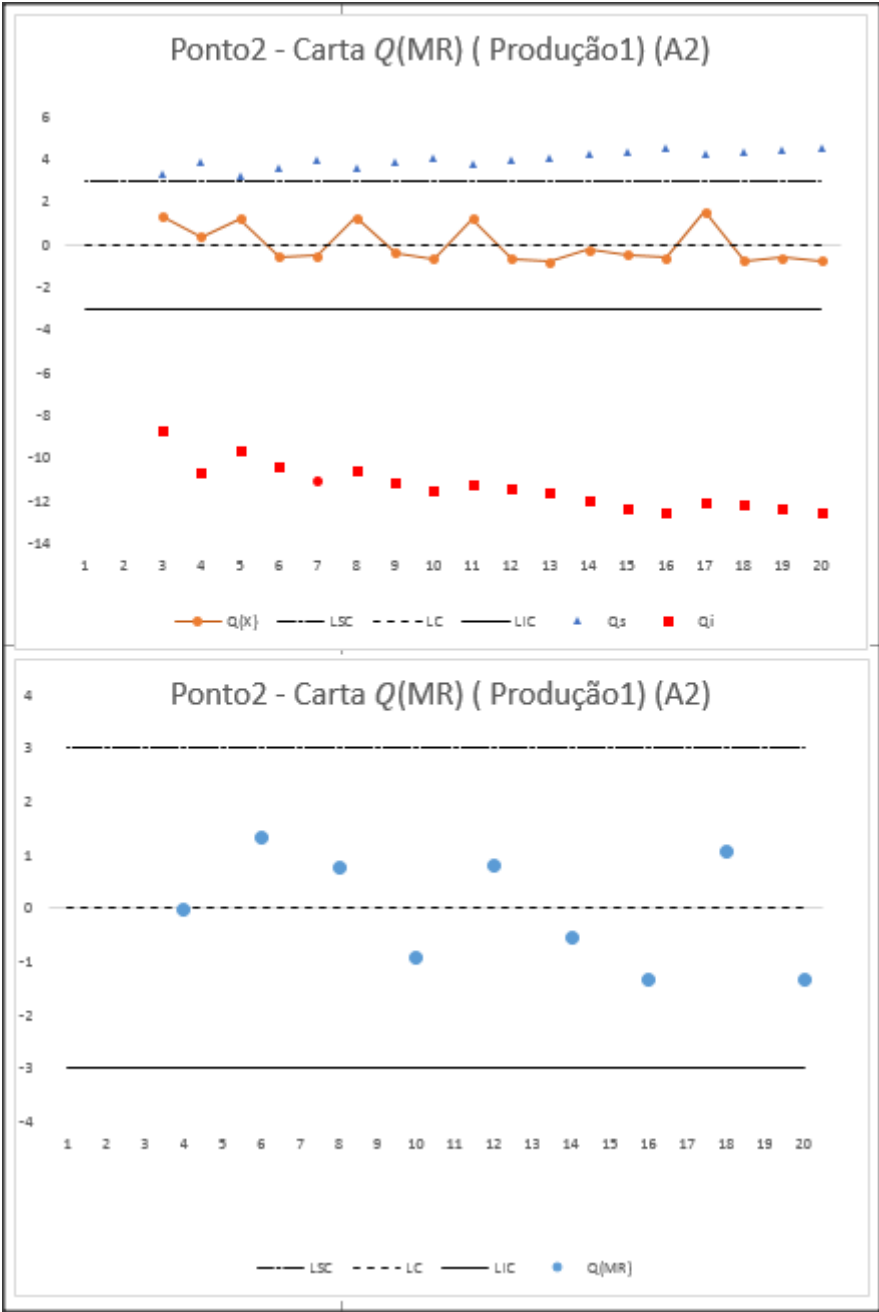


Figura C.2 -Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto2 (Produção1)

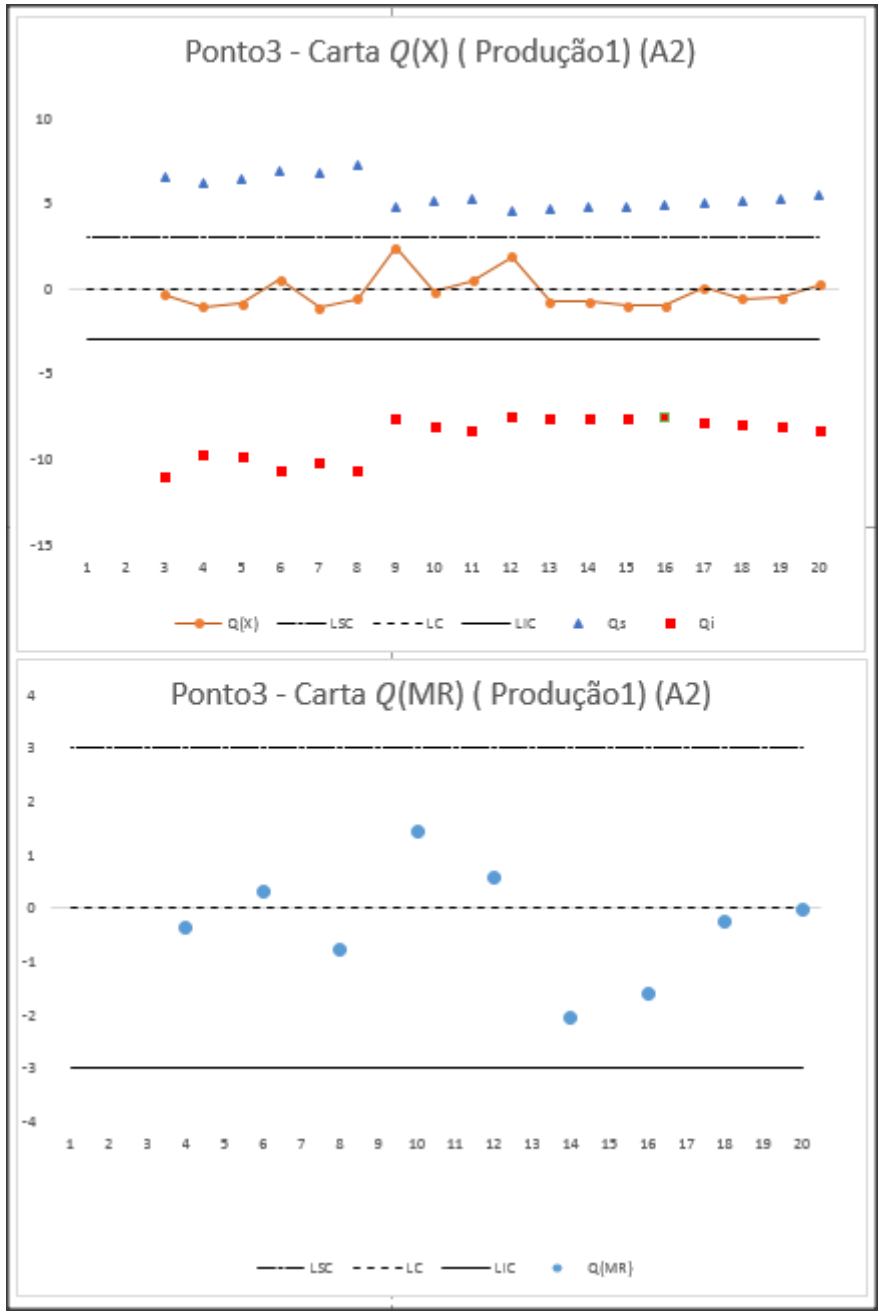


Figura C.3 - Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto3 (Produção1)

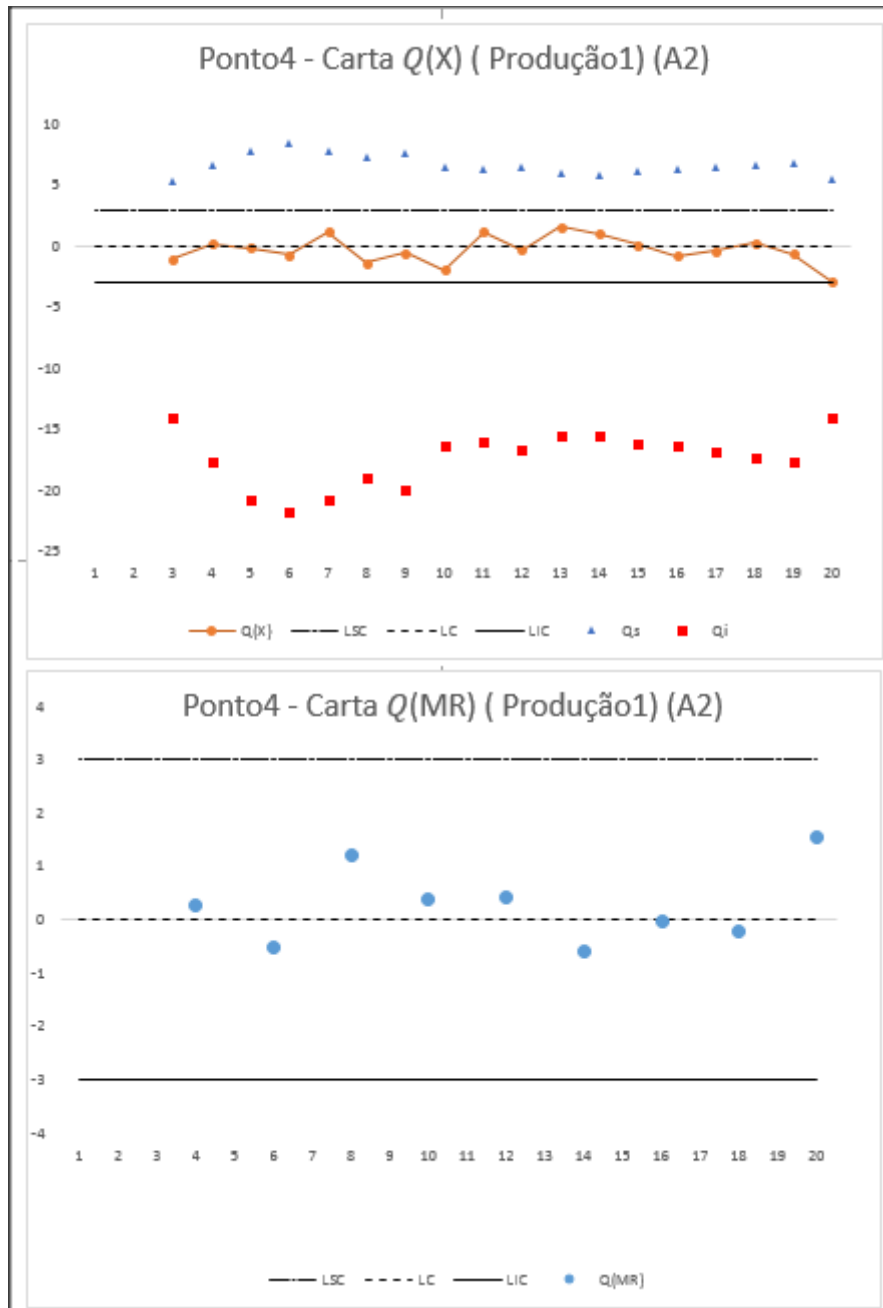


Figura C.4 - Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto4 (Produção1)

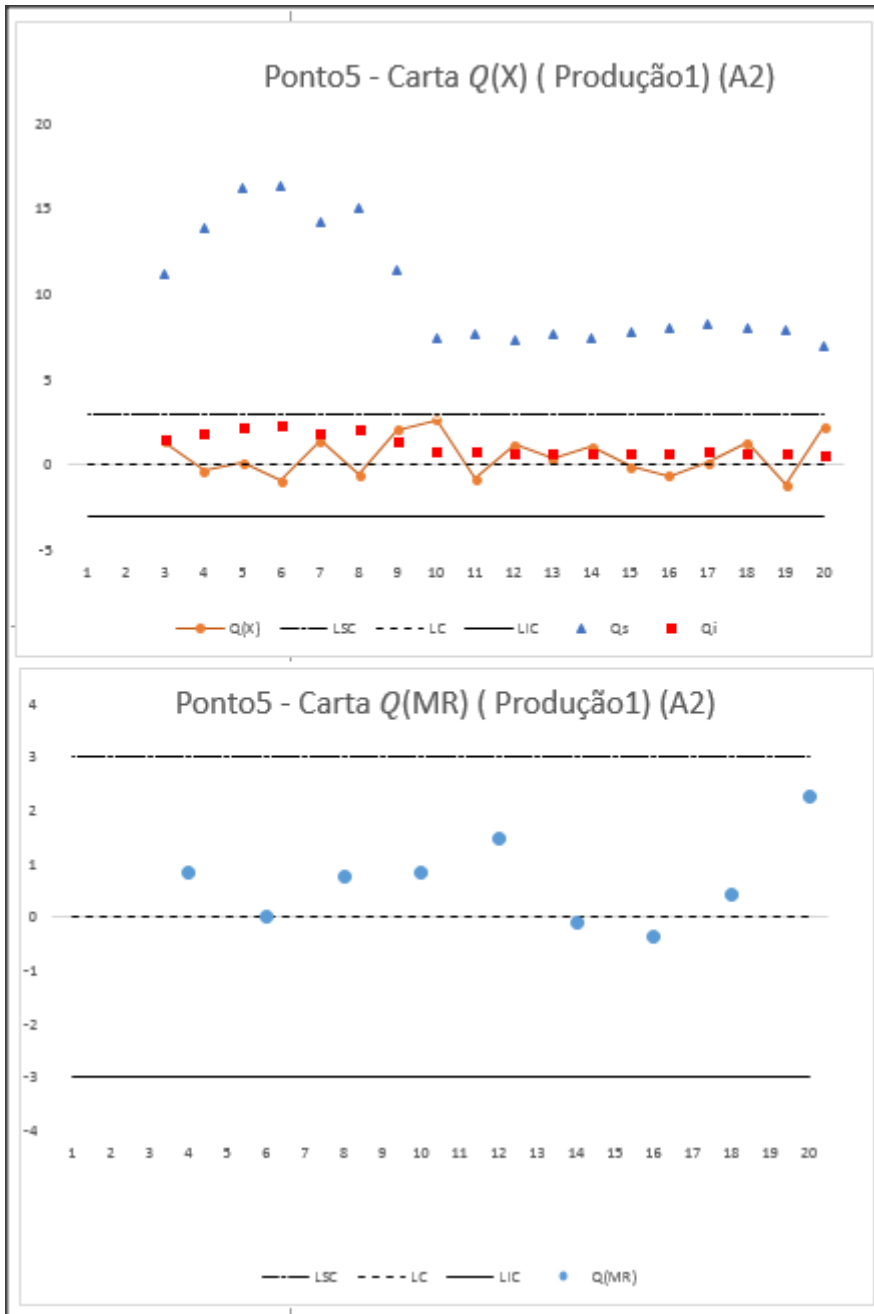


Figura C.5 - Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto5 (Produção1)

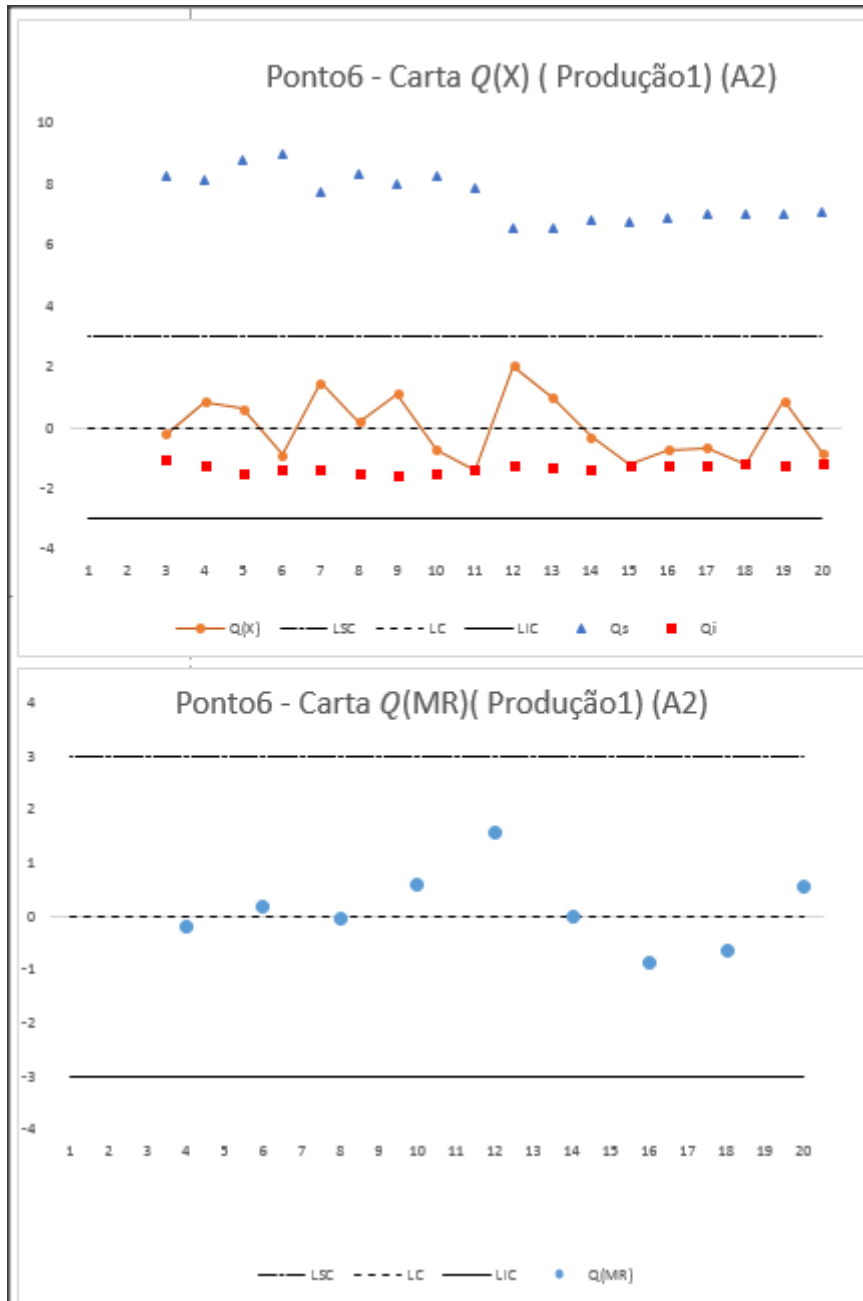


Figura C.6 - Carta $Q(X)$ e $Q(MR)$, Ponto6 (Produção1)

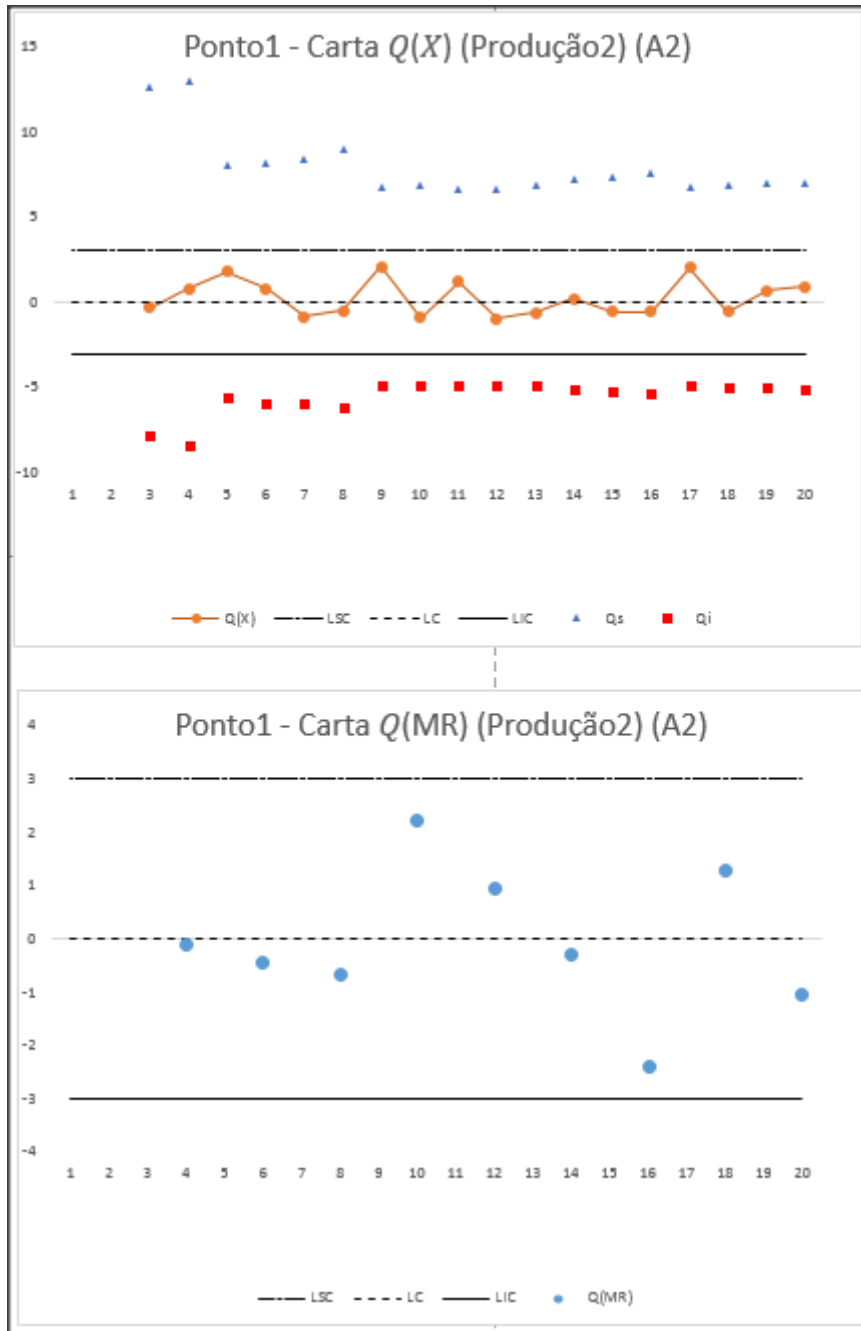


Figura C.7 - Carta $Q(X)$ e $Q(MR)$, Ponto1 (Produção2)

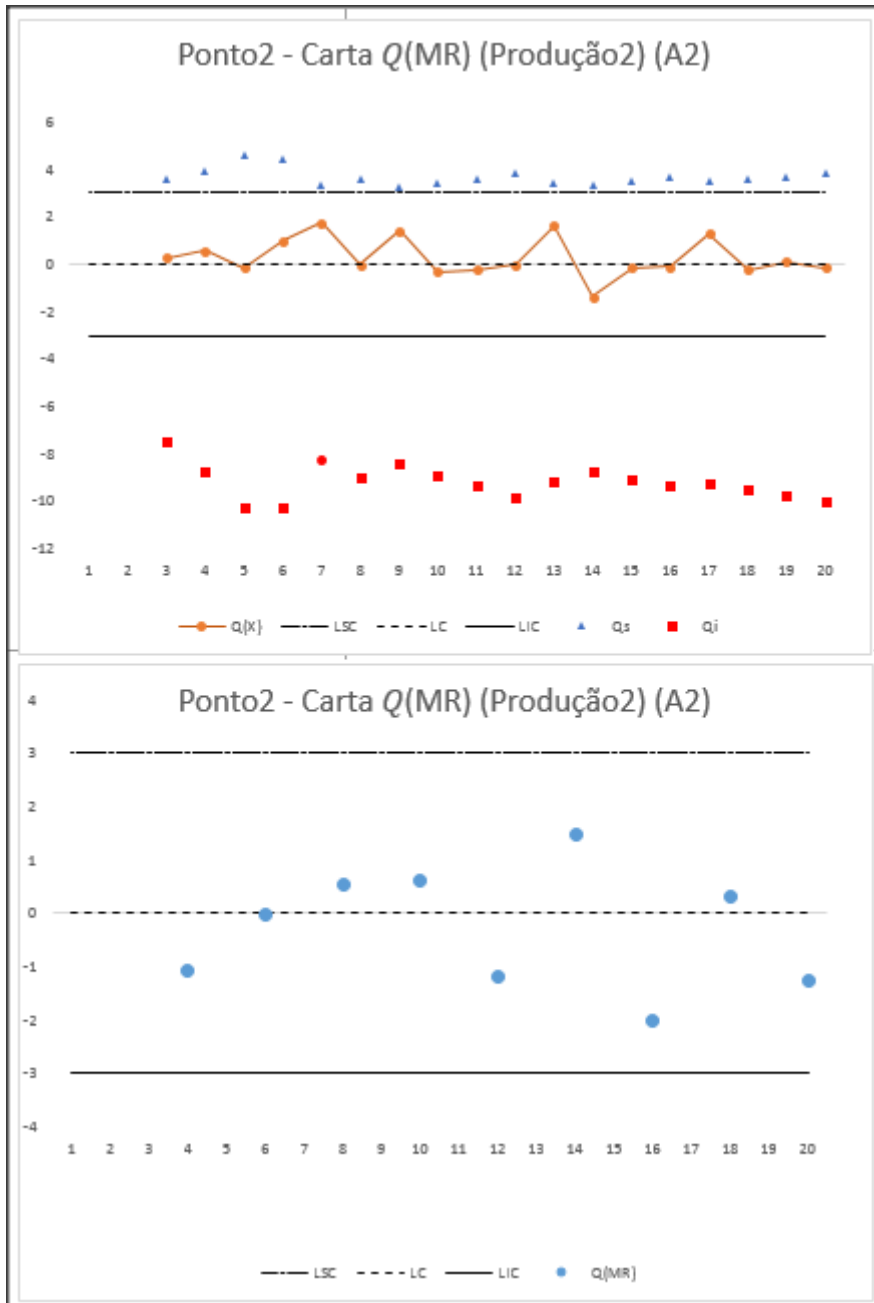


Figura C.8 - Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto2 (Produção2)

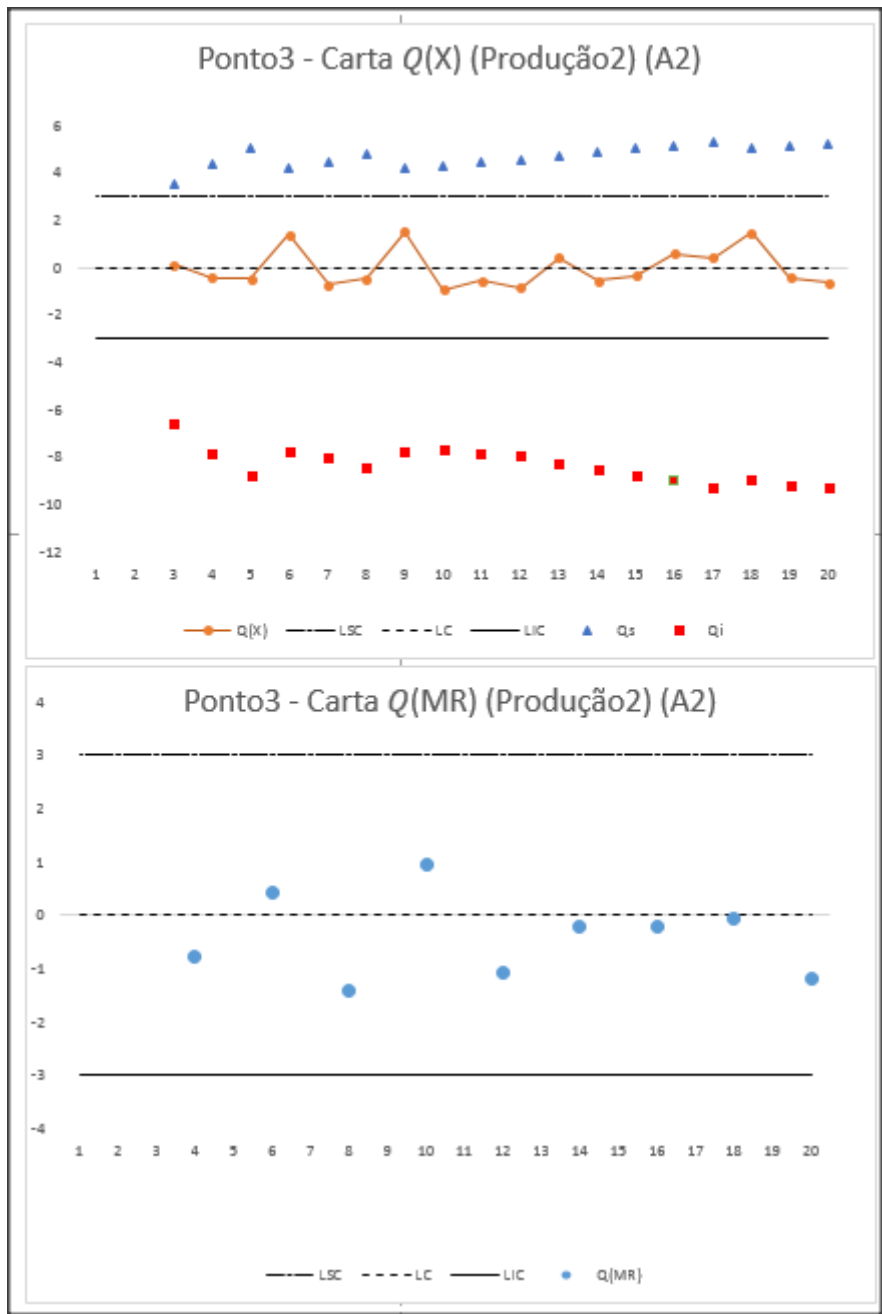


Figura C.9 - Carta $Q(X)$ e $Q(MR)$, Ponto3 (Produção2)

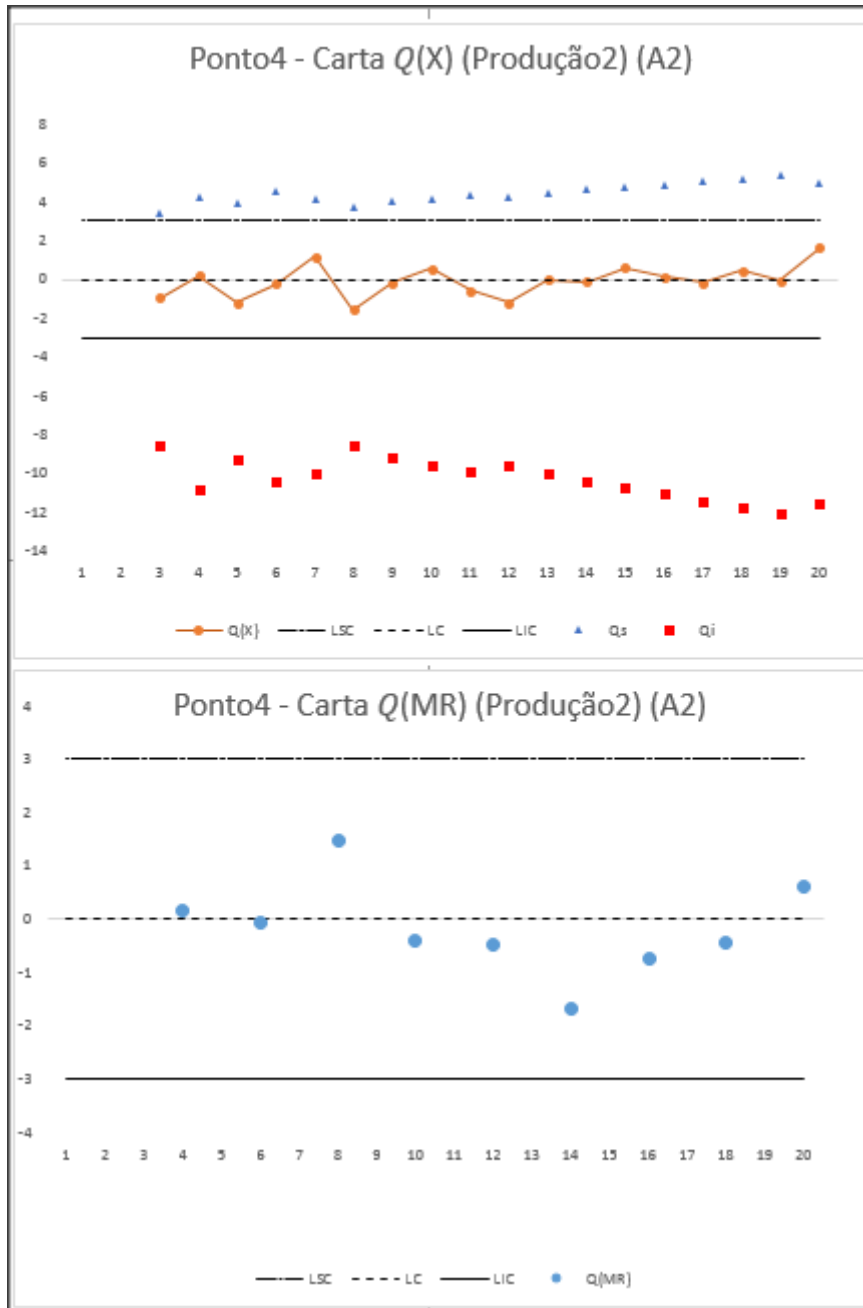


Figura C.10 - Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto4 (Produção2)

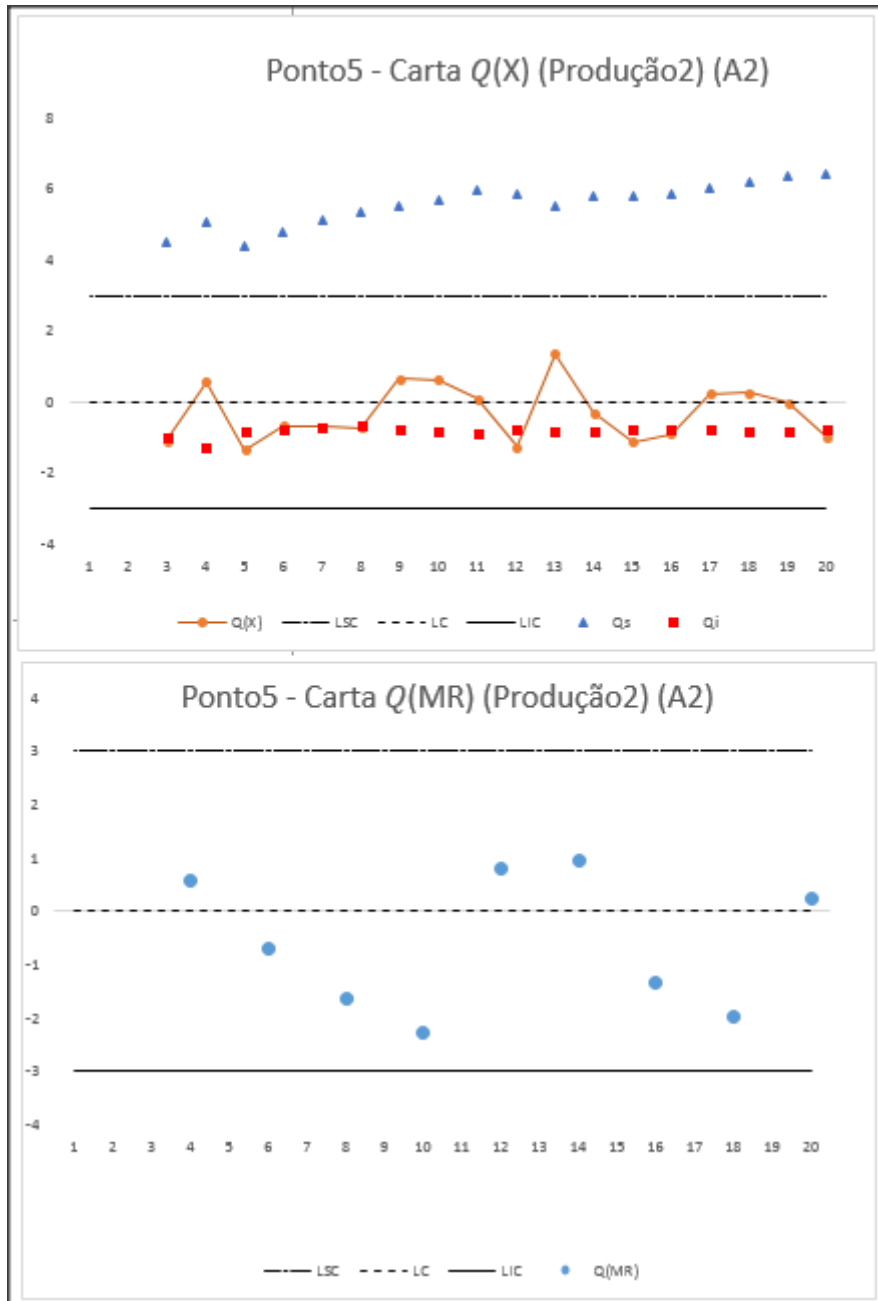


Figura C.11 - Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto5 (Produção2)

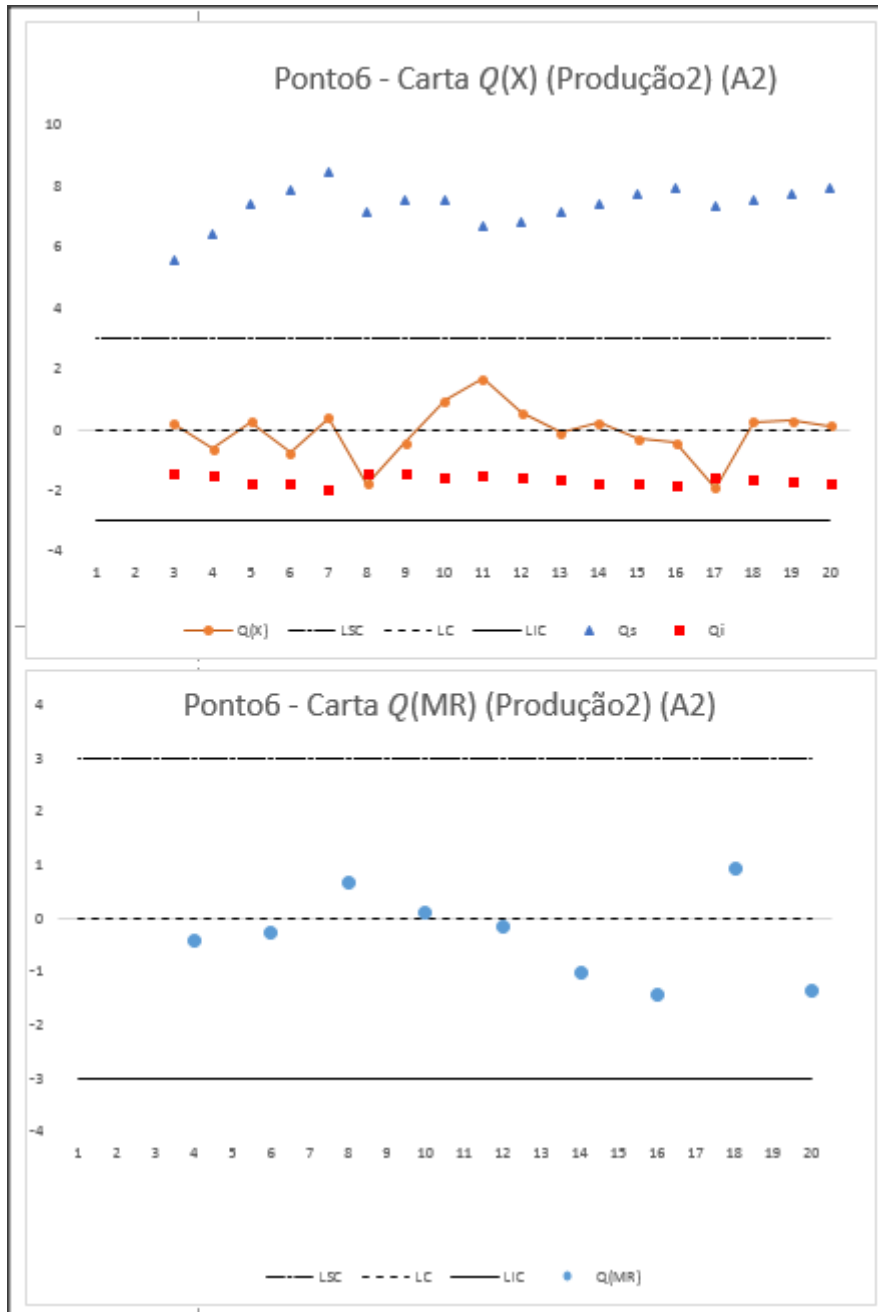


Figura C.12 - Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto6 (Produção2)

Cartas de Controlo Q(X) e Q(MR) – Componente A3 (Produção 1 e 2)

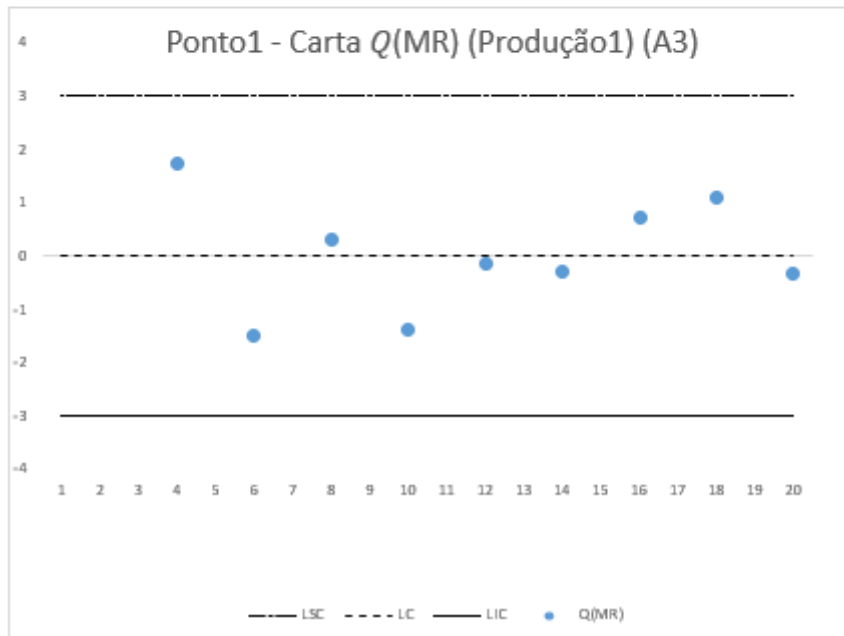
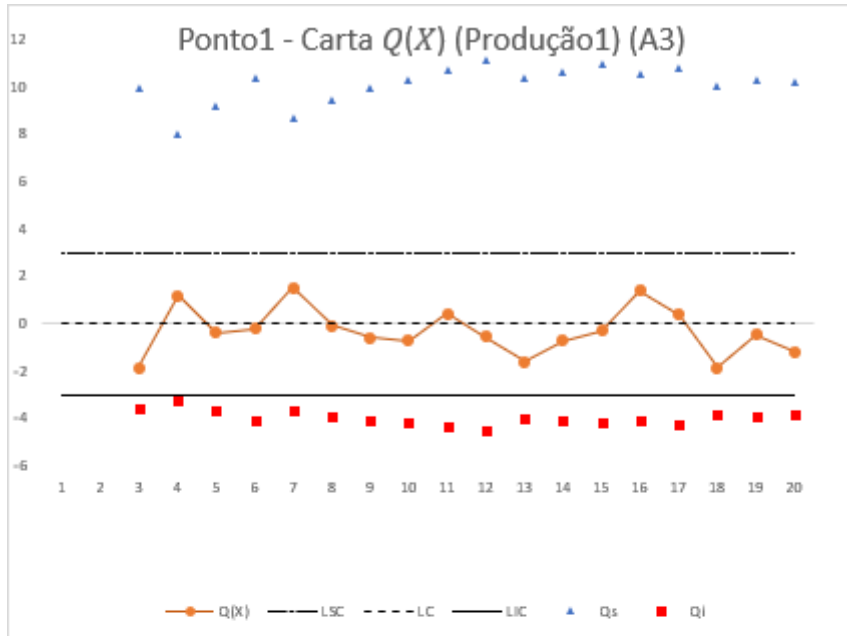


Figura D.1 - Carta $Q(X)$ e $Q(MR)$, Ponto1 (Produção1)

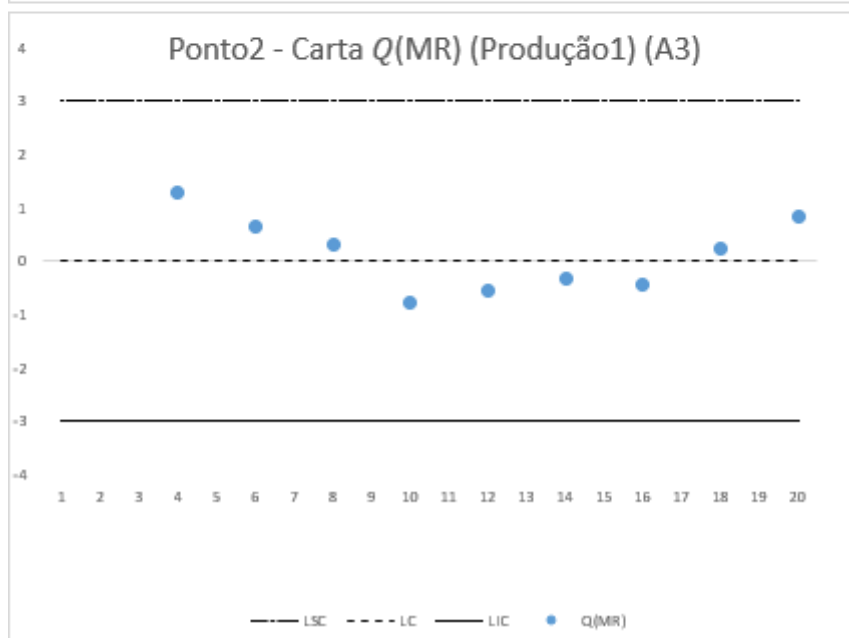
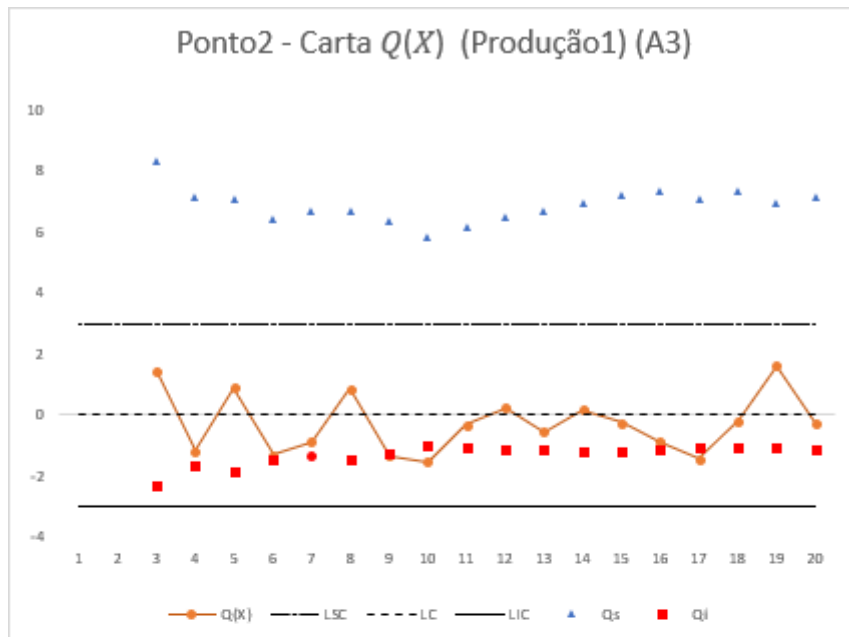


Figura D.2 - Carta $Q(X)$ e $Q(MR)$, Ponto2 (Produção1)

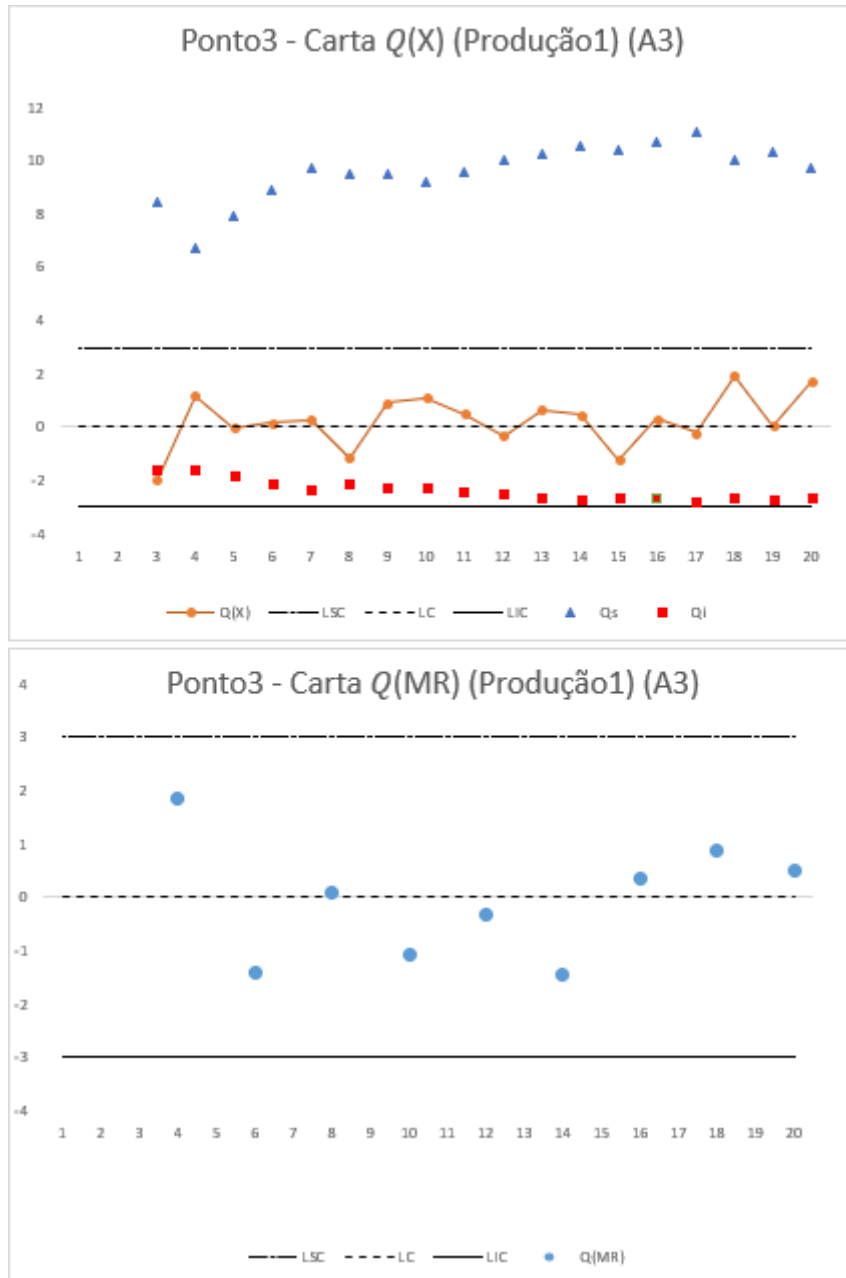


Figura D.3 - Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto3 (Produção1)

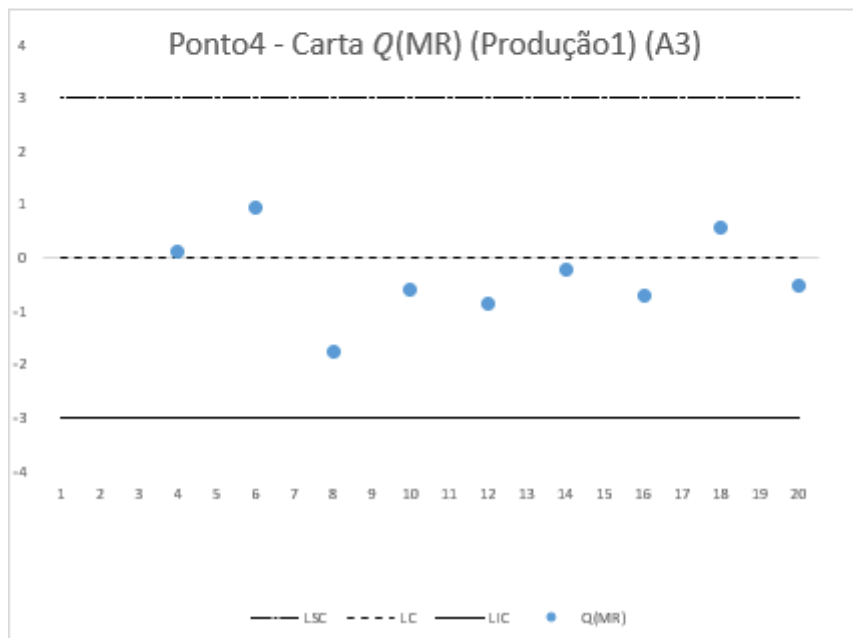
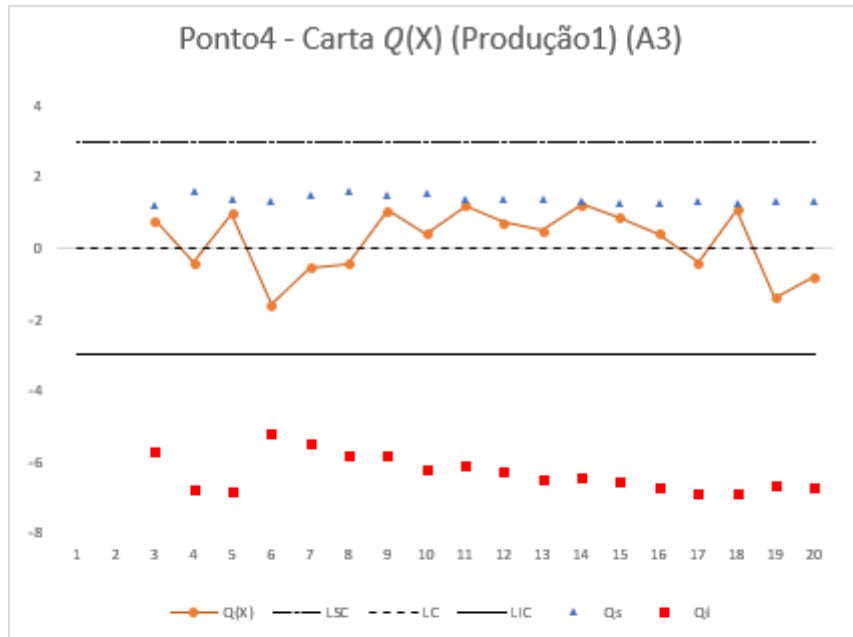


Figura D.4 - Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto4 (Produção1)

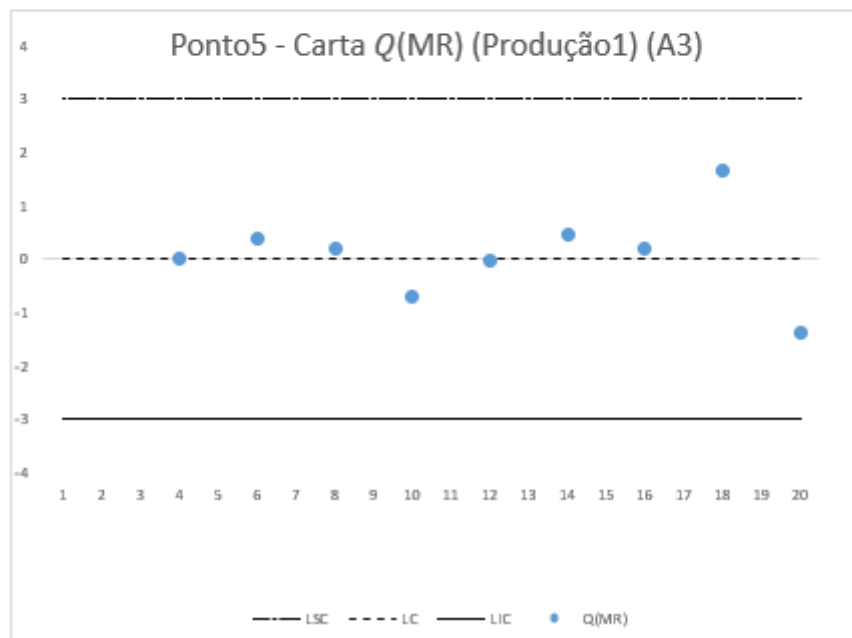
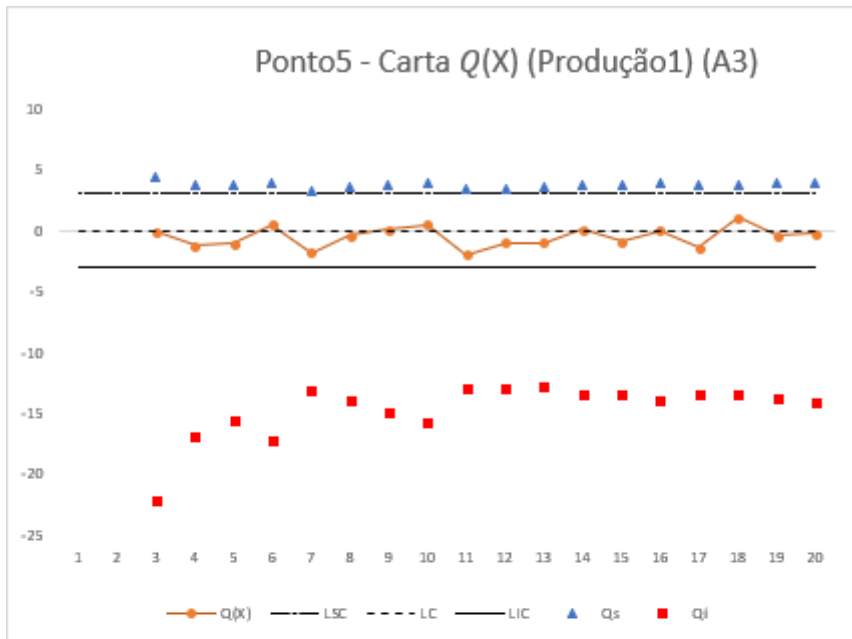


Figura D.5 - Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto5 (Produção1)

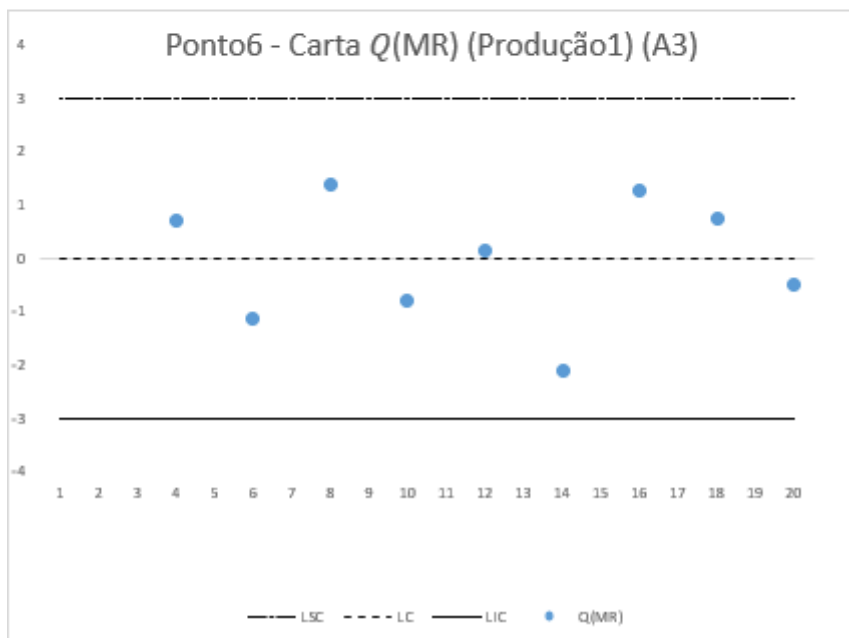
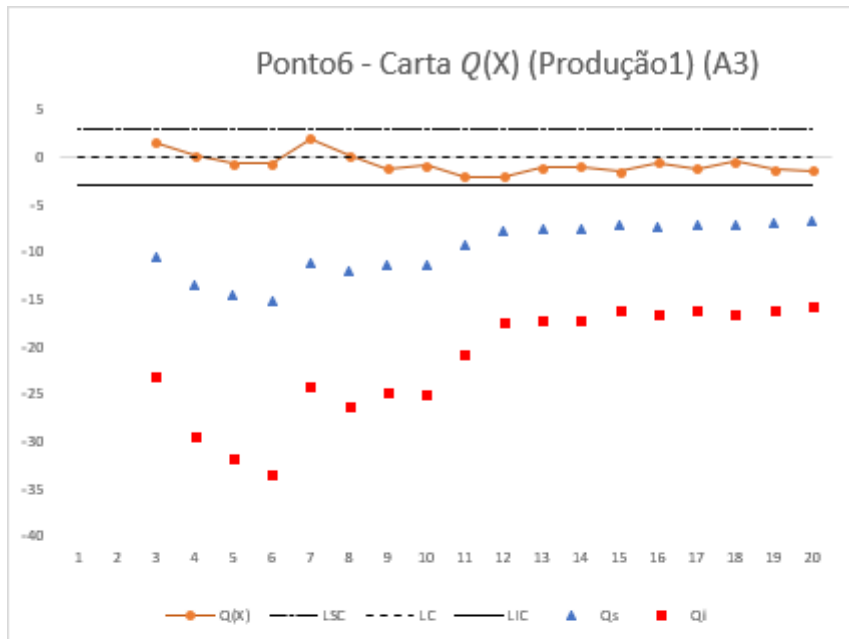


Figura D.6 - Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto6 (Produção1)

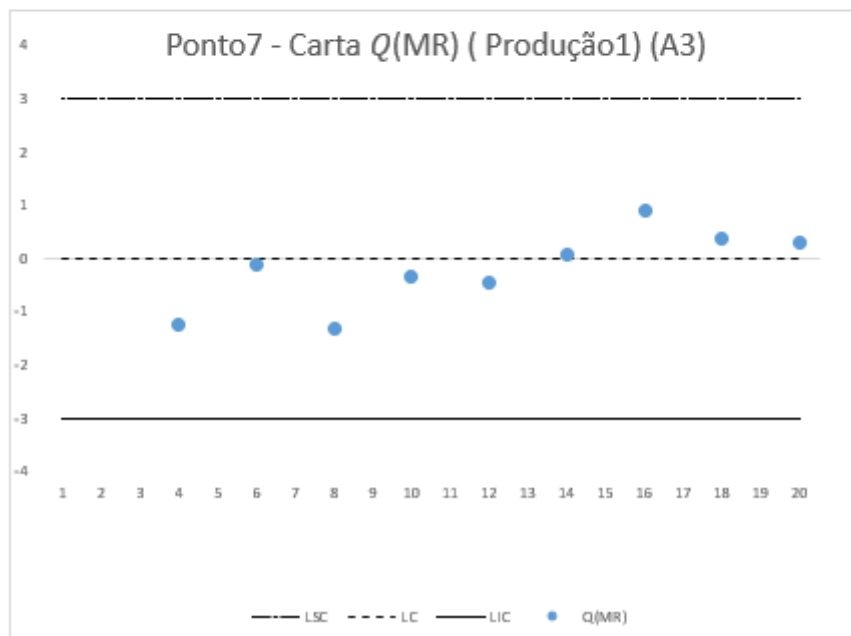
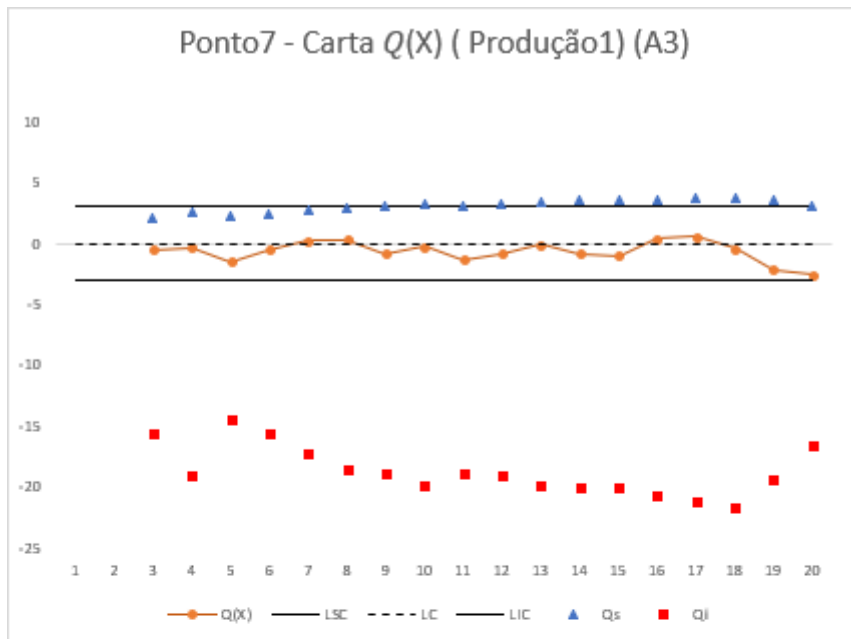


Figura D.7 - Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto7 (Produção1)

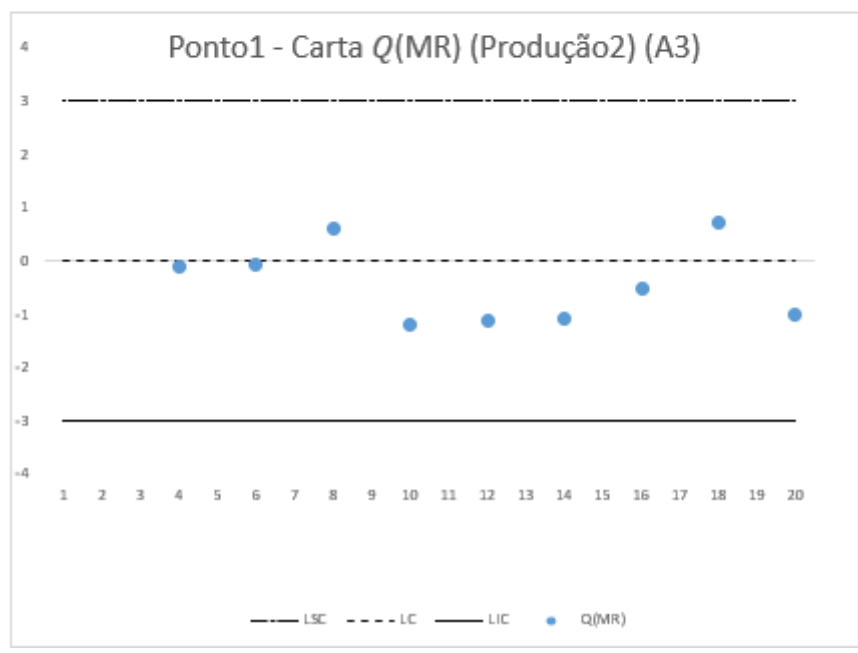
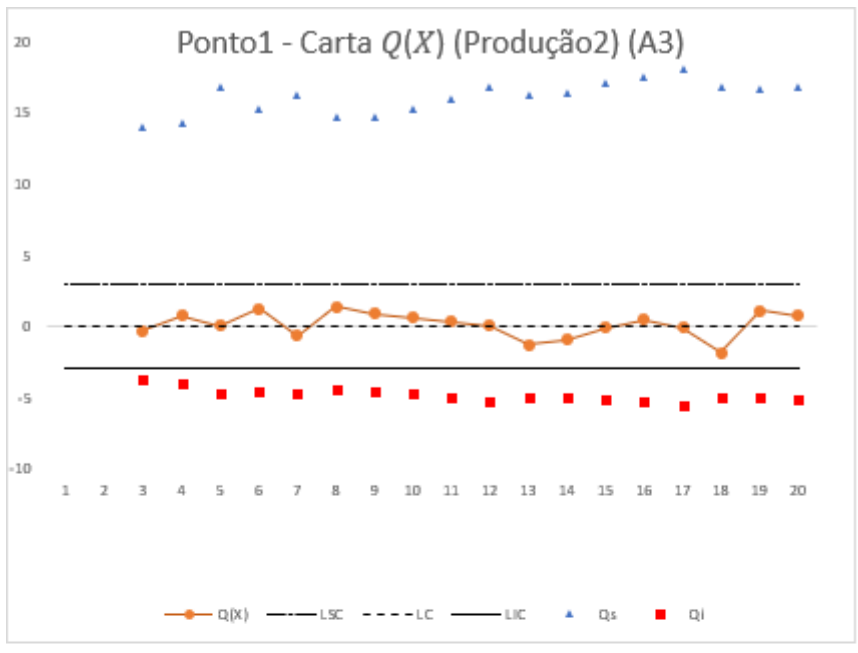


Figura D.8 - Carta $Q(X)$ e $Q(MR)$, Ponto1 (Produção2)

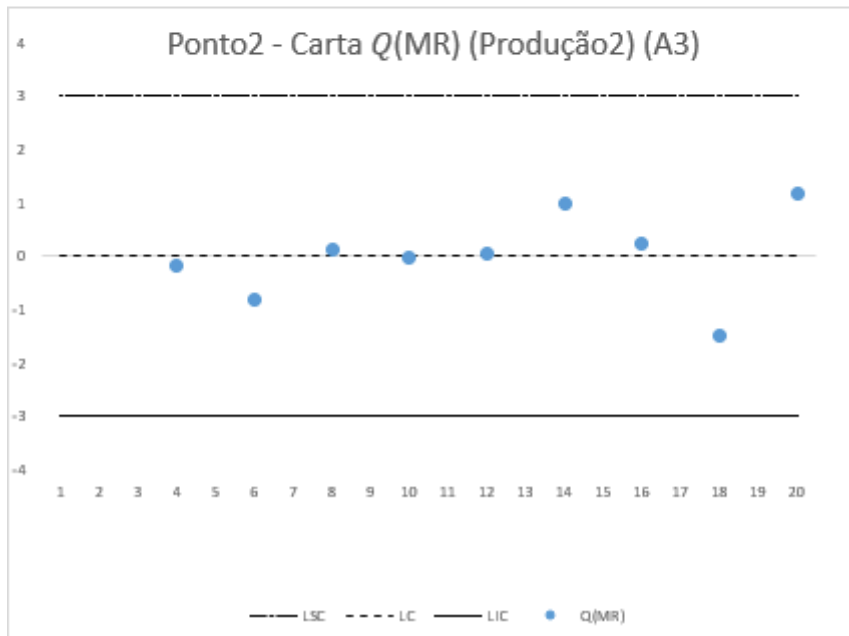
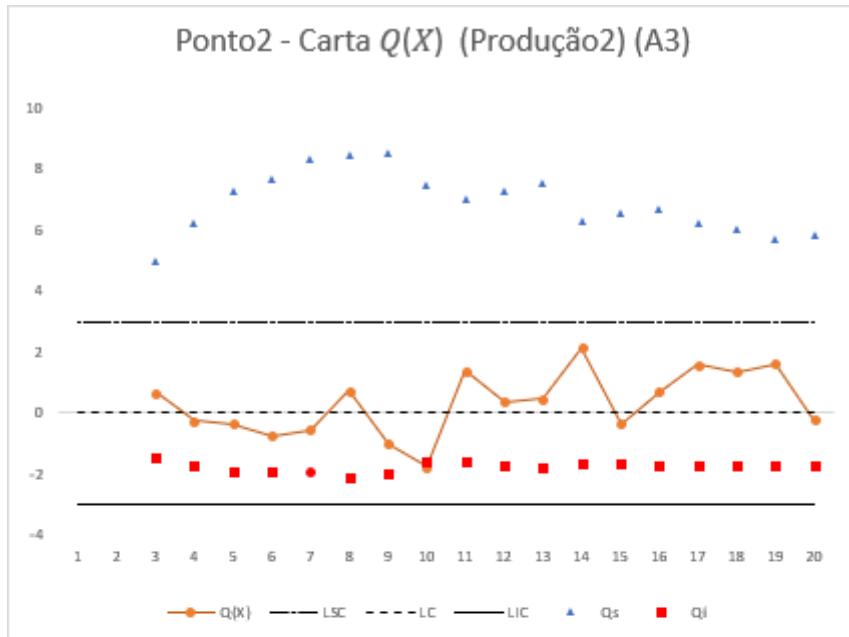


Figura D.9 - Carta $Q(X)$ e $Q(MR)$, Ponto2 (Produção2)

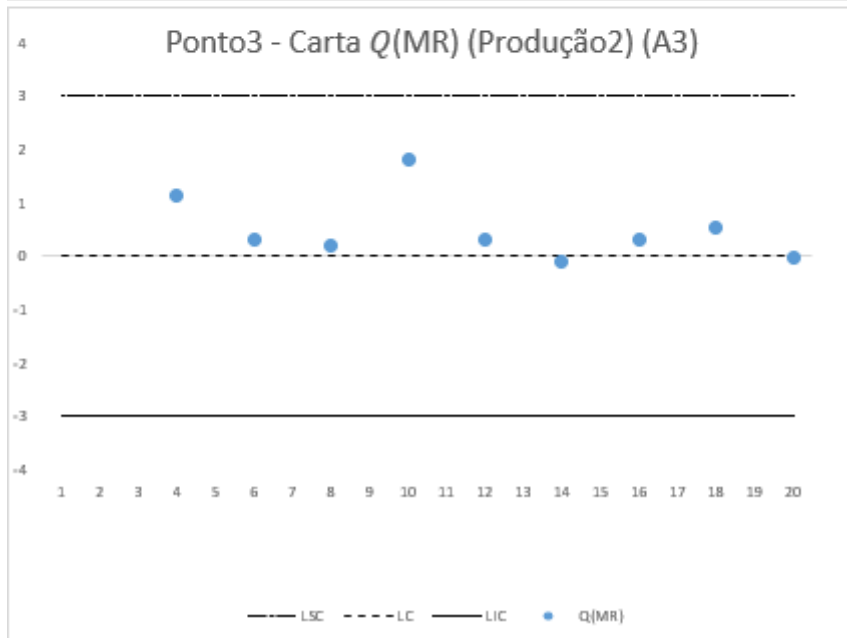
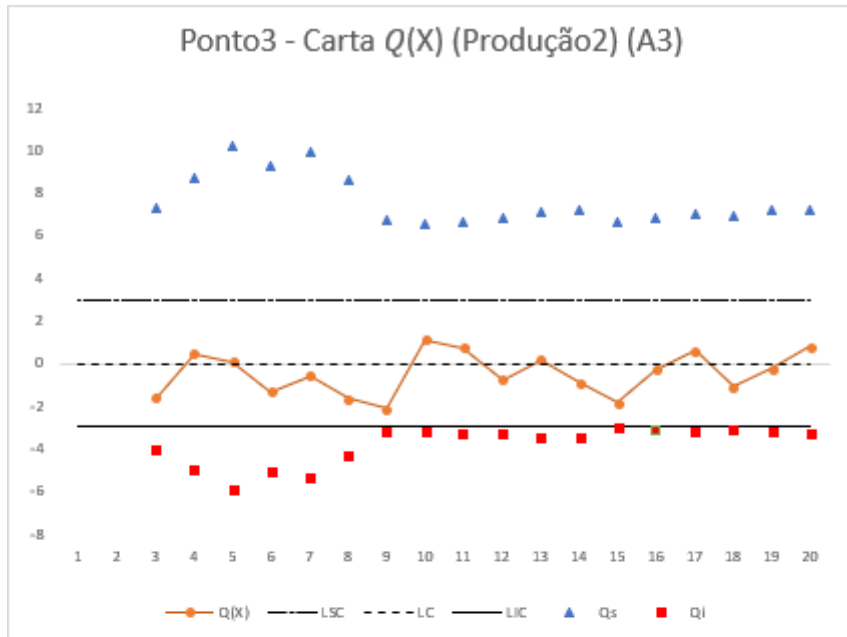


Figura D.10 - Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto3 (Produção2)

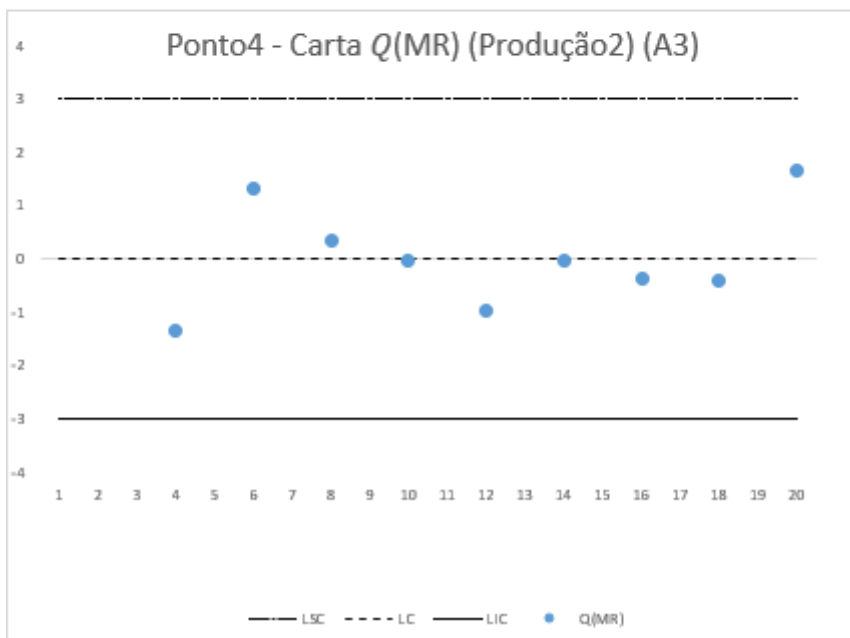
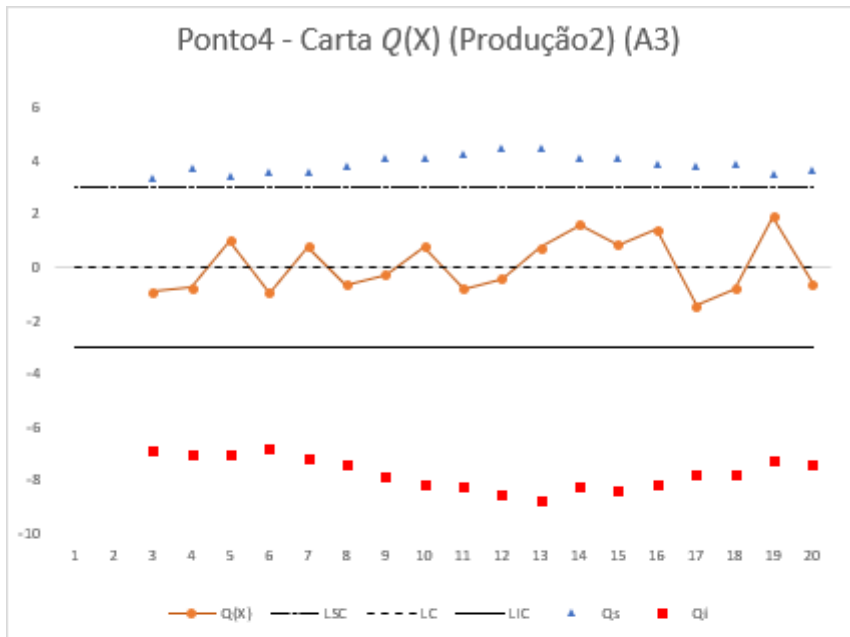


Figura D.11 - Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto4 (Produção2)

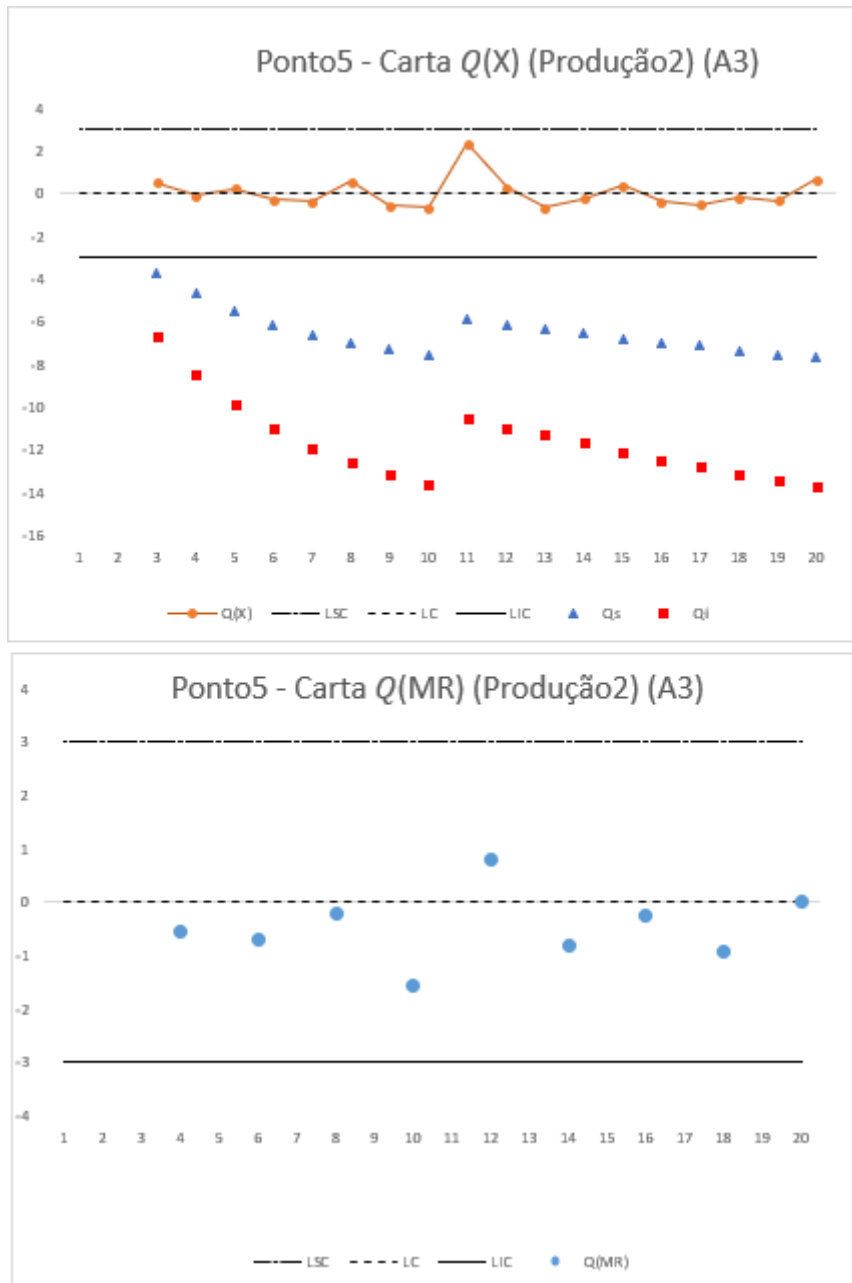


Figura D.12 - Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto5 (Produção2)

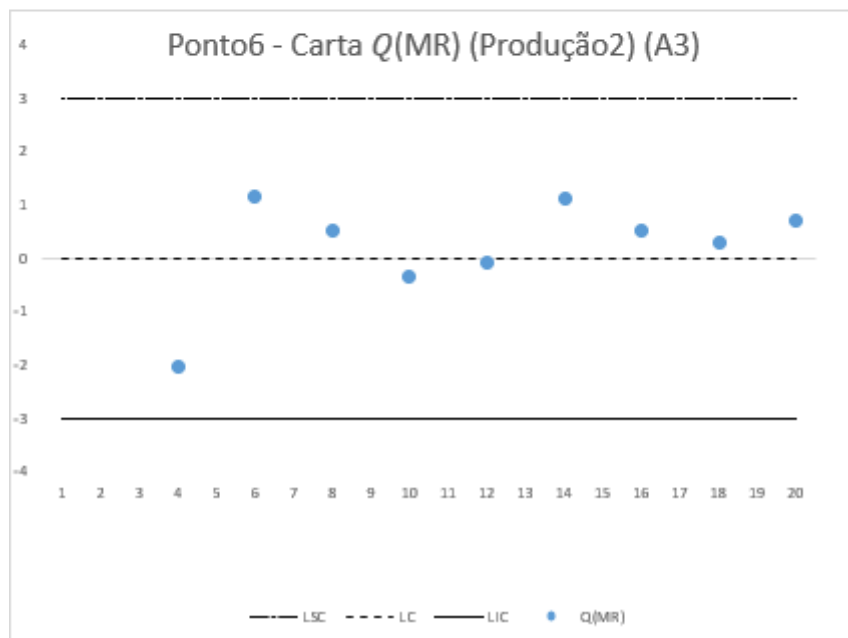
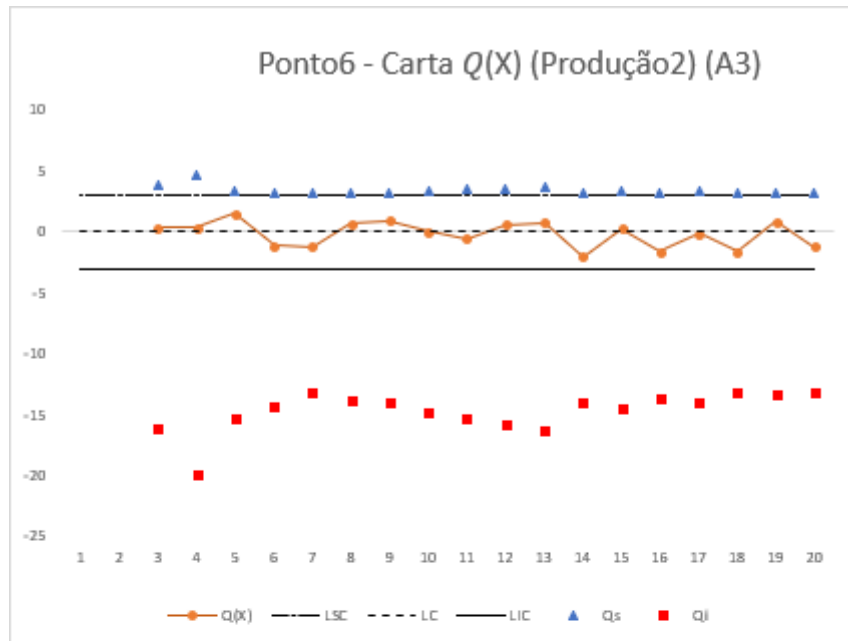


Figura D.13 - Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto6 (Produção2)

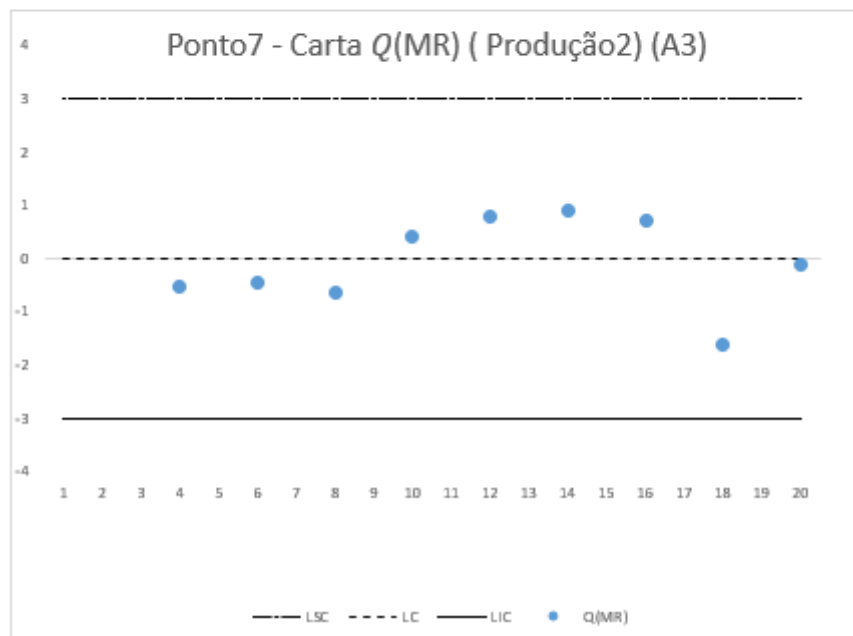
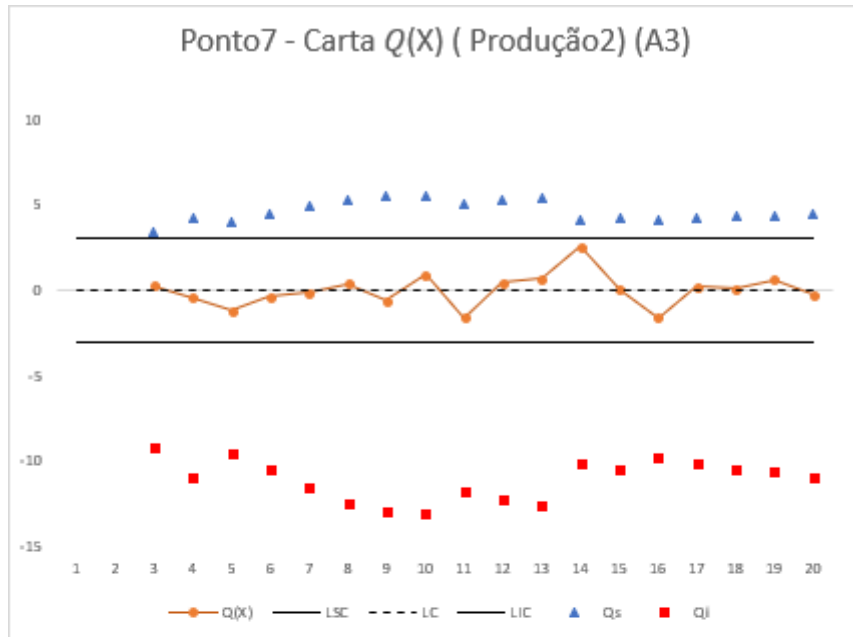


Figura D.14 - Carta Q(X) e Q(MR) , Ponto7 (Produção2)

Cartas de Controlo de Observações Individuais e Médias Móveis – Componente A

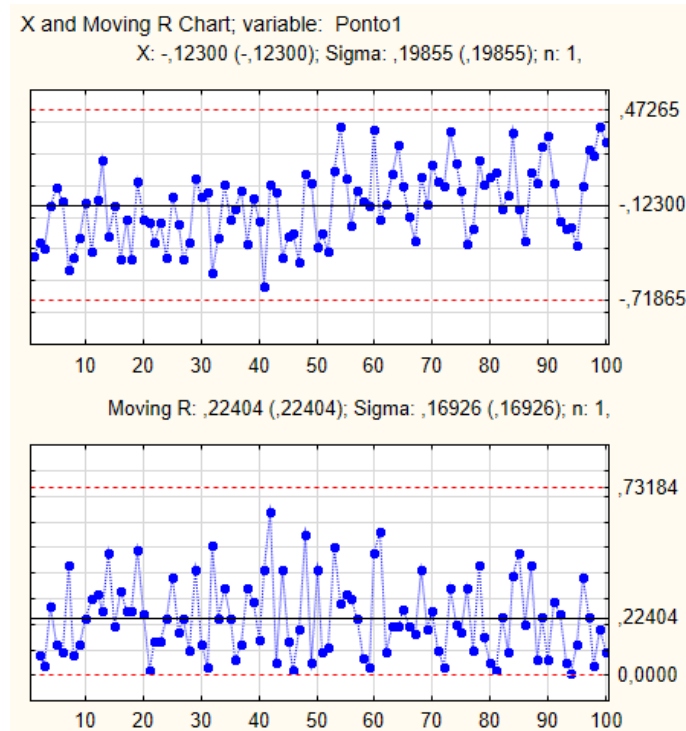


Figura E.1 - Cartas Observações Individuais e Médias Móveis – Ponto 1

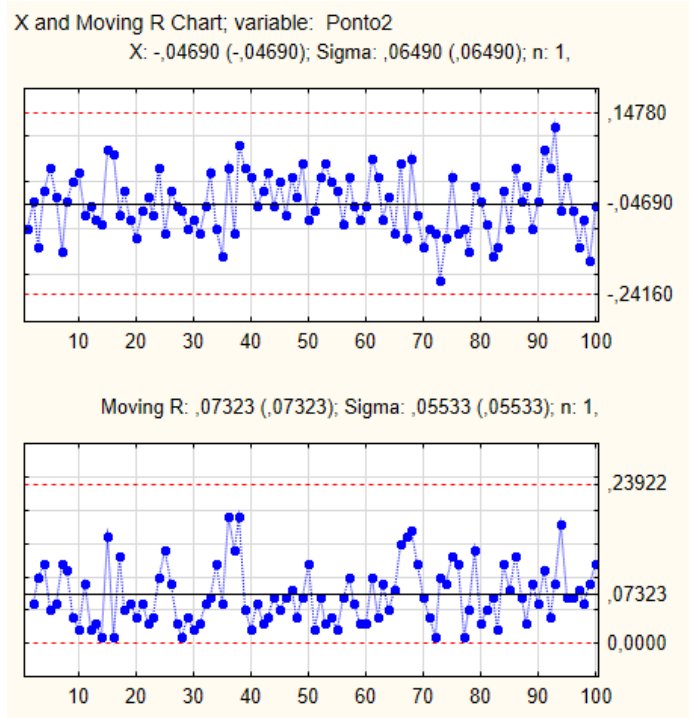


Figura E.2 - Cartas Observações Individuais e Médias Móveis – Ponto 2

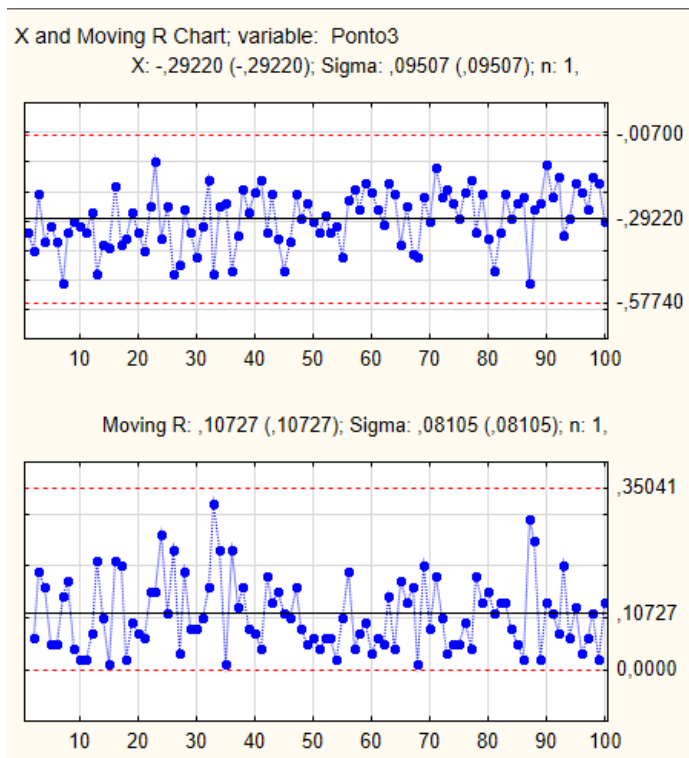


Figura E.3 - Cartas Observações Individuais e Médias Móveis – Ponto 3

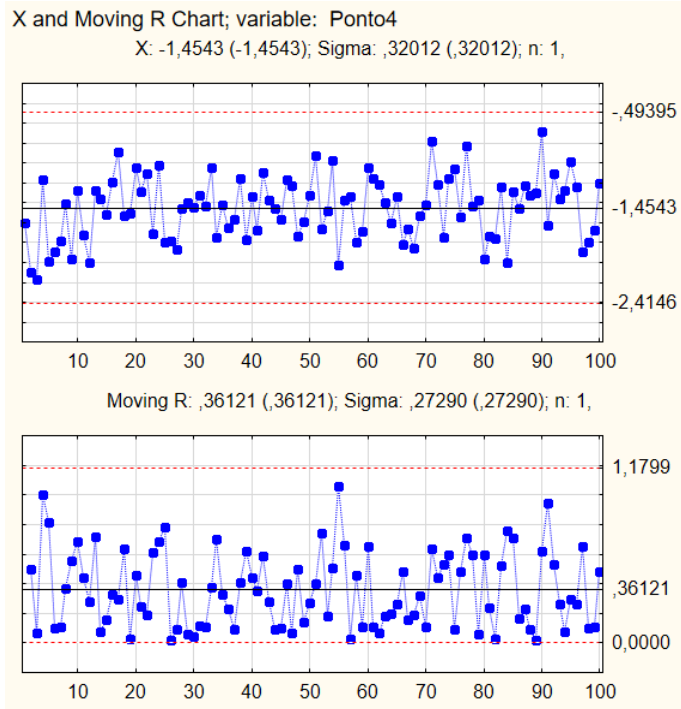


Figura E.4 - Cartas Observações Individuais e Médias Móveis – Ponto 4

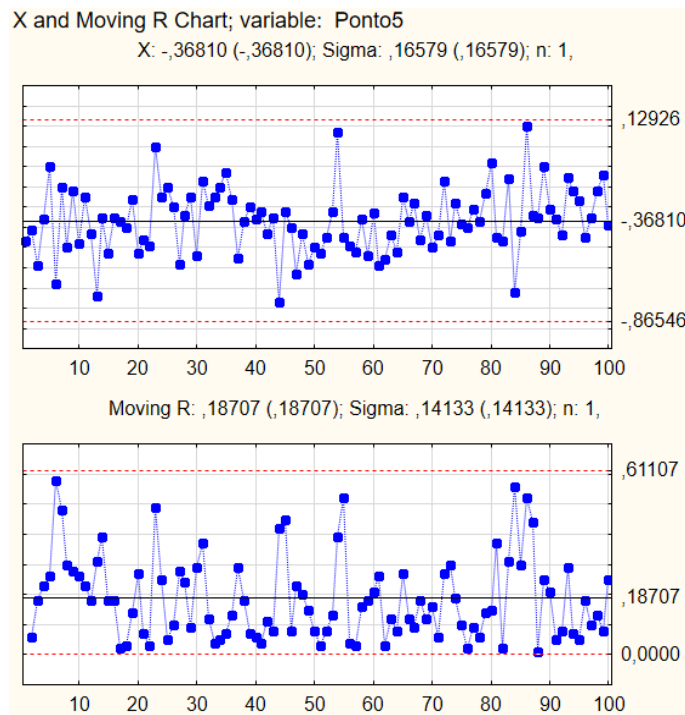


Figura E.5 - Cartas Observações Individuais e Médias Móveis – Ponto 5

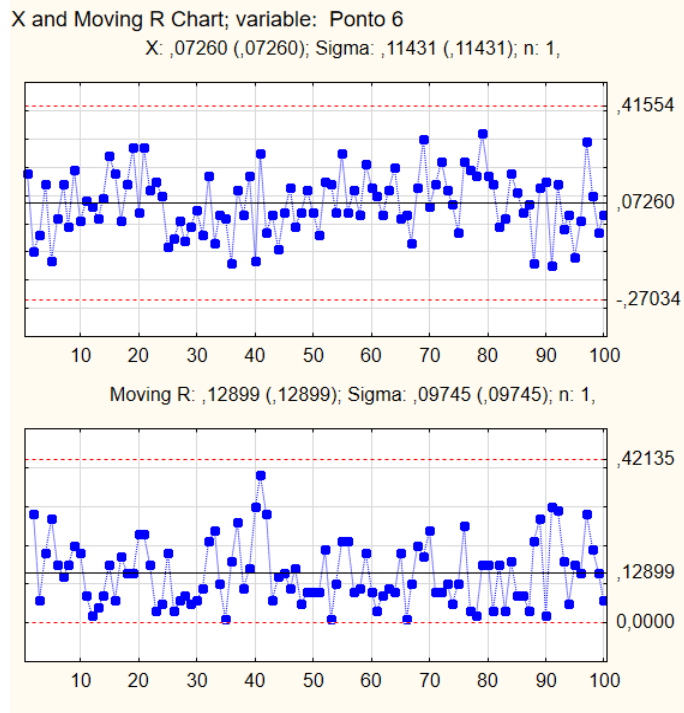


Figura E.6 - Cartas Observações Individuais e Médias Móveis – Ponto 6

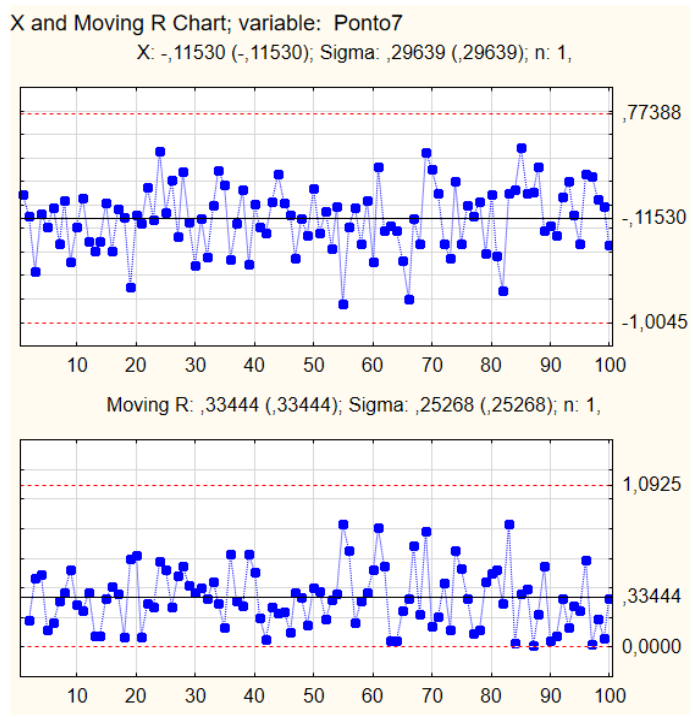


Figura E.7 - Cartas Observações Individuais e Médias Móveis – Ponto 7

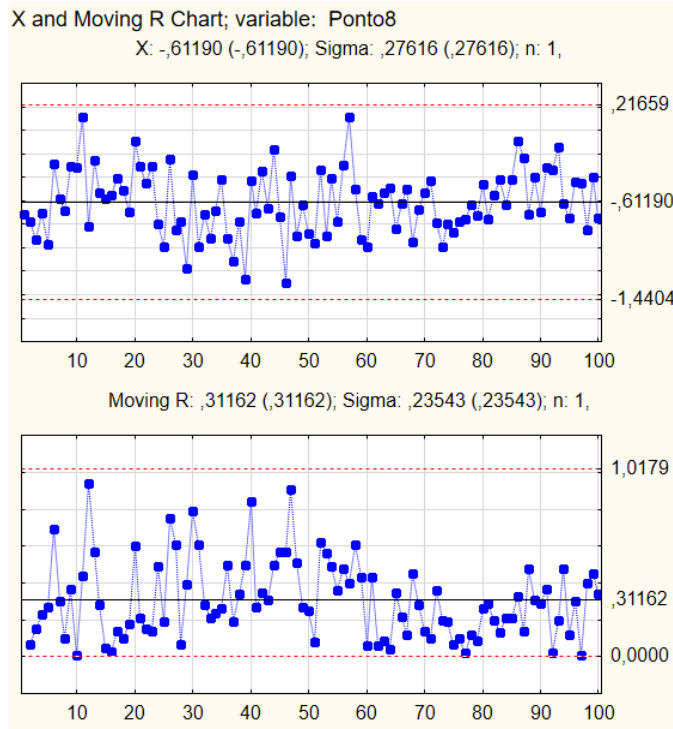


Figura E.8 - Cartas Observações Individuais e Médias Móveis – Ponto8

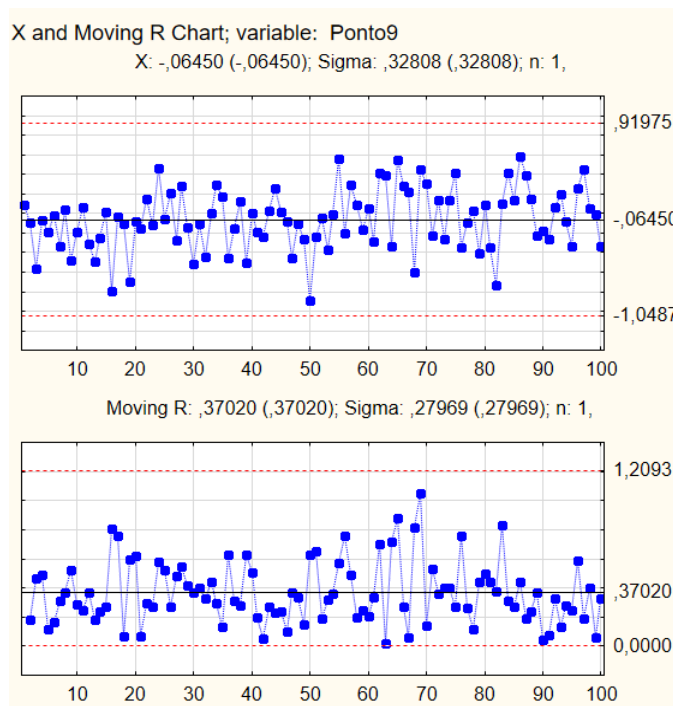


Figura E.9 - Cartas Observações Individuais e Médias Móveis – Ponto9

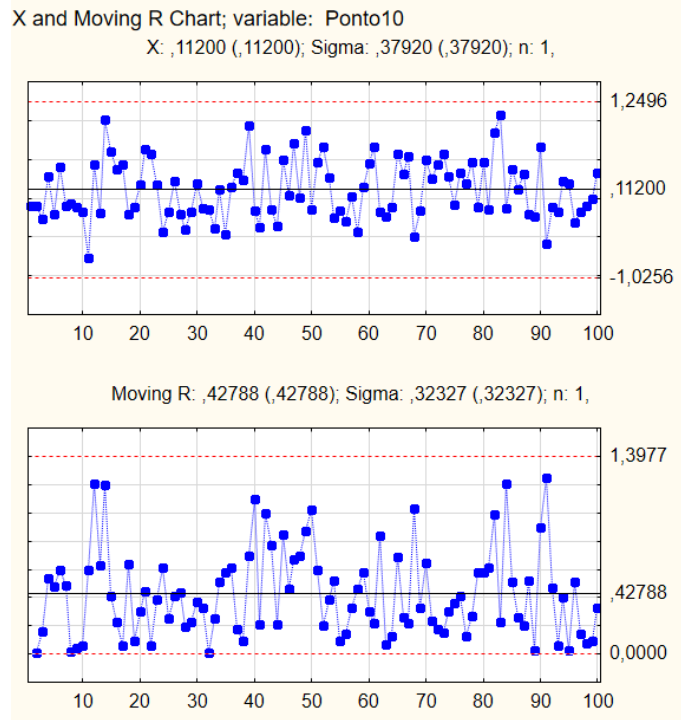


Figura E.10 -Cartas Observações Individuais e Médias Móveis – Ponto10

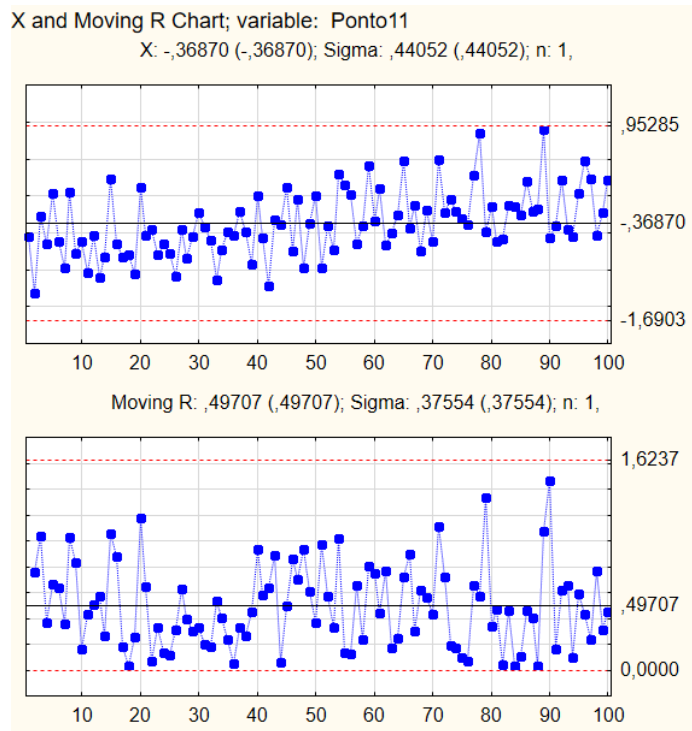


Figura E.11 -Cartas Observações Individuais e Médias Móveis – Ponto11

-

Análise Capacidade – Componente A

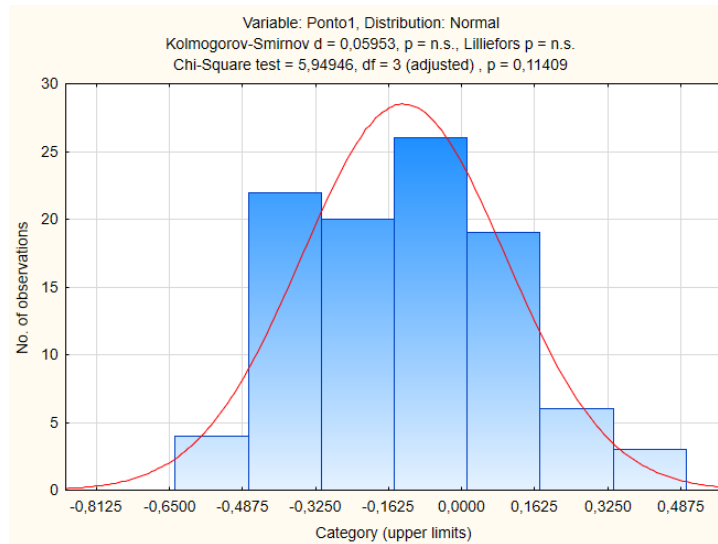


Figura F.1 - Histograma Ponto1, teste de Kolmogorov-Smirnov

		Variable: Ponto1 (Spreadsheet1)		
		-3,000 *Sigma=-,71982		
		+3,000 *Sigma=,461818		
Capability Index		Normal	Non-Nrml	Pearson
Within-sample sigma=R-bar/d2		Distrib.	Distrib.	Curves
Lower Specification Limit		-0,800000		
Nominal Specification		0,000000		
Upper Specification Limit		0,800000		
Lower Perc. Value: ,135		-0,719818	-0,583817	-0,577452
Median (50%) Value: 50,000		-0,129000	-0,134568	-0,134351
Upper Perc. Value: 99,865		0,461818	0,381446	0,380267
CP (potential capability)		1,354055	1,657580	1,670636
CR (capability ratio)		0,738522	0,603289	0,598574
CPK (demonstrated excellence)		1,135714	1,481211	1,502250
CPL (CP, lower)		1,135714	1,481211	1,502250
CPU (CP, upper)		1,572396	1,811128	1,815621
K (non-centering correction)		0,161250	0,168210	0,167939

Figura F.2 – Resumo Índices de Capacidade (Ponto1)

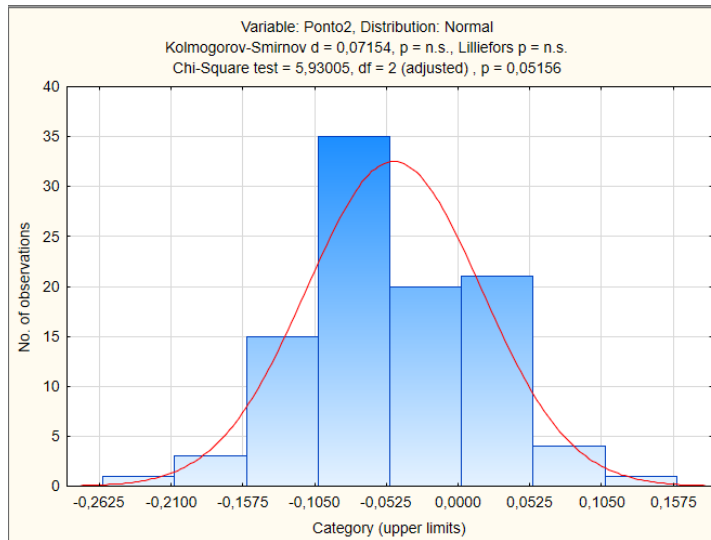


Figura F.3 - Histograma Ponto2, teste de Kolmogorov-Smirnov

		Variable: Ponto2 (Spreadsheet4)		
		-3,000 *Sigma=-,24160		
		+3,000 *Sigma=,147801		
Capability Index		Normal	Non-Nrml	Pearson
Within-sample sigma=R-bar/d2		Distrib.	Distrib.	Curves
Lower Specification Limit	-0,800000			
Nominal Specification	0,000000			
Upper Specification Limit	0,800000			
Lower Perc. Value: ,135	-0,241601	-0,213668	-0,212709	
Median (50%) Value: 50,000	-0,046900	-0,047716	-0,047682	
Upper Perc. Value: 99,865	0,147801	0,129652	0,129303	
CP (potential capability)	4,108857	4,660381	4,678202	
CR (capability ratio)	0,243377	0,214575	0,213757	
CPK (demonstrated excellence)	3,867975	4,533152	4,558772	
CPL (CP, lower)	3,867975	4,533152	4,558772	
CPU (CP, upper)	4,349738	4,779420	4,789562	
K (non-centering correction)	0,058625	0,059645	0,059603	

Figura F.4 - Resumo Índices de Capacidade (Ponto2)

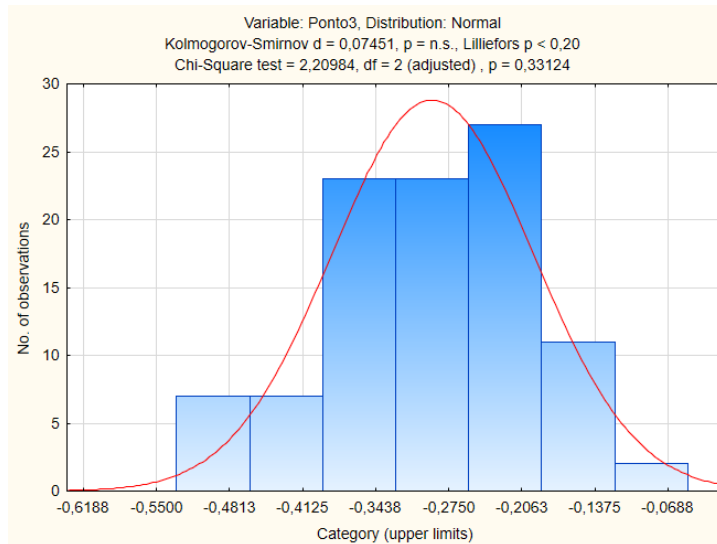


Figura F.5 - Histograma Ponto3, teste de Kolmogorov-Smirnov

		Variable: Ponto3 (Spreadsheet1)		
		-3,000 *Sigma=-,56466		
		+3,000 *Sigma=-,01574		
Capability Index		Normal	Non-Nrml	Pearson
Within-sample sigma=R-bar/d2		Distrib.	Distrib.	Curves
Lower Specification Limit		-0,800000		
Nominal Specification		0,000000		
Upper Specification Limit		0,800000		
Lower Perc. Value: ,135		-0,564662	-0,546870	-0,547856
Median (50%) Value: 50,000		-0,290200	-0,283495	-0,283819
Upper Perc. Value: 99,865		-0,015738	-0,099355	-0,104487
CP (potential capability)		2,914795	3,575298	3,608734
CR (capability ratio)		0,343077	0,279697	0,277106
CPK (demonstrated excellence)		1,857453	1,961103	1,954959
CPL (CP, lower)		1,857453	1,961103	1,954959
CPU (CP, upper)		3,972137	5,884065	6,043643
K (non-centering correction)		0,362750	0,354369	0,354774

Figura F.6 - Resumo Índices de Capacidade (Ponto3)

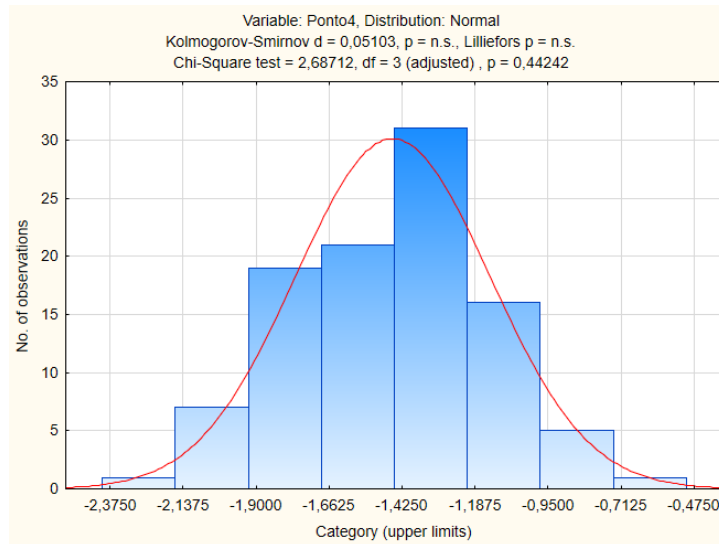


Figura F.7 - Histograma Ponto4, teste de Kolmogorov-Smirnov

Capability Index Within-sample sigma=R-bar/d2	Variable: Ponto4 (Spreadsheet1) -3,000 *Sigma=-2,4146 +3,000 *Sigma=-,49395		
	Normal Distrib.	Non-Nrml Distrib.	Pearson Curves
Lower Specification Limit	-2,20000		
Nominal Specification	0,00000		
Upper Specification Limit	0,80000		
Lower Perc. Value: ,135	-2,41465	-2,27494	-2,27039
Median (50%) Value: 50,000	-1,45430	-1,45317	-1,45320
Upper Perc. Value: 99,865	-0,49395	-0,64608	-0,65157
CP (potential capability)	1,56193	1,84177	1,85321
CR (capability ratio)	0,64023	0,54296	0,53961
CPK (demonstrated excellence)	0,77649	0,90880	0,91387
CPL (CP, lower)	0,77649	0,90880	0,91387
CPU (CP, upper)	2,34738	2,79172	2,81078
K (non-centering correction)	0,50287	0,50211	0,50213

Figura F.8 Resumo Índices de Capacidade (Ponto4)

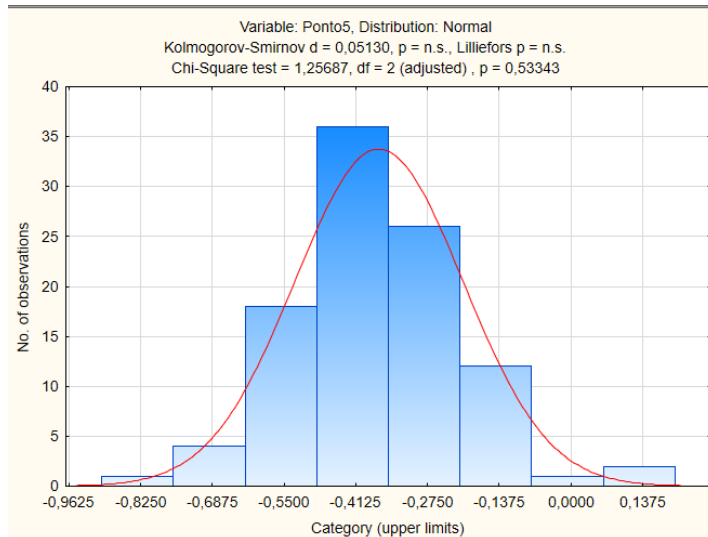


Figura F.9- Histograma Ponto5, teste de Kolmogorov-Smirnov

		Variable: Ponto5 (Spreadsheet1)		
		-3,000 *Sigma=-,86546		
		+3,000 *Sigma=,129261		
Capability Index		Normal	Non-Nrml	Pearson
Within-sample sigma=R-bar/d2		Distrib.	Distrib.	Curves
Lower Specification Limit		-0,800000		
Nominal Specification		0,000000		
Upper Specification Limit		0,800000		
Lower Perc. Value: ,135		-0,865461	-0,867056	-0,861991
Median (50%) Value: 50,000		-0,368100	-0,373387	-0,373125
Upper Perc. Value: 99,865		0,129261	0,219977	0,219600
CP (potential capability)		1,608489	1,471896	1,479303
CR (capability ratio)		0,621702	0,679396	0,675994
CPK (demonstrated excellence)		0,868383	0,864169	0,873195
CPL (CP, lower)		0,868383	0,864169	0,873195
CPU (CP, upper)		2,348594	1,977516	1,979206
K (non-centering correction)		0,460125	0,466733	0,466407

Figura F.10 - Resumo Índices de Capacidade (Ponto5)

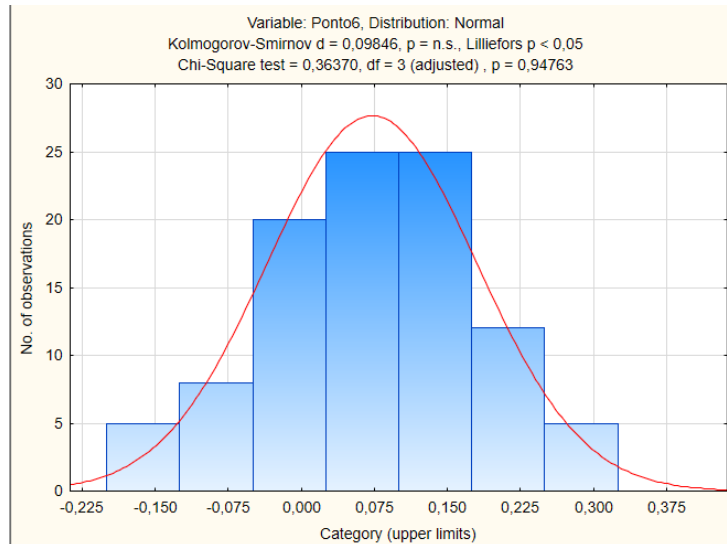


Figura F.11 - Histograma Ponto6, teste de Kolmogorov-Smirnov

Capability Index Within-sample sigma=R-bar/d2	Variable: Ponto6 (Spreadsheet1) -3,000 *Sigma=-,27034 +3,000 *Sigma=,415543		
	Normal Distrib.	Non-Nrml Distrib.	Pearson Curves
Lower Specification Limit	-0,800000		
Nominal Specification	0,000000		
Upper Specification Limit	0,800000		
Lower Perc. Value: ,135	-0,270343	-0,217823	-0,215766
Median (50%) Value: 50,000	0,072600	0,071579	0,071615
Upper Perc. Value: 99,865	0,415543	0,374689	0,373435
CP (potential capability)	2,332749	2,700367	2,715539
CR (capability ratio)	0,428679	0,370320	0,368251
CPK (demonstrated excellence)	2,121053	2,403160	2,413311
CPL (CP, lower)	2,544446	3,011651	3,032952
CPU (CP, upper)	2,121053	2,403160	2,413311
K (non-centering correction)	0,090750	0,089474	0,089519

Figura F.12 - Resumo Índices de Capacidade (Ponto6)

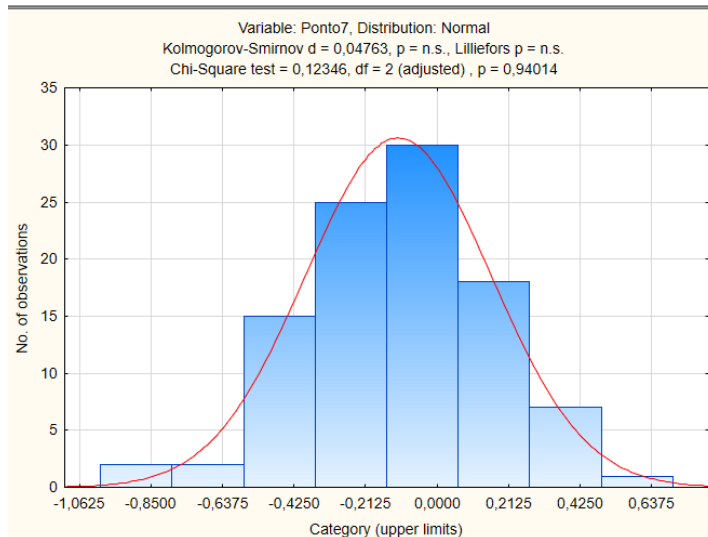


Figura F.13 - Histograma Ponto7, teste de Kolmogorov-Smirnov

Capability Index Within-sample sigma=R-bar/d2	Variable: Ponto7 (Spreadsheet1) -3,000 *Sigma=-1,0045 +3,000 *Sigma=,773881		
	Normal Distrib.	Non-Nrml Distrib.	Pearson Curves
Lower Specification Limit	-0,80000		
Nominal Specification	0,00000		
Upper Specification Limit	0,80000		
Lower Perc. Value: ,135	-1,00448	-1,04601	-1,04639
Median (50%) Value: 50,000	-0,11530	-0,10397	-0,10416
Upper Perc. Value: 99,865	0,77388	0,65285	0,64913
CP (potential capability)	0,89970	0,94181	0,94367
CR (capability ratio)	1,11148	1,06179	1,05970
CPK (demonstrated excellence)	0,77003	0,73886	0,73850
CPL (CP, lower)	0,77003	0,73886	0,73850
CPU (CP, upper)	1,02937	1,19443	1,20029
K (non-centering correction)	0,14413	0,12996	0,13020

Figura F.14 - Resumo Índices de Capacidade (Ponto7)

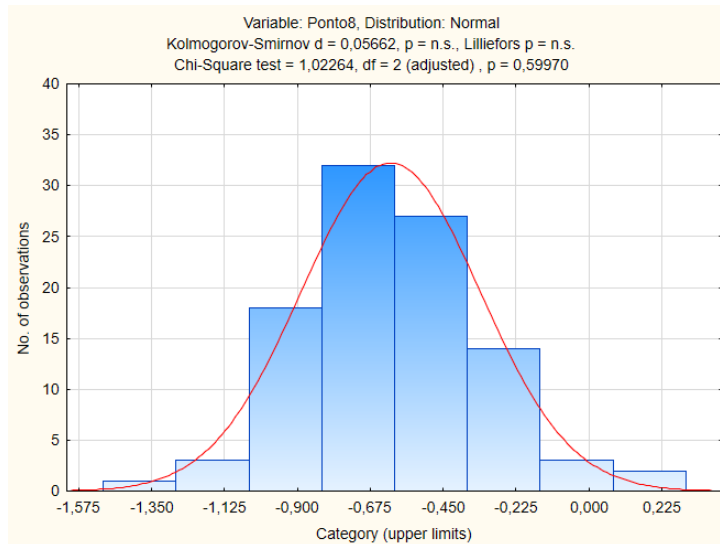


Figura F.15 - Histograma Ponto8, teste de Kolmogorov-Smirnov

Capability Index Within-sample sigma=R-bar/d2	Variable: Ponto8 (Spreadsheet4) -3,000 *Sigma=-1,4404 +3,000 *Sigma=,216588		
	Normal Distrib.	Non-Nrml Distrib.	Pearson Curves
Lower Specification Limit	-0,80000		
Nominal Specification	0,00000		
Upper Specification Limit	0,80000		
Lower Perc. Value: ,135	-1,44039	-1,40009	-1,39971
Median (50%) Value: 50,000	-0,61190	-0,61676	-0,61681
Upper Perc. Value: 99,865	0,21659	0,25352	0,25343
CP (potential capability)	0,96561	0,96758	0,96785
CR (capability ratio)	1,03561	1,03350	1,03321
CPK (demonstrated excellence)	0,22704	0,23393	0,23399
CPL (CP, lower)	0,22704	0,23393	0,23399
CPU (CP, upper)	1,70419	1,62795	1,62806
K (non-centering correction)	0,76487	0,77094	0,77101

Figura F.16 - Resumo Índices de Capacidade (Ponto8)

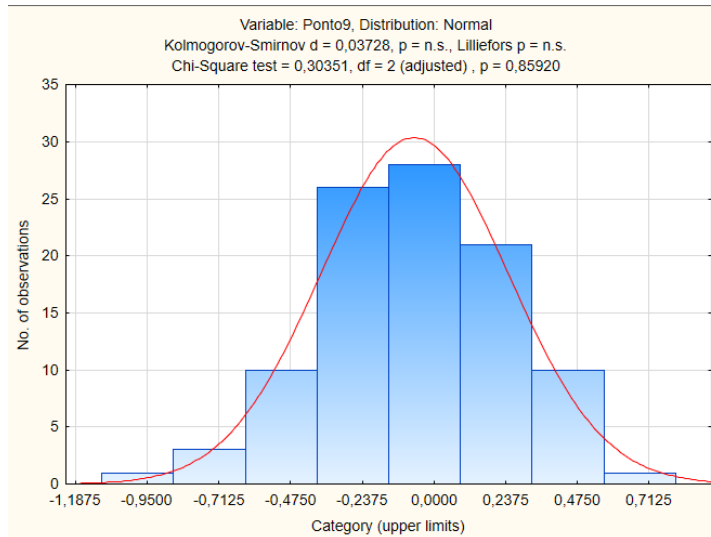


Figura F.17 - Histograma Ponto9, teste de Kolmogorov-Smirnov

Capability Index Within-sample sigma=R-bar/d2	Variable: Ponto9 (Spreadsheet7) -3,000 *Sigma=-1,0487 +3,000 *Sigma=,919749		
	Normal Distrib.	Non-Nrml Distrib.	Pearson Curves
Lower Specification Limit	-0,80000		
Nominal Specification	0,00000		
Upper Specification Limit	0,80000		
Lower Perc. Value: ,135	-1,04875	-1,05722	-1,05717
Median (50%) Value: 50,000	-0,06450	-0,05558	-0,05579
Upper Perc. Value: 99,865	0,91975	0,80309	0,79927
CP (potential capability)	0,81280	0,86007	0,86186
CR (capability ratio)	1,23031	1,16269	1,16028
CPK (demonstrated excellence)	0,74727	0,74320	0,74318
CPL (CP, lower)	0,74727	0,74320	0,74318
CPU (CP, upper)	0,87833	0,99640	1,00085
K (non-centering correction)	0,08063	0,06948	0,06974

Figura F.18 - Resumo Índices de Capacidade (Ponto9)

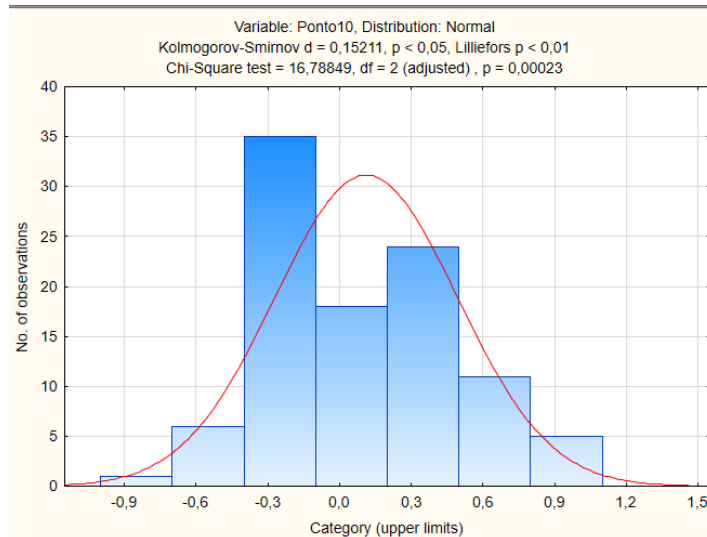


Figura F.19 - Histograma Ponto10, teste de Kolmogorov-Smirnov

		Variable: Ponto10 (Spreadsheet10)		
		-3,000 *Sigma=-1,0256		
		+3,000 *Sigma=1,24959		
Capability Index		Normal	Non-Nrml	Pearson
Within-sample sigma=R-bar/d2		Distrib.	Distrib.	Curves
Lower Specification Limit		-2,00000		
Nominal Specification		0,00000		
Upper Specification Limit		0,80000		
Lower Perc. Value: ,135		-1,02559	-0,654174	-0,629663
Median (50%) Value: 50,000		0,11200	0,079058	0,080313
Upper Perc. Value: 99,865		1,24959	1,199729	1,204818
CP (potential capability)		1,23067	1,510327	1,526317
CR (capability ratio)		0,81257	0,662108	0,655172
CPK (demonstrated excellence)		0,60479	0,643313	0,640003
CPL (CP, lower)		1,85655	2,835470	2,930118
CPU (CP, upper)		0,60479	0,643313	0,640003
K (non-centering correction)		0,50857	0,485042	0,485938

Figura F.20 - Resumo Índices de Capacidade (Ponto10)

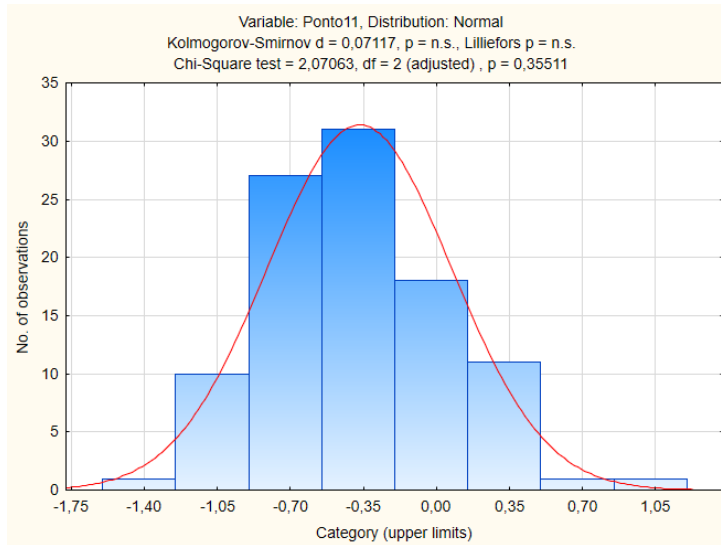


Figura F.21 - Histograma Ponto11, teste de Kolmogorov-Smirnov

		Variable: Ponto11 (Spreadsheet13)		
		-3,000 *Sigma=-1,6903		
		+3,000 *Sigma=,952852		
Capability Index		Normal	Non-Nrml	Pearson
Within-sample sigma=R-bar/d2		Distrib.	Distrib.	Curves
Lower Specification Limit		-0,80000		
Nominal Specification		0,00000		
Upper Specification Limit		0,80000		
Lower Perc. Value: ,135		-1,69025	-1,40147	-1,39095
Median (50%) Value: 50,000		-0,36870	-0,40196	-0,40154
Upper Perc. Value: 99,865		0,95285	1,14020	1,14233
CP (potential capability)		0,60535	0,62951	0,63159
CR (capability ratio)		1,65194	1,58854	1,58329
CPK (demonstrated excellence)		0,32636	0,39824	0,40273
CPL (CP, lower)		0,32636	0,39824	0,40273
CPU (CP, upper)		0,88434	0,77940	0,77827
K (non-centering correction)		0,46087	0,50244	0,50192

Figura F.22 - Resumo Índices de Capacidade (Ponto11)