

**Universidade Nova de Lisboa**  
**Faculdade de Ciências e Tecnologia**  
**Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial**



## **Controlo Estatístico do Processo**

Por

João Miguel da Piedade Fernandes

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Orientador: Professor Doutor José Fernando Gomes Requeijo

Lisboa  
2010

## Agradecimentos

Esta dissertação é um resultado de um esforço e apoio de diversas pessoas que contribuíram significativamente pela sua realização, pelo que aqui deixo o meu mais sincero reconhecimento.

Em primeiro lugar agradeço ao meu orientador Professor José Requeijo, pela oportunidade da realização deste trabalho. Estou também grato pela sua grande orientação científica, utilidade de recomendações, cordialidade e incessante motivação.

Um agradecimento à Mitsubishi Fuso Truck Europe, S.A., na pessoa do director da Qualidade, Engenheiro Paulo Simão, por ter permitido a realização do presente trabalho na empresa. Um agradecimento também ao responsável da *Assurance Quality* da Mitsubishi Fuso Truck Europe, Engenheiro José Tomás, pela sua motivação e disponibilidade.

Um agradecimento particular ao Engenheiro Luís Melro, pertencente à *Assurance Quality* da Mitsubishi Fuso Truck Europe, pela sua preciosa e incessante ajuda.

Agradeço também a todos os operadores, inspectores e *team leaders*, da Mitsubishi Fuso Truck Europe, que contribuíram para a recolha de dados e explicação de processos e operações.

Um agradecimento especial à colega e amiga Joana Cordeiro pelo seu apoio, companheirismo e motivação, não só durante o estágio, como também durante todo o período académico.

Por fim, um agradecimento muito especial à minha família pelos preciosos conselhos e incentivos, para além de um apoio infindável.

## Sumário

O Controlo Estatístico do Processo (SPC) é uma complexa ferramenta que permite controlar e melhorar processos, constituindo assim um importante meio de optimização para as empresas.

Na presente dissertação descreve-se os conceitos teóricos inerentes ao controlo estatístico tradicional, concebido para grandes volumes de produção. São abordadas as condicionantes necessárias no âmbito do SPC, para que se possa fazer correctas análises, dando-se especial ênfase à problemática da não Normalidade dos dados.

Ainda no âmbito do SPC tradicional, faz-se alusão ao modo de estudo da capacidade dos processos para dados Normalmente distribuídos. Por outro lado, aborda-se também métodos de análise da capacidade para dados que não seguem uma distribuição Normal.

Aborda-se também, na presente dissertação, uma variante mais recente do controlo estatístico destinada ao fabrico por lotes e de vários produtos no mesmo sistema produtivo, denominada por “Pequena Produção”. Para esta temática, faz-se a apresentação dos conceitos e de algumas cartas, como sejam as cartas  $Z$  e as cartas  $Q$ , assim como o estudo da capacidade dos processos a efectuar nestes casos, recorrendo aos índices de capacidade  $Z_I$  e  $Z_S$  ou  $Q_I$  e  $Q_S$ .

Tendo por base os conceitos teóricos descritos, o presente trabalho é constituído pela aplicação desses conceitos num caso prático, com o objectivo de averiguar o estado dos processos e propor dentro do possível as devidas medidas de melhoria. Assim, em cada um dos processos seleccionados, elabora-se e implementa-se a metodologia adequada para o controlo estatístico e estudo da capacidade.

## Abstract

The Statistical Process Control (SPC) is a tool complex that allows control and improves processes, thus providing an important means of optimization for companies.

In this thesis describes the theoretical concepts in the traditional statistical control, designed for high volume production. It deals with the conditions required for implementing the SPC, that it can make correct analysis, with particular emphasis on the problem of non-normality of the data.

Even under the traditional SPC, it is referring to the method of capability analysis for data normally distributed. In other hand, it also addresses methods of analysis of capability for data that do not follow a normal distribution

It also addressed in this dissertation, a new variant of SPC for the batch manufacture and various products in the same production systems, called "Short Runs". For this issue, it makes the presentation of concepts and some charts, such as  $Z$  and  $Q$  charts, as well as the study of the analysis process to be made in these cases, using the capability index  $Z_I$  and  $Z_S$  or  $Q_I$  and  $Q_S$ .

Based on the theoretical concepts described in this work consists in the applying these concepts in a practical case, in order to ascertain the state of processes and propose as far as possible the necessary actions for improvement. Thus, in each selected process is developed and implemented the appropriate methodology for statistical control and study of capacity.

## Simbologia

$A, A_2, A_3$	Factores para construção das cartas de controlo de variáveis
<i>ARL "Average Run Length"</i>	número médio ao fim do qual se detecta uma situação fora de controlo
<i>ARL Em Controlo</i>	<i>ARL</i> quando o processo se encontra sob controlo estatístico
<i>ARL Fora de Controlo</i>	<i>ARL</i> quando o processo não se encontra sob controlo estatístico
$B_3, B_4, B_5, B_6$	Factores para construção das cartas de controlo de variáveis
$c_4$	Factor para construção das cartas de controlo de variáveis
$Cov(X_t, X_{t+k})$	Covariância de observações desfasadas de $k$ períodos
$C_p$	Índice de capacidade potencial do processo
$C_{pk}$	Índice de capacidade do processo
$(C_{pk})_I, (C_{pk})_S$	Índice $C_{pk}$ inferior ou superior
$C_{pm}$ média	Índice de capacidade potencial corrigido pelo desvio da relativamente ao valor nominal
$C_{pmk}$	Índice de capacidade corrigido pelo desvio da média relativamente ao valor nominal
$D$	Variável definida pela diferença entre $X$ e o valor alvo
$D_1, D_2, D_3, D_4,$	Factores para construção das cartas de controlo de variáveis
$d_2, d_3$	Factores para construção das cartas de controlo de variáveis
$d_2', d_3'$	Factores para a construção das cartas $X$ e $R$ , no método VW
$D_{Crítico}$	Valor crítico do teste de Kolmogorov-Smirnov
$F_{\alpha; \nu_1, \nu_2}$	Percentil à direita, para uma probabilidade $\alpha$ , da distribuição de Fisher com $\nu_1$ e $\nu_2$ graus de liberdade
$FAC, FACP$	Função de auto-correlação teórica, Função de auto-correlação parcial teórica
$FACE, FACPE$	Função de auto-correlação estimada, Função de auto-correlação parcial estimada
$G_v$	Função de distribuição t-student, com $v$ graus de liberdade
$LIC, LSC$	Limite inferior ou superior de controlo
$LIE, LSE$	Limite inferior ou superior da especificação
$LP, LU$	Percentil à direita e esquerda, respectivamente de 99,865% e 0,135% da distribuição de $X$
$L_Z$	Limite inferior da especificação transformado

$m$	Número de amostras
$\tilde{M}$	Mediana do processo
$MR$	Amplitude móvel
$\overline{MR}$	Média de amplitudes móveis
$n$	Dimensão da amostra
$N$	Número de dados (observações individuais)
$N(\mu, \sigma^2)$	Distribuição Normal com média $\mu$ e variância $\sigma^2$
$P_L, P_U$	Probabilidade associada a $L_Z$ ou $U_Z$
$P_X$	Probabilidade de ocorrerem valores menores ou iguais à média de $X$
$Q$	Variável adimensional Normalmente distribuída com $\mu = 0$ e $\sigma^2 = 1$
$Q_{LIE}, Q_{LSE}$	Valor de $Q$ do limite inferior ou superior da es
$Q_i(X_i)$	Estatística $Q$ dada pela transformação de $X_i$
$(Q_I)_j, (Q_S)_j$	Índice de capacidade inferior ou superior para o produto $j$ , quando se utilizam cartas $Q$
$R$	Amplitude amostral
$\bar{R}$	Média de amplitudes de amostras
$r_k$	Valor estimado de $\rho_k$
$S$	Desvio padrão amostral
$S^2$	Variância amostral
$\bar{S}^2$	Média de variâncias de amostras
$S_i^2$	Variância da amostra $i$
$S_r$	Desvio padrão da amostra constituída por $r$ observações
$S_B, S_L, S_U$	Famílias de distribuições de Johnson
<b>SPC</b>	Controlo Estatístico do Processo
<b>TQM</b>	" <i>Total Quality Management</i> " (Gestão pela Qualidade Total)
$U_Z$	Limite superior da especificação transformado
$Var(\varphi_{kk})$	Variância de $\varphi_{kk}$
$Var(r_k)$	Variância de $r_k$
$Var(X)$	Variância referente à característica da qualidade $X$
$V_L, V_U$	Factores para a construção das cartas $R$ no método $WV$
$W_L, W_U$	Factores para a construção das cartas $X$ no método $WV$
$WV$	Variância ponderada
$X$	Característica da qualidade
$\bar{X}_j$	Média de $m$ observações para a característica da qualidade $j$

$\bar{\bar{X}}_j$	Média das médias de amostra para a característica da qualidade $j$
$\bar{X}_r$	Média de $r$ observações
$\bar{X}_{ij}$	Média da amostra $i$ referente ao produto $j$
$\bar{\bar{X}}$	Média das médias de amostras
$X_i$	Observação da característica da qualidade $X$ no instante $i$
$X_{ij}$	Observação $i$ referente ao produto $j$
$X_t$	Valor da característica da qualidade $X$ no instante $t$
$Z$	Variável Normal reduzida
$(Z_I)_j, (Z_S)_j$	Índice de capacidade inferior ou superior para o produto $j$ , quando se utilizam cartas $Z$
$\alpha$	Nível de significância, risco do produtor
$\beta$	Risco do consumidor
$\sqrt{\beta_1}$	Coeficiente de assimetria
$\beta_2$	Coeficiente de achatamento
$\chi^2$	Estatística do Qui-quadrado
$\chi^2_{\alpha;v}$	Percentil à direita, para uma probabilidade $\alpha$ , da distribuição do Qui-quadrado com $v$ graus de liberdade
$\Phi(\bullet)$	Função de distribuição Normal
$\Phi^{-1}(\bullet)$	Inverso da função de distribuição Normal
$\varphi_{kk}$	Coeficiente de auto-correlação parcial de ordem $k$
$\gamma, \eta, \lambda, \varepsilon$	Parâmetros do $SDJ$
$\mu$	Média do processo
$v$	Número de graus de liberdade
$\rho_k$	Coeficiente de correlação de desfasamento $k$ ("lag $k$ ")
$\sigma$	Desvio padrão do processo
$\sigma^2$	Variância do processo
$\sigma_j$	Desvio padrão do processo referente ao produto $j$ ou à característica da qualidade $j$
$\sigma_R$	Desvio padrão da distribuição de amplitudes de amostras
$\sigma_S$	Desvio padrão da distribuição de desvios padrão de amostras
$\sigma_{\bar{X}}$	Desvio padrão da distribuição de médias de amostras
$\nabla$	Operador de diferenças

# Índice

Capítulo 1 - Introdução .....	1
1.1 - Enquadramento do Tema.....	1
1.2 - Relevância do Tema.....	2
1.3 - Objectivos.....	2
1.4 - Estrutura.....	3
Capítulo 2 - Controlo Estatístico do Processo .....	5
2.1 - Introdução .....	5
2.2 - Conceito da Qualidade .....	5
2.3 - Breve Evolução Histórica – Uma Necessidade de Qualidade.....	6
2.4 - Gestão Pela Qualidade Total.....	8
2.5 - Controlo Estatístico do Processo.....	9
2.5.1 - Cartas de Controlo .....	11
2.5.1.1 - Recolha de Dados .....	15
2.5.1.2 - Tipos de Cartas de Controlo .....	16
2.5.1.3 - Procedimentos para a Construção das Cartas de Controlo.....	16
2.5.2 - Cartas de Controlo de Variáveis – FASE 1 do SPC.....	18
2.5.2.1 - Cartas de Controlo de Observações Individuais e Amplitudes Móveis.....	18
2.5.2.2 - Cartas de Controlo da Média e Amplitude.....	19
2.5.2.3 - Cartas de Controlo da Média e Desvio Padrão .....	20
2.5.2.4 - Cartas de Controlo da Média e Variância.....	21
2.5.2.5 - Cartas de Controlo da Mediana e Amplitude.....	21
2.5.3 - Estimação dos parâmetros do processo.....	22
2.5.4 - Cartas de Controlo de Variáveis – Fase 2 do SPC.....	22
2.6 - Condições de Aplicabilidade das Cartas de Controlo .....	23
2.6.1 - Aleatoriedade dos Dados .....	23
2.6.2 - Auto-Correlação do Dados .....	24
2.6.2.1 - Função de Auto-Correlação (FAC).....	24
2.6.2.2 - Função de Auto-Correlação Parcial (FACP) .....	25
2.6.3 - Normalidade dos Dados.....	27
2.7 - Análise de Capacidade.....	27
2.8 - Tratamento de dados não Normais .....	32
2.8.1 - Caracterização da Distribuição dos Dados através do Sistema de Distribuições de Pearson.....	33

2.8.2 - Método da Variância Ponderada (Método WV) .....	34
2.8.3 - Transformação de Box-Cox.....	38
2.8.4 - Transformação através do Sistema de Distribuições de Johnson.....	39
2.8.4.1 - Método dos Momentos .....	41
2.8.4.2 - Método da Máxima Verosimilhança .....	41
2.8.4.3 - Método dos Percentis .....	41
2.8.5 - Análise de Capacidade para Dados não Normais .....	45
2.8.5.1 - Índices de Capacidade para o Método da Variância Ponderada (Método WV) .....	45
2.8.5.2 - Índices de Capacidade para dados não Normalmente Distribuídos ...	45
2.9 - Conclusões.....	47
<b>Capítulo 3 - “Pequenas Produções”.....</b>	<b>49</b>
3.1 - Introdução .....	49
3.2 - “Pequenas Produções”.....	49
3.2.1 - Cartas das Diferenças – Cartas <i>D</i> .....	50
3.2.1.1 - Cara de Observações Individuais e Carta da Amplitude Móvel.....	50
3.2.1.2 - Carta da Média e Carta da Amplitude .....	51
3.2.1.3 - Carta da Média e Carta do Desvio Padrão.....	52
3.2.2 - Cartas de Controlo <i>Z</i> e <i>W</i> .....	52
3.2.2.1 - Cara de Observações Individuais e Carta da Amplitude Móvel.....	53
3.2.2.2 - Carta da Média e Carta da Amplitude .....	53
3.2.2.3 - Carta da Média e Carta do Desvio Padrão.....	54
3.2.2.4 - Análise de Capacidade das Cartas <i>Z</i> e <i>W</i> .....	54
3.2.3 - Cartas <i>Q</i> .....	57
3.2.3.1 - Cartas <i>Q</i> para Observações Individuais e Amplitudes Móveis.....	57
3.2.3.2 - Cartas <i>Q</i> para a Média e Variância .....	58
3.2.3.3 - Análise de Capacidade para as Cartas de Controlo <i>Q</i> .....	59
<b>Capítulo 4 - Caracterização da Empresa.....</b>	<b>61</b>
4.1 - Introdução .....	61
4.2 - A empresa.....	61
4.2.1 - Organização da Empresa.....	62
4.2.2 - Produto .....	63
4.2.3 - Produção.....	64
4.2.4 - Qualidade.....	68
4.2.5 - Logística.....	69

4.2.6 - Outras Certificações .....	69
Capítulo 5 - Parte Experimental .....	71
5.1- Introdução .....	71
5.2 - Soldadura .....	71
5.2.1 - Introdução .....	71
5.2.2 - Características da Qualidade .....	74
5.2.3 - Montagem das Portas .....	74
5.2.3.1 - Recolha de dados .....	76
5.2.3.2 - Análise dos dados .....	77
5.2.3.2.1 - Metodologia .....	77
5.2.3.2.2 - Controlo estatístico para as folgas e afloramentos das portas com excepção das características AF5 .....	77
5.2.3.2.3 - Controlo estatístico para as características AF5 esquerda e AF5 direita .....	88
5.2.3.3 - Conclusões para o processo de montagem das portas .....	90
5.2.4 - Soldadura por pontos .....	92
5.2.4.1 - Característica em estudo na soldadura por pontos .....	93
5.2.4.2 - Recolha de dados .....	93
5.2.4.3 - Análise dos Dados .....	95
5.2.4.3.1 - Metodologia .....	95
5.2.4.3.2 - Estudo do diâmetro de rolha .....	96
5.2.4.4 - Conclusões para o diâmetro de rolha .....	97
5.3 - Rebitagem .....	98
5.3.1 - Introdução .....	98
5.3.2 - Produtos em estudo .....	99
5.3.3 - Características da Qualidade em estudo .....	99
5.3.3.1 - Fixação da travessa de apoio ao motor .....	99
5.3.3.2 - Suporte de Amortecedores .....	102
5.3.3.3 - Características da Qualidade a estudar .....	102
5.3.4 - Recolha de dados .....	102
5.3.4.1 - Travessa do Motor (modelos FE8 e FB8) .....	103
5.3.4.2 - Fixação da travessa do Motor FRT e Fixação da travessa do motor RR (modelo FE7) .....	103
5.3.4.3 - Suporte de Amortecedores .....	103
5.3.5 - Análise dos dados .....	103
5.3.5.1 - Metodologia .....	104

5.3.5.2 - Fixação da Travessa do Motor (modelos FE8 e FB8) e Suporte de Amortecedores (modelos FE8, FB8 e FE7) .....	104
5.3.5.2.1 - Fase 1 do SPC .....	104
5.3.5.2.2 - Fase 2 do SPC .....	111
5.3.5.3 - Fixação FRT e Fixação RR da travessa do motor do modelo FE7... ..	116
5.3.5.3.1 - Verificação de padrões não aleatórios .....	117
5.3.5.3.2 - Estudo da capacidade .....	118
5.3.4 - Conclusões para o estudo efectuado na zona de rebitagem .....	119
<b>Capítulo 6 - Conclusões e Recomendações .....</b>	<b>121</b>
6.1- Conclusões.....	121
6.1.1 - Montagem das Portas .....	121
6.1.2 - Diâmetro de Rolha .....	122
6.1.3 - Binários de Aperto.....	122
6.2 - Sugestões para Trabalhos Futuros.....	123
<b>Bibliografia .....</b>	<b>125</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>129</b>
<b>Anexo I - Mitsubishi Fuso Truck Europe .....</b>	<b>131</b>
I.1 - Organigrama .....	132
I.2 - Sistema de Codificação de cada Modelo .....	133
I.3 - Vendas nos Países Europeus em 2008.....	134
<b>Anexo II - Montagem das Portas .....</b>	<b>135</b>
II.1 - Dados das Folgas da Montagem das Portas .....	136
II.2 - Dados dos Afloramentos da Montagem das Portas .....	138
II.3 - Cartas das Características Seleccionadas na Montagem das Portas .....	140
II.4 - Verificação da Normalidade das Características Seleccionadas na Montagem das portas.....	145
II.5 - Dados transformados da característica AF2 Esquerda.....	148
II.6 - Tabelas auxiliares à construção das cartas $Q(X)$ para a característica AF5. ..	149
<b>Anexo III - Soldadura por Pontos da Pinça UC-C0106.....</b>	<b>151</b>
III.1 - Dados.....	152
III.2 - Tabelas auxiliares à construção das cartas $Q(X)$ e $Q(MR)$ para o diâmetro de rolha .....	153
III.3 - Folha de Operações para a pinça UC-C0106 .....	154

Anexo IV - Rebitagem .....	155
IV.1 - Fixação da Travessa do Motor (modelos FB8 e FE8) e Suporte de Amortecedores (modelos FB8, FE8 e FE7) – Fase .....	156
IV.1.1 - Dados .....	156
IV.1.2 - Cartas da Fase 1 .....	163
IV.1.3 - Verificação da Normalidade dos Dados Individuais.....	170
IV.1.4 - Dados para a Fase 2 .....	175
IV.1.5 - Cartas para a Fase 2 .....	177
IV.2 - Fixação da Travessa do Motor (modelo FE7).....	184
Anexo V - Tabelas .....	195
V.1 - Tabela para construção das cartas de controlo de variáveis .....	196

## Índice de Figuras

Figura 2.1 - Carta de Controlo.....	11
Figura 2.2 - Apresentação dos percentis, entre os quais é admissível a existência do processo .....	12
Figura 2.3 - Carta de Controlo com identificação das 6 zonas de referência e com exemplificação das causas especiais de variação.....	14
Figura 2.4 - Fases do SPC.....	15
Figura 2.5 - Tipos de Cartas de Controlo .....	16
Figura 2.6 - Processo capaz e centrado.....	30
Figura 2.7 - Processo sem capacidade .....	31
Figura 2.8 - Processo capaz, mas não centrado .....	31
Figura 2.9 - Diagrama representativo do procedimento adoptado para o método dos percentis .....	42
Figura 4.1 - Mitsubishi Fuso Truck Europe.....	61
Figura 4.2 - Mitsubishi Canter .....	62
Figura 4.3 - Mitsubishi Canter com cabine dupla.....	63
Figura 4.4 - Mitsubishi Canter com cabine simples .....	63
Figura 4.5 - Layout das linhas de montagem.....	64
Figura 4.6 - Linha da soldadura.....	64
Figura 4.7 - Alguns dos banhos da linha de E/D .....	65
Figura 4.8 - Zona de pintura.....	65
Figura 4.9 - Revestimento .....	66
Figura 4.10 - Rebitagem.....	66
Figura 4.11 - Linha dos eixos .....	67
Figura 4.12 - Linha final.....	67
Figura 4.13 - " <i>Wedding</i> " .....	68
Figura 4.14 - Linha de inspeção final.....	68
Figura 5.1 - Diagrama de montagem das cabines simples .....	71
Figura 5.2 - Fundo da Cabine.....	72
Figura 5.3 - Parte de trás e pilares superiores.....	72
Figura 5.4 - Painel da frente .....	73
Figura 5.5 - Cabine montada.....	73
Figura 5.6 - Cabine montada com as portas.....	74
Figura 5.7 - Apoio mecânico de manuseamento das portas.....	74
Figura 5.8 - Zonas das folgas exteriores a estudar.....	75

Figura 5.9 - Zonas dos afloramentos a estudar .....	75
Figura 5.10 - Medição de afloramentos .....	76
Figura 5.11 - Cartas $X$ e $MR$ da característica FE5 Direita .....	78
Figura 5.12 - Cartas $X$ e $MR$ revistas da característica FE5 Direita .....	78
Figura 5.13 - Verificação da Normalidade da característica FE5 Direita .....	80
Figura 5.14 - Cartas $X$ e $MR$ com os dados transformados da característica AF2 Esquerda .....	82
Figura 5.15 - Cartas $X$ e $MR$ revista com dados transformados da característica AF2 Esquerda .....	84
Figura 5.16 - Verificação da Normalidade aos dados transformados da característica AF2 Esquerda .....	85
Figura 5.17 - Estudo de capacidade para a característica AF2 Esquerda .....	87
Figura 5.18 - Carta $Q(X)$ para a característica AF5 Esquerda .....	89
Figura 5.19 - Carta $Q(X)$ para a característica AF5 Direita .....	89
Figura 5.20 - Diagrama de Causa-e-Efeito para a montagem das portas .....	90
Figura 5.21 - Zonas entre ou durante processos onde se irá medir as folgas e afloramentos .....	91
Figura 5.22 - Pinça de soldadura seleccionada para o estudo .....	92
Figura 5.23 - Teste de Rolha .....	94
Figura 5.24 - Torção dos provetes durante o teste .....	94
Figura 5.25 - Diâmetros de rolha provocados pelos testes .....	94
Figura 5.26 - Eléctrodos com desgaste .....	95
Figura 5.27 - Carta $Q(X)$ do teste de rolha .....	96
Figura 5.28 - Carta $Q(MR)$ do teste de rolha .....	96
Figura 5.29 - Diagrama Causa-e-Efeito para o teste de rolha .....	97
Figura 5.30 - Chassis no posto F5, com os tensores de aperto de cada lado do chassis .....	99
Figura 5.31 - Visualização do binário de aperto em N.m .....	99
Figura 5.32 - Equipamento de aperto do tensor .....	100
Figura 5.33 - Fixação da travessa do motor para o modelo FE7 .....	101
Figura 5.34 - Fixação da travessa do motor para os modelos FE8 e FB8 .....	101
Figura 5.35 - Suporte de amortecedores .....	102
Figura 5.36 - Cartas $\bar{X}$ e $S$ para a travessa do motor - esquerda do modelo FB8 .....	105
Figura 5.37 - Cartas $\bar{X}$ e $S$ revistas para a travessa do motor - esquerda do modelo FB8 .....	105
Figura 5.38 - Verificação da Normalidade para o Suporte de Amortecedores - Esquerda para o modelo FB8 .....	106

Figura 5.39 - Carta $Z$ para o suporte de amortecedores - esquerda.....	114
Figura 5.40 - Carta $W$ para o suporte de amortecedores - esquerda.....	114
Figura 5.41 - Carta $Z$ do suporte de amortecedores - esquerda com os índices de capacidade para o modelo FE7.....	115
Figura 5.42 - Carta $Z$ do suporte de amortecedores - direita com os índices de capacidade para o modelo FE7.....	116
Figura 5.43 - Carta $Q(X)$ para a fixação RR da travessa do motor – Esquerda.....	117
Figura 5.44 - Carta $Q(MR)$ para a fixação RR da travessa do motor – Esquerda.....	117
Figura 5.45 - Comparação dos índices de capacidade da fixação RR.....	118
Figura 5.46 - Comparação dos índices de capacidade da fixação FRT.....	119
Figura I.1 - Organigrama da MFTE .....	132
Figura I.2 - Sistema de Codificação do Modelo do Veículo .....	133
Figura I.3 - Vendas no ano de 2008 .....	134
Figura II.1 - Cartas $X$ e $MR$ para a característica FE2 – Esquerda .....	140
Figura II.2 - Cartas revistas $X$ e $MR$ para a característica FE2 – Esquerda .....	140
Figura II.3 - Cartas $X$ e $MR$ para a característica FE2 – Direita.....	141
Figura II.4 - Cartas $X$ e $MR$ para a característica FE5 – Esquerda .....	141
Figura II.5 - Cartas revistas $X$ e $MR$ para a característica FE5 – Esquerda.....	142
Figura II.6 - Segundas cartas revistas $X$ e $MR$ para a característica FE5 – Esquerda	142
Figura II.7 - Cartas $X$ e $MR$ para a característica AF2 – Esquerda .....	143
Figura II.8 - Cartas revistas $X$ e $MR$ para a característica AF2 – Esquerda .....	143
Figura II.9 - Cartas $X$ e $MR$ para a característica AF2 – Direita .....	144
Figura II.10 - Cartas revistas $X$ e $MR$ para a característica AF2 - Direita .....	144
Figura II.11 - Verificação da Normalidade dos dados para a característica FE2 – Esquerda .....	145
Figura II.12 - Verificação da Normalidade dos dados para a característica FE2 – Direita .....	145
Figura II.13 - Verificação da Normalidade dos dados para a característica FE5 – Esquerda .....	146
Figura II.14 - Verificação da Normalidade dos dados para a característica AF2 – Esquerda .....	146
Figura II.15 - Verificação da Normalidade dos dados para a característica AF2 – Direita.....	147
Figura III.1 - Folha de Operações da Pinça UC-1010.....	154
Figura IV.1 - Cartas $\bar{X}$ e $S$ para a fixação da travessa do motor – direita do modelo FB8.....	163

Figura IV.2 - Cartas $\bar{X}$ e $S$ para a fixação da travessa do motor – esquerda do modelo FE8 .....	164
Figura IV.3 - Cartas $\bar{X}$ e $S$ para a fixação da travessa do motor – direita do modelo FE8 .....	164
Figura IV.4 - Cartas revistas $\bar{X}$ e $S$ para a fixação da travessa do motor – direita do modelo FE8.....	165
Figura IV.5 - Cartas $\bar{X}$ e $S$ para o suporte de amortecedores – esquerda do modelo FB8 .....	165
Figura IV.6 - Cartas $\bar{X}$ e $S$ para o suporte de amortecedores – direita do modelo FB8 .....	166
Figura IV.7 - Cartas $\bar{X}$ e $S$ para o suporte de amortecedores – esquerda do modelo FE8 .....	166
Figura IV.8 - Cartas revistas $\bar{X}$ e $S$ para o suporte de amortecedores – esquerda do modelo FE8.....	167
Figura IV.9 - Cartas $\bar{X}$ e $S$ para o suporte de amortecedores – direita do modelo FE8 .....	167
Figura IV.10 - Cartas revistas $\bar{X}$ e $S$ para o suporte de amortecedores – direita do modelo FE8.....	168
Figura IV.11 - Cartas $\bar{X}$ e $S$ para o suporte de amortecedores – esquerda do modelo FE7 .....	168
Figura IV.12 - Cartas $\bar{X}$ e $S$ para o suporte de amortecedores – direita do modelo FE7 .....	169
Figura IV.13 - Cartas revistas $\bar{X}$ e $S$ para o suporte de amortecedores – direita do modelo FE7.....	169
Figura IV.14 - Verificação da Normalidade dos dados individuais para a fixação da travessa do motor - esquerda do modelo FB8.....	170
Figura IV.15 - Verificação da Normalidade dos dados individuais para a fixação da travessa do motor – direita do modelo FB8.....	170
Figura IV.16 - Verificação da Normalidade dos dados individuais para a fixação da travessa do motor – esquerda do modelo FE8.....	171
Figura IV.17 - Verificação da Normalidade dos dados individuais para a fixação da travessa do motor – direita do modelo FE8.....	171
Figura IV.18 - Verificação da Normalidade dos dados individuais para o suporte de amortecedores – direita do modelo FB8.....	172
Figura IV.19 - Verificação da Normalidade dos dados individuais para o suporte de amortecedores – esquerda do modelo FE8.....	172
Figura IV.20 - Verificação da Normalidade dos dados individuais para o suporte de amortecedores – direita do modelo FE8.....	172
Figura IV.21 - Verificação da Normalidade dos dados individuais para o suporte de amortecedores - esquerda do modelo FE7 .....	172

Figura IV.22 - Verificação da Normalidade dos dados individuais para o suporte de amortecedores – direita do modelo FE7.....	174
Figura IV.23 - Carta $Z$ para a fixação da travessa do motor – esquerda.....	178
Figura IV.24 - Carta $W$ para a fixação da travessa do motor – esquerda .....	178
Figura IV.25 - Carta $Z$ para a fixação da travessa do motor – direita.....	179
Figura IV.26 - Carta $W$ para a fixação da travessa do motor – direita .....	180
Figura IV.27 - Carta $Z$ para o suporte de amortecedores – direita.....	181
Figura IV.28 - Carta $W$ para o suporte de amortecedores – direita .....	182
Figura IV.29 - Carta $Q(X)$ para a fixação RR da travessa do motor – direita .....	188
Figura IV.30 - Carta $Q(MR)$ para a fixação RR da travessa do motor – direita .....	188
Figura IV.31 - Carta $Q(X)$ para a fixação FRT da travessa do motor – esquerda .....	191
Figura IV.32 - Carta $Q(MR)$ para a fixação FRT da travessa do motor – esquerda ...	191
Figura IV.33 - Carta $Q(X)$ para a fixação FRT da travessa do motor – direita .....	194
Figura IV.34 - Carta $Q(MR)$ para a fixação FRT da travessa do motor – direita .....	194
Figura V.1 - Factores para Construção das Cartas de Controlo .....	196

## Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Dimensões da Qualidade .....	7
Tabela 2.2 - Dimensões da Qualidade .....	8
Tabela 2.3 - Regras adoptadas para detecção de causas especiais de variação.....	13
Tabela 2.4 - Valores das constantes $\tilde{A}_2$ .....	22
Tabela 2.5 - Estimadores dos parâmetros do processo $\hat{\mu}$ e $\hat{\sigma}$ .....	22
Tabela 2.6 - Limites de controlo das cartas de Shewhart na Fase 2 .....	23
Tabela 2.7 - Valores mínimos para processo capaz.....	29
Tabela 2.8 - Classificação de algumas distribuições de Pearson .....	34
Tabela 2.9 - Limites de controlo das cartas $X$ e $R$ do método WV para a Fase 2 .....	35
Tabela 2.10 - Limites de controlo das cartas $X$ e $R$ do método WV .....	36
Tabela 2.11 - $W_L$ para a carta $X$ .....	36
Tabela 2.12 - $W_U$ para a carta $X$ .....	37
Tabela 2.13 - $V_L$ para a carta $R$ .....	37
Tabela 2.14 - $V_U$ para a carta $R$ .....	38
Tabela 2.15 - Equações das famílias do Sistema de Distribuições de Johnson .....	40
Tabela 3.1 - Tipo de cartas de variáveis para pequenas produções.....	49
Tabela 3.2 - Tipos de cartas de atributos para pequenas produções .....	50
Tabela 3.3 - Limites de controlo e linha central da carta $D_X$ e carta $MR$ .....	51
Tabela 3.4 - Limites de controlo e linha central da carta $D_{\bar{X}}$ e carta $R$ .....	51
Tabela 3.5 - Limites de controlo e linha central da carta $D_{\bar{X}}$ e carta $S$ .....	52
Tabela 3.6 - Tipos de Cartas de Controlo $Z$ e $W$ .....	52
Tabela 3.7 - Limites de Controlo das Cartas $Z_X$ e $W_{MR}$ .....	53
Tabela 3.8 - Limites de Controlo das Cartas $Z_{\bar{X}}$ e $W_{MR}$ .....	54
Tabela 3.9 - Limites de Controlo das Cartas $Q$ .....	59
Tabela 4.1 - Áreas organizativas e respectivos departamentos.....	62
Tabela 5.1 - Características da Qualidade seleccionadas na montagem das portas... 76	
Tabela 5.2 - Causas especiais encontradas nas folgas e afloramentos estudados .....	77
Tabela 5.3 - Resumo do teste de Normalidade para todas as características em estudo.....	80
Tabela 5.4 - Determinação dos $X_i$ de cada área da distribuição Normal .....	81
Tabela 5.5 - Determinação dos $X_i$ de cada área da distribuição Normal .....	83
Tabela 5.6 - Estudo de capacidade.....	88
Tabela 5.7 - Especificação técnica da característica da Qualidade em estudo.....	93

Tabela 5.8 - Características da Qualidade seleccionadas na área da rebitagem.....	102
Tabela 5.9 - Especificações técnicas das características da Qualidade relacionadas com a fixação do motor no modelo FE7 .....	103
Tabela 5.10 - Pontos fora do intervalo definido pelos limites de controlo .....	106
Tabela 5.11 - Resumo do estudo da Normalidade dos dados para as características da Qualidade relacionadas com a fixação da travessa do motor para os modelos FE8 e FB8 .....	107
Tabela 5.12 - Resumo do estudo da Normalidade dos dados para as características da Qualidade relacionadas com o suporte de amortecedores para os modelos FE8, FB8 e FE7 .....	107
Tabela 5.13 - Determinação dos $X_i$ de cada área da distribuição Normal.....	108
Tabela 5.14 - Família da distribuição de Johnson dos dados da fixação da travessa do motor para os modelos FB8 e FE8.....	109
Tabela 5.15 - Família da distribuição de Johnson dos dados do suporte de amortecedores para os modelos FB8 e FE8 .....	109
Tabela 5. 16 - Estudo de capacidade da fixação da travessa do motor para os modelos FB8 e FE8.....	111
Tabela 5. 17 - Estudo da capacidade do suporte de amortecedores para os modelos FB8 e FE8.....	111
Tabela 5. 18 - Estudo de capacidade do suporte de amortecedores para o modelo FE7 .....	112
Tabela 5. 19 - Parâmetros do processo para as características em estudo.....	113
Tabela 5. 20 - Limites de controlo para as cartas $Z$ e $W$ em estudo .....	113
Tabela II. 1 - Dados das Folgas (13/11 a 19/03) .....	136
Tabela II. 2 - Dados das Folgas (20/03 a 24/06) .....	137
Tabela II. 3 - Dados dos Afloramentos (13/11 a 19/03) .....	138
Tabela II. 4 - Dados dos Afloramentos (20/03 a 24/06) .....	139
Tabela II. 5 – Dados transformados da característica AF2 .....	148
Tabela II. 6 - Tabelas auxiliares para a construção da carta $Q(X)$ da característica AF5 Esquerda .....	149
Tabela II. 7 - Tabelas auxiliares para a construção da carta $Q(X)$ da característica AF5 Direita .....	150
Tabela III. 1 - Dados do Diâmetro de Rolha .....	152
Tabela III. 2 - Tabela auxiliar para construção da carta $Q(X)$ .....	153
Tabela III. 3 - Tabela auxiliar para construção da carta $Q(MR)$ .....	143
Tabela IV. 1 - Fixação da Travessa do Motor – Esquerda (Modelo FB8) .....	156
Tabela IV. 2 - Fixação da Travessa do Motor – Direita (Modelo FB8) .....	157
Tabela IV. 3 - Fixação da Travessa do Motor – Esquerda (Modelo FE8) .....	157
Tabela IV. 4 - Fixação da Travessa do Motor – Direita (Modelo FE8) .....	159

Tabela IV. 5 - Suporte de Amortecedores (Modelo FB8) .....	160
Tabela IV. 6 - Suporte de Amortecedores (Modelo FE8) .....	161
Tabela IV. 7 - Suporte de Amortecedores (Modelo FE7) .....	162
Tabela IV. 8 - Dados da Fase 2 para a Fixação da Travessa do Motor .....	175
Tabela IV. 9 - Dados da Fase 2 para o Suporte de Amortecedores – Esquerda .....	176
Tabela IV. 10 - Dados da Fase 2 para o Suporte de Amortecedores – Direita .....	176
Tabela IV. 11 - Tabela auxiliar para a construção das cartas <i>Z</i> e <i>W</i> para a Fixação da Travessa do Motor – Esquerda .....	177
Tabela I. 12 - Tabela auxiliar para a construção das cartas <i>Z</i> e <i>W</i> da Fixação da travessa do Motor – Direita .....	177
Tabela IV. 13 - Tabela auxiliar para a construção das cartas <i>Z</i> e <i>W</i> do Suporte de Amortecedores – esquerda .....	180
Tabela IV. 14 - Tabela auxiliar para a construção das cartas <i>Z</i> e <i>W</i> do Suporte de Amortecedores – Direita.....	181
Tabela IV. 15 - Tabela auxiliar à construção da carta <i>Z</i> para o Suporte de Amortecedores - Esquerda com os índices de Capacidade para o modelo FE7 .....	182
Tabela IV. 16 - Tabela auxiliar à construção da carta <i>Z</i> para o Suporte de Amortecedores - Direita com os índices de Capacidade para o modelo FE7 .....	183
Tabela IV. 17 - Tabela auxiliar para a construção da carta <i>Q(X)</i> da Fixação RR – Esquerda .....	184
Tabela IV. 18 - Tabela auxiliar para a construção da carta <i>Q(MR)</i> da Fixação RR – Esquerda .....	186
Tabela IV. 19 - Tabela auxiliar para a construção da carta <i>Q(X)</i> da Fixação RR – Direita .....	186
Tabela IV. 20 - Tabela auxiliar para a construção da carta <i>Q(MR)</i> da Fixação RR – Direita .....	187
Tabela IV. 21 - Tabela auxiliar para a construção da carta <i>Q(X)</i> da Fixação FRT – Esquerda .....	189
Tabela IV. 22 - Tabela auxiliar para a construção da carta <i>Q(MR)</i> da Fixação FRT – Esquerda .....	190
Tabela IV. 23 - Tabela auxiliar para a construção da carta <i>Q(X)</i> da Fixação FRT – Direita .....	192
Tabela IV. 24 - Tabela auxiliar para a construção da carta <i>Q(MR)</i> da Fixação FRT – Direita .....	193

## Capítulo 1 - Introdução

---

Devido ao mercado global cada vez mais competitivo, as organizações tendem a tomar medidas para fortalecer e aumentar o sucesso empresarial.

Cada vez mais, uma empresa tem dificuldade em vender os seus produtos devido a uma grande concorrência empresarial e também porque cada vez mais os consumidores procuram produtos e serviços de excelência, que permitam simultaneamente diferenciarem-se na sociedade.

Sendo assim, nas mais diversas áreas funcionais e organizativas dentro de uma empresa, procura-se adequar aos mais variados processos, ferramentas que potenciem o aparecimento de vantagens competitivas, assim como otimizar as vantagens competitivas já existentes.

Como tal, as ferramentas estatísticas desenvolvidas durante o século XX e que estão em permanente evolução tendem a adaptar-se às necessidades sociais e económicas, potenciando muitas vezes o suporte a decisões estratégicas e operacionais. Dentro das diversas ferramentas estatísticas, o Controlo Estatístico do Processo (SPC) tem tido um forte impacto na produção de produtos de excelência.

O SPC é uma temática que pretende potenciar a tomada de decisão, controlando processos críticos para a produção de produtos que satisfaçam as necessidades dos clientes, e muitas vezes possam mesmo superar as próprias expectativas dos clientes.

Em suma, o Controlo Estatístico do Processo permite avaliar os processos, podendo estes serem acompanhados a fim de se detectarem alterações.

### 1.1 - Enquadramento do Tema

Na primeira metade do século XX as necessidades industriais passavam pela produção em série, procurando-se produzir em quantidade, mas muitas vezes com défice de qualidade. Porém, na segunda metade do século XX, essencialmente a partir da década de 80 a maior dificuldade deixou de ser a produção em quantidade, mas sim a capacidade de vender produtos.

Portanto, actualmente a grande dificuldade das organizações é em vender os seus produtos ou serviços, pois o mercado é cada vez mais competitivo. Como tal, as empresas têm necessidade de adoptar meios para que os seus produtos ou serviços sejam escolhidos, pelos clientes, em detrimento da concorrência.

A alteração do referido paradigma económico e social do século XX foi acompanhado pelo desenvolvimento do SPC, pois inicialmente o SPC adaptava-se a grandes produções e actualmente está dotado de conceitos para produções mais pequenas, mas cada vez mais de suporte à decisão.

Como actualmente procura-se atingir os chamados produtos de excelência, isto é, que permitam atingir as expectativas dos clientes, as ferramentas estatísticas são uma forte arma para controlar processos e conseqüentemente a qualidade do produto final.

Nos dias de hoje, está extremamente em voga a redução de desperdício, sendo que uma das possibilidades é a diminuição da existência de stocks. Sendo assim e

adicionando a dificuldade de vender produtos, a produção é feita de acordo com as necessidades manifestadas pelos clientes.

Posto isto, como os níveis de produção são menores comparativamente ao que acontecia na primeira metade do século XX e porque cada vez mais recorrentemente procura-se dotar os produtos de atributos que os diferenciem, o SPC é extremamente útil para uma produção eficiente e com sucesso. Como tal, os desenvolvimentos mais recentes na temática do SPC adaptados às “pequenas produções”, caracterizam-se por poderem controlar processos cuja quantidade produtiva é baixa e diversificada, assim como adaptam-se ao controlo conjunto de diversos produtos.

### 1.2 - Relevância do Tema

Acompanhando as filosofias actuais de mercado a nível de competitividade a todos os níveis, seja através da redução de desperdício até ao nível da certificação, as empresas cada vez mais têm a necessidade de adoptar ferramentas das ciências empresariais, como é o caso do SPC. Em suma, o objectivo é sempre melhorar, otimizar e aumentar a competitividade, tornando as empresas capazes de atingirem o sucesso empresarial.

Portanto com o panorama socioeconómico actual, surgiu a ambiciosa oportunidade de inserir as técnicas do Controlo Estatístico do Processo na Mitsubishi Fuso Truck Europe (MFTE), não só pelo desafio abrangente de ser uma indústria automóvel, como também por possibilitar o estudo em diversos aspectos dentro da temática do SPC.

### 1.3 - Objectivos

O presente trabalho tem uma grande componente prática, onde se procura adequar as ferramentas do Controlo Estatístico do Processo a situações encontradas numa indústria automóvel. Para isso é necessário uma investigação a respeito do estado dos processos seleccionados para o estudo, propondo sempre que possível propostas de melhoria.

Todavia, a temática central deste trabalho baseia-se na apresentação dos conceitos do SPC tradicional, de uma abordagem alternativa do SPC e no estudo de processos com dados não Normalmente distribuídos.

Sendo assim, na presente dissertação os objectivos centrais são os seguintes:

1. Apresentação da revisão bibliográfica relativamente à temática do SPC no âmbito do controlo estatístico tradicional e de “pequenas produções”. Por outro lado, pretende-se dar relevância para o controlo estatístico para dados não Normalmente distribuídos.
2. Adaptar os conceitos teóricos do SPC aos processos seleccionados na Mitsubishi Fuso Truck Europe.
3. Avaliar o estado actual dos processos.
4. Auxiliar na proposta de medidas correctivas e de melhoria.

#### 1.4 - Estrutura

O presente trabalho divide-se em 6 capítulos que são caracterizados pelo seguinte:

Capítulo 1, que se caracteriza pela introdução de toda a dissertação, no que respeita à relevância e enquadramento da temática central. Também é referida a justificação do tema e são citados os objectivos centrais da dissertação e a sua própria estrutura.

Capítulo 2, é denominado por Controlo Estatístico do Processo, onde se faz uma breve apresentação do conceito de qualidade e como é que o SPC se insere nesse conceito. Neste capítulo da dissertação elabora-se uma descrição exaustiva do controlo estatístico tradicional, apresentando-se os princípios subjacentes à construção e análise das cartas de controlo. São também descritos os fundamentos matemáticos das cartas de controlo tradicionais, as condições de aplicação dessas cartas, nomeadamente a independência e Normalidade dos dados e a forma de análise de capacidade dos processos. Por fim é abordado a forma de tratamento de dados não Normais no SPC, assim como a análise de capacidade a efectuar nestes casos.

O capítulo 3, é designado por “Pequenas Produções”, onde se faz a apresentação da metodologia do SPC para as “pequenas produções”, referindo-se as cartas das diferenças, as cartas  $Z/W$  e as cartas  $Q$ , fazendo-se também alusão aos respectivos modos de análise de capacidade do processo.

O capítulo 4, designado por Caracterização da Empresa, faz uma breve apresentação da empresa Mitsubishi Fuso Truck Europe, que serviu de base à parte experimental desta dissertação.

O capítulo 5, denominado por Parte Experimental, consiste na apresentação dos processos a estudar e uso dos conceitos apresentados nos capítulos 2 e 3 para investigação e melhoria dos mesmos processos. São então aplicados os conceitos do SPC tradicional, dando-se especial ênfase, quando necessário ao estudo de processo com dados não Normalmente distribuídos. O SPC para “pequenas produções”, é também utilizado sempre que necessário.

O Capítulo 6, denominado por Conclusões e Recomendações, consiste na apresentação de conclusões finais no âmbito do controlo estatístico para o caso prático apresentado na dissertação e a recomendação de trabalhos futuros na área do SPC para a Mitsubishi Fuso Truck Europe.

## Capítulo 2 - Controlo Estatístico do Processo

---

### 2.1 - Introdução

Neste capítulo é efectuada a descrição teórica sobre o Controlo Estatístico do Processo (SPC), relativamente à forma como surge a nível histórico e como se insere no âmbito da temática da qualidade, reflectindo-se a respeito do seu real valor e importância para as empresas e para o mercado extremamente competitivo do século XXI.

Após a referência histórica e da reflexão sobre o impacto nas empresas, são apresentados diversos conceitos da abordagem tradicional do Controlo Estatístico do Processo, a nível de conceito, metodologia e condições de aplicabilidade, assim como se faz a descrição da forma de análise da capacidade dos processos no âmbito do controlo estatístico.

Por fim, dá-se especial atenção à problemática da não Normalidade dos dados, descrevendo-se alguns procedimentos adequados para tratar a distribuição não Normal dos dados, assim como a respectiva forma de análise da capacidade de processos.

### 2.2 - Conceito de Qualidade

Tendo em conta o mercado global e a crescente competitividade empresarial, as empresas têm cada vez maior necessidade de tomar medidas estratégicas para se fortalecerem face a problemas económicos, sociais e muitas vezes políticos. Como tal, muitas empresas apostam na qualidade como uma ferramenta estratégica para fidelizar e atrair os clientes, assim como tornarem-se cada vez mais eficientes e competitivas.

Doty (1997) afirma que a qualidade significa muitas coisas para diferentes pessoas, sendo que essas muitas coisas podem variar consoante as circunstâncias. A nível industrial a qualidade está relacionada com a possibilidade de o produto ou processo se encontrar dentro da especificação técnica, atingindo mais facilmente a satisfação dos clientes e ou consumidores.

Segundo Gomes (2004), o conceito de qualidade aceite nos dias de hoje é um resultado conjunto dos estudos desenvolvidos por diversas entidades preponderantes para o desenvolvimento e evolução da qualidade: Deming, Juran, Feigenbaum, Crosby, Taguchi e Ishikawa, entre outros. Cada uma destas personalidades contribuiu significativamente para o conceito da qualidade através de técnicas específicas, que apesar de nem sempre concordantes, complementam-se em diversos níveis:

- Gestão integrada dos colaboradores a todos os níveis hierárquicos.
- Autonomia dos colaboradores.
- Gestão baseada em factos.
- Ênfase nos clientes.

Posto isto, a qualidade é considerada como algo que vai de encontro às necessidades dos clientes, ou seja, um produto ou serviço que vai ao encontro, ou até mesmo, por vezes, supera as expectativas dos clientes.

Em suma, o conceito de qualidade é algo que está inerente ao actual panorama empresarial, sendo que neste âmbito Gomes (2004) refere que reconhecer qualquer tipo de falha, denota preocupação com a qualidade, o que leva de novo ao conceito de qualidade.

### 2.3 - Breve Evolução Histórica – Uma Necessidade de Qualidade

Segundo Montgomery (2001) a noção de qualidade sempre esteve intrínseca na humanidade de uma forma conceptual, mais que não seja na forma como se deseja um produto ou serviço.

Pereira e Requeijo (2008) dão como exemplo da preocupação com a qualidade as grandiosas obras da humanidade: pirâmides egípcias, templos gregos, teatros gregos e as diversas construções romanas. Estes autores acrescentam que a qualidade a nível comercial remonta a antes do século XVIII, onde os artesãos procuravam realizar as suas funções de forma corporativa, executando funções de concepção, execução, venda e assistência pós-venda. A partir do século XVIII, com a Revolução Industrial surgem os primeiros ambientes fabris, dando-se início à produção em massa, o que levou a que muitos artesãos passassem a desempenhar funções de operadores fabris. A partir de então e até o início do século XX a produção em massa tornou-se uma realidade, permitindo-se então a colocação no mercado de produtos a preços cada vez mais baixos e em maior número, mas que por vezes a produção apresentava falhas de qualidade.

Quesenberry (1997) menciona que no fim do século XIX e início do século XX, associado à produção industrial, surgem os princípios estatísticos extremamente importantes para o desenvolvimento do conceito actual de qualidade. Em consequência dos desenvolvimentos estatísticos, a partir de 1924 foram introduzidos na *Electric's Bell Telephone Laboratories* por Walter A. Shewhart as cartas de controlo.

Ainda durante os anos 20, Harold F. Dodge e Harry G. Homing também da mesma empresa que Shewhart estabeleceram o método da inspecção por amostragem em detrimento da inspecção a 100%, que segundo Doty (1997) era um dos maiores problemas da qualidade até então.

Entre diversos autores, Doty (1997), Quesenberry (1997), Gomes (2004) e Pereira e Requeijo (2008) fazem alusão à necessidade dos Estados Unidos durante a 2ª Guerra Mundial garantirem a produção de material bélico com níveis satisfatórios de eficiência e segurança, pelo que se procurou melhorar e desenvolver os conceitos estatísticos, sendo que no período pós-guerra essa evolução e necessidade de recorrer ao controlo da qualidade não foi seguida.

Em contrário, após a 2ª Guerra Mundial, o Japão encontrava-se com uma grave crise económica e social, tendo tomado diversas decisões estratégicas para colmatar esses graves problemas. Sendo assim, o Japão formou a União de cientistas e Engenheiros Japoneses (JUSE), cuja organização convidou Edwards Deming e Joseph Juran para divulgar os princípios de qualidade a nível de controlo estatístico e impacte nos custos

e lucros de uma organização. O forte interesse pelas técnicas da qualidade proporcionou ao Japão tornar-se uma forte potência económica, conseguindo liderar em vários sectores o mercado ocidental na década de 80 do século XX.

A partir dos conhecimentos adquiridos através das experiências nos Estados Unidos e Japão, Deming adopta a filosofia de que os problemas de qualidade numa organização dependem do empenho contínuo da gestão de topo, como se pode verificar nos 14 princípios da sua própria filosofia – *Melhoria Contínua da Qualidade*, referenciados em diversas obras tais como Doty (1996), Quesenbery (1997), Landesberg (1999), Montgomery (2001), Gomes (2004) e Pereira e Requeijo (2008).

TABELA 2.1 - DIMENSÕES DA QUALIDADE

<b>Os 14 princípios da Melhoria Contínua da Qualidade</b>	
1.	Propósito de melhoria contínua de produtos ou serviços.
2.	Não devem ser aceites produtos não conformes, matérias-primas de défice de qualidade e mão-de-obra não qualificada.
3.	Acabar com a dependência da inspecção em massa.
4.	Terminar com a prática de decidir com preços mais baixos, em alternativa minimizar o custo total do ciclo de vida do produto. Deve-se estabelecer relações de longo prazo com fornecedores de processo.
5.	Melhorar continuamente o processo produtivo, melhorando a qualidade e reduzindo custos.
6.	Instituir programas de treino e formação.
7.	Intervenção integrada da supervisão, gestão e operadores.
8.	Criar clima de confiança dentro das organizações.
9.	Funcionamento integrado dos diferentes departamentos de uma empresa.
10.	Eliminar objectivos individuais dos trabalhadores.
11.	Eliminar com a prática da gestão por objectivos.
12.	Eliminar barreiras que impeçam a um colaborador o sentimento de orgulho na organização em que trabalha.
13.	Formação contínua das técnicas estatísticas.
14.	Envolver todos os colaboradores no processo de evolução de uma empresa

Doty (1996), Montgomery (2001) e Gomes (2004) fazem referência ao facto de Juran ter criado um modelo explicativo das séries de custos inerentes à qualidade extremamente útil para justificar os investimentos em melhoria da qualidade, envolvendo o planeamento, relações com fornecedores, controlo da produção, inspecção e teste e relações com clientes ou consumidores. Seguidamente são apresentados o tipo de custos referentes ao modelo de custos da qualidade proposto por Juran.

- Custos de prevenção: planeamento e engenharia da qualidade, teste de novos produtos e processos, treino e formação, controlo do processo (aquisição e análise de dados), reportar informação aos colaboradores e desenvolver projectos de melhoria do processo produtivo e de motivação dos colaboradores.
- Custos de avaliação: inspecção da matéria-prima, inspecção final e testes e planos de manutenção de equipamento, auditorias, recolha e análise de dados, análise de produtos conformes e reportar dados proveniente do controlo do processo.

- Custos da falhas internas: trabalho e materiais usados para produção com defeito, reelaboração, repetição de testes, paragens de produção e sucata.
- Custos de falhas externas: reclamações, devoluções, custos de garantia e perda de negócio futuro.

Huggins (1998) refere um outro investigador extremamente importante no paradigma actual da qualidade e que dá pelo nome de Armand Feigenbaum. Feigenbaum introduziu o conceito da Qualidade Total em 1956, sendo que Gomes (2004) afirma que Feigenbaum através do referido conceito procurava integrar um sistema de gestão através do desenvolvimento, manutenção e melhoria da qualidade, reforçando assim as ideias de Juran.

Dentro desta filosofia da Qualidade Total, Feigenbaum (1991) define qualidade como o conjunto das características de produto ou serviço a nível de marketing, engenharia, produção e manutenção que através das quais esse mesmo produto ou serviço é capaz de satisfazer as expectativas dos clientes.

Entre outros autores, Montgomery (2001) e Gomes (2004) fazem referência às dimensões da qualidade desenvolvidas por Garvin em 1987. Estas dimensões da qualidade são extremamente importantes no conceito da qualidade actual, pois potenciam esta temática como elemento estratégico para as organizações, envolvendo de forma integrada gestores, colaboradores e clientes.

TABELA 2.2 - DIMENSÕES DA QUALIDADE

<b>Dimensões da Qualidade</b>	
<b>Performance</b>	Desempenho de um produto a nível das principais funções
<b>Fiabilidade</b>	Probabilidade de um produto deixar de funcionar da forma adequada
<b>Durabilidade</b>	Tempo de vida de um produto
<b>Serviço</b>	Relação com rapidez, cortesia, competência e facilidade em reparar um produto
<b>Aparência</b>	Apelo estético de um produto
<b>Funcionalidade</b>	Funções secundárias que complementam um produto
<b>Imagem</b>	Percepção subjectiva de um produto para o mercado
<b>Conformidade</b>	Adequação do produto às especificações

O conceito de qualidade, segundo Montgomery (2001) a nível científico acaba por ir ao encontro dos objectivos da ideia conceptual de qualidade que todas as pessoas têm. Ou seja, a sociedade tem uma noção de como deseja os produtos ou serviços, sabendo reconhecer quando as suas necessidades são superadas. Porém todos os requisitos das dimensões da qualidade só permitem satisfazer e superar as expectativas dos clientes se a organização funcionar de forma integrada e com um eficaz método de comunicação interno.

### 2.4 - Gestão pela Qualidade Total

Pelo facto de as organizações terem necessidade de ganhar vantagens competitivas no mercado global, há cada vez mais uma tendência de aderir a ferramentas e *knowhow* que suportem o sucesso empresarial nesse mesmo mercado global.

Neste âmbito, Montgomery (2001) refere que já desde a década de 80 do século passado que a preocupação com a competitividade empresarial tem vindo a aumentar. Uma das formas de as organizações atingirem elevado grau de eficiência é através da Gestão pela Qualidade Total, em inglês *Total Quality Management* (TQM), procurando assim superar expectativas dos clientes, colaboradores, accionistas e sociedade em geral.

A ideia do TQM não é mais do que o conjunto das ideias defendidas ao longo da evolução da qualidade, prevalecendo sempre, segundo Luxmore e Stendardi (1997), os seguintes aspectos:

- Liderança de gestão.
- Ênfase nos clientes.
- Trabalho de equipa.
- Abordagem analítica (uso de métodos estatísticos).
- Melhoria contínua.

No âmbito do TQM diversos autores, tais como Doty (1996), Quesenberry (1997), Montgomery (2001) e Pereira e Requeijo (2008) debruçam-se sobre a utilização por parte das empresas de algumas ferramentas desenvolvidas ao longo do século XX, como sejam as chamadas ferramentas básicas da qualidade, bastante úteis para resolver problemas com que as organizações se deparam:

- Fluxogramas – representação do fluxo de processo, onde é ilustrado de forma ordenada as diversas etapas, entradas e saídas;
- Folhas de registo e verificação – folhas de auxílio à análise de dados com formato previamente definido;
- Histograma – gráficos que permitem aferir relativamente à variação sumária dos dados, permitindo verificar a sua média. Estas ferramentas têm um carácter indicador do tipo de distribuição dos dados;
- Diagrama de Pareto – avaliar que causas contribuem de forma relevante para o problema em análise. Esta ferramenta assenta num gráfico de frequências representativo da contribuição relativa de cada causa para o problema;
- Diagrama de Causa-e-Efeito (Diagrama de Ishikawa ou Diagrama em Espinha de Peixe) – a partir de um problema, são identificadas causas e sub-causas;
- Gráfico de Dispersão – permite avaliar a correlação entre duas variáveis;
- Cartas de Controlo – ferramentas gráficas extremamente potentes que permitem analisar estabilidade e variabilidade dos processos. Este tipo de ferramentas permite fazer um acompanhamento dinâmico do processo, analisando a evolução dos dados.

Não é do âmbito da presente dissertação fazer uma explicação exaustiva de todas as ferramentas da qualidade, com excepção das cartas de controlo, pois fazem parte integrante da temática central desta dissertação, fazendo-se a sua explicação a partir da secção 2.5. É ainda de referir que serão também aplicados no presente trabalho os histogramas e diagramas de causa-e-efeito, como ferramentas complementares ao estudo desenvolvido neste trabalho.

## 2.5 - Controlo Estatístico do Processo

O Controlo Estatístico do Processo, também conhecido por SPC (*Statistical Process Control*) foi inicialmente desenvolvido por Shewhart (1931). Esta ferramenta é extremamente poderosa para o controlo de processos de empresas das mais variadas áreas, tendo sido alvo de enriquecedoras obras por parte de diversos investigadores, passando-se a citar entre outros Burr (1976), Duncan (1986), Juran e Gryna (1993), Pitt (1994), Doty (1996), Quesenberry (1997), Montgomery (2001) e Pereira e Requeijo (2008).

O controlo estatístico permite aferir da variabilidade de determinado processo, assim como fazer uma análise do estado do processo em torno de um valor nominal e entre o intervalo de especificação, isto é, análise da capacidade do processo.

As características da qualidade, ou seja, os elementos que em determinado processo são estudados podem ser de três tipos (Montgomery, 2001):

- Físicos: comprimento, peso, tensão, viscosidade;
- Sensoriais: aparência, cor, tacto;
- Orientação temporal: fiabilidade, durabilidade.

Estas características podem interagir com o processo isoladamente ou em conjunto com as diversas dimensões da qualidade, assim como podem estar relacionadas entre si.

A escolha das características a estudar deve ser feita de forma criteriosa, a partir de um conhecimento alargado e aprofundado de um processo produtivo, repartindo-o em pequenos processos e seleccionando-se os processos mais críticos. A partir de então é pertinente a construção por exemplo dos chamados planos de controlo. Nestes planos faz-se a identificação das características susceptíveis de se estudar estatisticamente, com informações a nível de frequência de amostragem, dimensões de amostras, especificações técnicas e equipamento de medição.

No que respeita ao SPC, mais precisamente a abordagem tradicional, consiste na informação obtida que é avaliada em representações gráficas, designadas por cartas de controlo que permitem avaliar estabilidade dos processos.

Segundo Doty (1996), o SPC permite identificar possíveis fontes para ocorrer variações nos processos: equipamento, matéria-prima, inspecção de qualidade, mão-de-obra, meio ambiente, métodos, metrologia, engenharia e gestão (sistema ou erros organizacionais).

Dentro destas fontes de variação poderão surgir dois tipos de causas de variação:

- Causas comuns: variação que afecta os processos, mesmo encontrando-se sob controlo estatístico e que caracterizam os dados aleatórios de um processo segundo uma distribuição de probabilidade. A probabilidade de ocorrência destas causas é normalmente reduzida através de decisões da gestão de topo, pois o sistema em que o determinado processo está inserido poderá sofrer algumas alterações (novos equipamentos, alteração de fornecedores, programa de formação e treino).

- Causas especiais de variação: variação deve-se a facto esporádicos, que afectam o desempenho em maior escala que as causas comuns. Quando aparece uma causa especial diz-se que o processo não está sob controlo estatístico. Estas causas são normalmente detectadas e corrigidas pelos operacionais relacionados com o processo específico.

Porém é sempre imprescindível, para o sucesso do SPC, uma marcada liderança de gestão, uma equipa de trabalho, formação a todos os níveis de colaboradores, ênfase pela melhoria contínua e um eficiente mecanismo de comunicação e de acção.

Neste âmbito Montgomery (2001) diz que

*“...gestão estratégica da qualidade numa organização será mais eficiente quando todas as individualidades de uma organização tiverem compreendido as ferramentas básicas de melhoria da qualidade.”*

### 2.5.1 - Cartas de Controlo

Tendo por base o conceito de controlo estatístico, Ledolter e Burril (1999) referem que as cartas de controlo são um método gráfico para determinar se o processo é estável, isto é, se o processo está sob controlo estatístico durante um período de tempo.

Na figura 2.1 está representada uma carta de controlo típica com a presença do limite superior de controlo (LSC), do limite inferior de controlo (LIC) e da linha central (LC). Assim como a representação da estatística  $\omega$  em cada instante de tempo  $t$ .

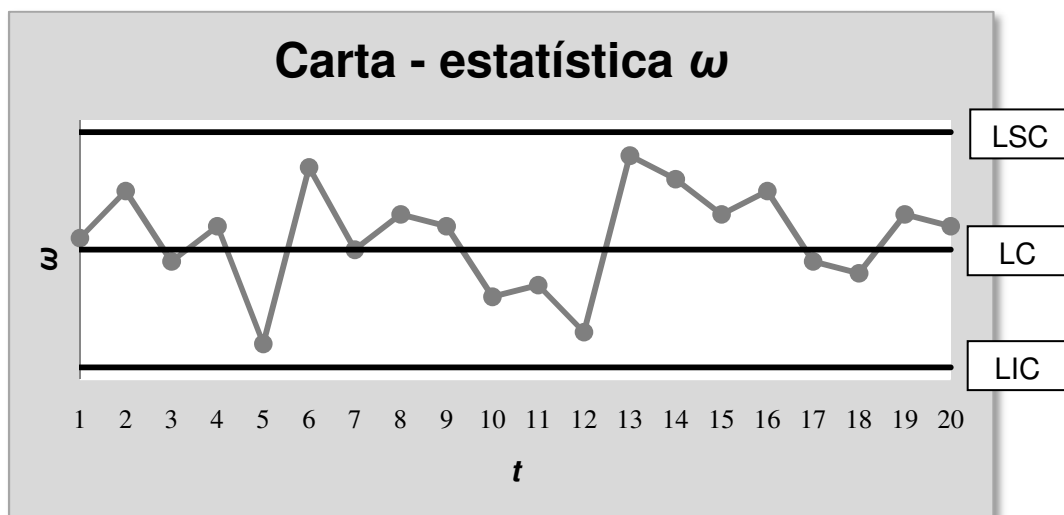


FIGURA 2.1 - CARTA DE CONTROLO

Os limites de controlo estão equidistantes da linha central por uma diferença de  $3\sigma_\omega$  se for assumida a distribuição Normal dos dados relativos à variável aleatória  $\omega$ , isto é:

$$\begin{aligned}LSC_\omega &= \mu_\omega + 3\sigma_\omega \\LC_\omega &= \mu_\omega \\LIC_\omega &= \mu_\omega - 3\sigma_\omega\end{aligned}\tag{2. 1}$$

Encontrando-se os limites de controlo com uma diferença em relação ao parâmetro de localização  $\mu_\omega$  de  $3\sigma_\omega$ , significa que a probabilidade de um ponto estar fora do intervalo definido pelos limites de controlo ([LIC;LSC]) é de 0,27%, ou por outro lado, a probabilidade de um ponto se situar entre os limites de controlo é de 99,73%. Caso um ou mais pontos não pertençam ao intervalo definido por [LIC;LSC] pode-se afirmar que o processo não está sob controlo estatístico, denotando desde já uma causa especial.

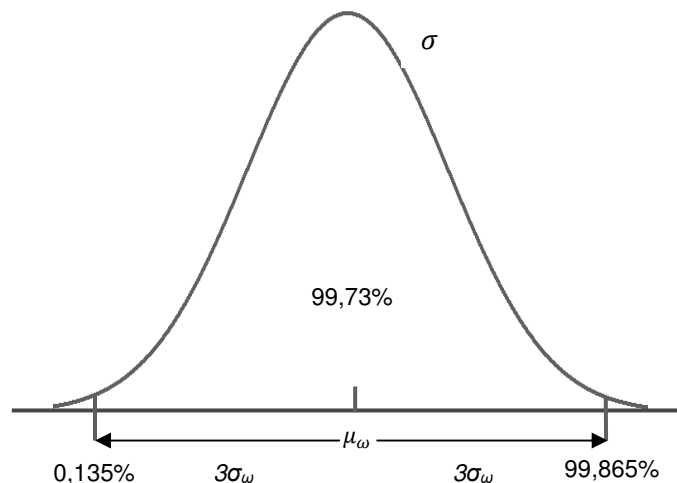


FIGURA 2.2 - APRESENTAÇÃO DOS PERCENTIS, ENTRE OS QUAIS É ADMISSÍVEL A EXISTÊNCIA DO PROCESSO

Segundo Montgomery (2001), a averiguação relativamente a um processo estar sob controlo estatístico ou não, está fortemente relacionada com um teste de hipóteses. Seja a hipótese a ser estudada  $H_0$ , que será assumida como verdadeira a menos que os dados amostrais apresentem evidência contrária. Sendo assim, no caso do controlo estatístico é como se fizesse um teste de hipóteses a cada ponto estar ou não fora do intervalo definido pelos limites de controlo.

Analogamente ao teste de hipóteses, existem erros associados ao se interpretar as cartas de controlo, pois veja-se que a probabilidade de 0,27% está associada à probabilidade de um ponto pertencer à distribuição estatística que se está a controlar e que ao mesmo tempo está fora do intervalo definido pelos limites de controlo. Esta probabilidade pode ser designada pelo risco do produtor, ou seja, a probabilidade de se cometer um erro do tipo I ( $\alpha = P(\text{Rejeitar } H_0 | H_0 \text{ Verdadeira})$ ). A partir do conceito da probabilidade de 0,27% e conseqüente risco do produtor pode-se introduzir a noção de *ARL* (*Average Run Length*), que representa o número médio de pontos

representados numa carta antes de ocorrer um ponto fora do intervalo definido por [LIC;LSC].

Sendo o  $ARL_{Em\ controlo}$ , isto é, com o processo sob controlo estatístico igual a 370 ( $ARL_{Em\ controlo} = \frac{1}{\alpha}$ ), significa que de 370 em 370 pontos, em média, considera-se erradamente um ponto não pertencente à distribuição que se está a controlar, ocorrendo assim a existência do chamado *falso alarme*.

Por outro lado, um  $ARL_{Fora\ de\ controlo}$  já será dado pela equação  $ARL_{Fora\ de\ controlo} = \frac{1}{1-\beta}$ , em que  $\beta$  representa a probabilidade de se cometer o erro do tipo II, isto é,  $\beta = P(\text{Não Rejeitar } H_0 | H_0 \text{ Falsa})$ .

Quando um processo está sob controlo estatístico deseja-se que o  $ARL_{Em\ controlo}$  seja o maior possível para que a ocorrência de falsos alarmes não seja frequente. Pelo contrário, quando o processo não está sob controlo, interessa detectar mais rapidamente detectar causas especiais e como tal o  $ARL_{Fora\ de\ controlo}$  deverá ser o menor possível.

Com a necessidade de detectar causas especiais e otimizar a interpretação das cartas de controlo houve a necessidade de definir regiões nas cartas de controlo. Nesta dissertação optou-se pelas regras da Western Electric, em que são sugeridas seis zonas de divisão das cartas denominadas pelas zonas A, B e C de cada lado da linha central (figura 2.3).

Pitt (1994) apresenta uma série de critérios para detecção de causas especiais, porém nesta Dissertação optou-se por considerar as regras da norma ISO 8258:1991 (tabela 2.3) para detecção de causas especiais. Esta norma fundamenta-se nas regras da Western Electric.

TABELA 2.3 - REGRAS ADOPTADAS PARA DETECÇÃO DE CAUSAS ESPECIAIS DE VARIAÇÃO

<b>Regras da norma ISO 8258:1991 para detecção de causas especiais</b>	
<b>Regra 1</b>	Um ponto fora do intervalo definido pelos limites de controlo
<b>Regra 2</b>	Nove pontos consecutivos do mesmo lado da linha central
<b>Regra 3</b>	Seis pontos consecutivos no sentido descendente ou ascendente
<b>Regra 4</b>	Catorze pontos consecutivos crescendo e decrescendo alternadamente
<b>Regra 5</b>	Dois de três pontos consecutivos na zona A do mesmo lado da linha central
<b>Regra 6</b>	Quatro de cinco pontos consecutivos na zona B ou A do mesmo lado da linha central
<b>Regra 7</b>	Quinze pontos consecutivos na zona C acima e abaixo da linha central
<b>Regra 8</b>	Oito pontos consecutivos de ambos os lados da linha central, sem nenhum na zona C

Na figura 2.3 estão exemplificados os diferentes padrões referenciados pela norma ISO 8258:1991 para detecção de causas especiais, isto é, de padrões não aleatórios.

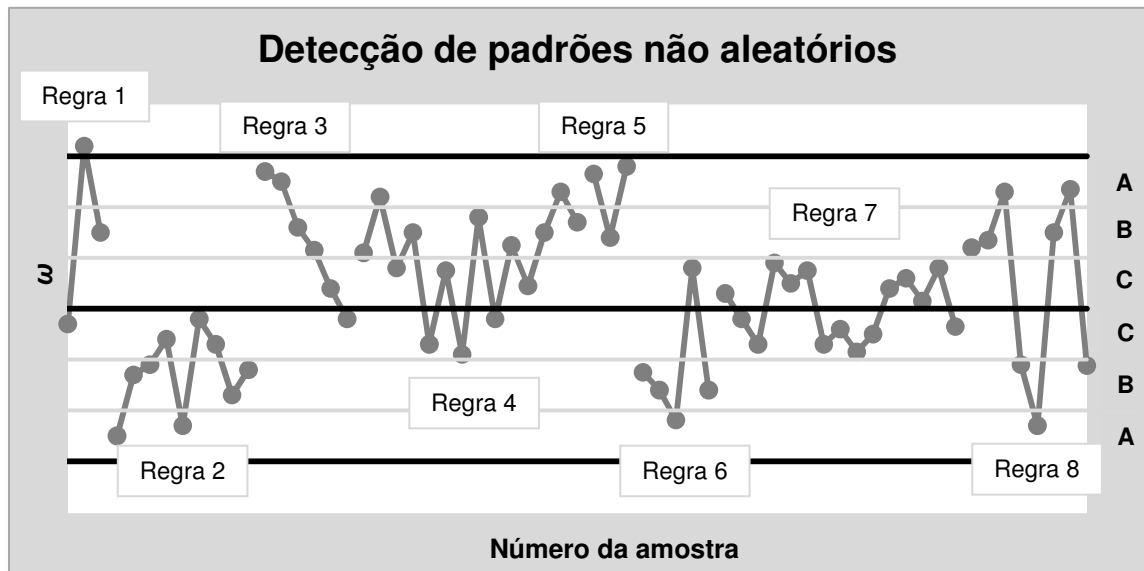


FIGURA 2.3 - CARTA DE CONTROLO COM IDENTIFICAÇÃO DAS 6 ZONAS DE REFERÊNCIA E COM EXEMPLIFICAÇÃO DAS CAUSAS ESPECIAIS DE VARIAÇÃO

Algo a considerar e que foi referenciado por Quesenberry (1997) e Pereira e Requeijo (2008) é que o controlo estatístico de processo faz-se em duas etapas: a Fase 1 em que não se conhece o comportamento habitual do processo (controlo retrospectivo) e a Fase 2 em que se faz o controlo e acompanhamento do processo (monitorização), sendo que esta Fase só se inicia quando na Fase 1 o processo se encontrar sob controlo estatístico e com capacidade para produzir de acordo com a especificação técnica.

Há ainda a considerar que na Fase 1, sempre que ocorra uma causa especial de variação deve-se eliminar o ponto responsável por essa causa, construindo-se assim a carta revista, com os respectivos limites de controlo e linha central recalculados. Na Fase 2 quando ocorre uma causa especial deve-se-á identificar a razão dessa causa, com o objectivo de tomar as devidas medidas correctivas necessárias, retomando-se então o estudo.

Na Fase 1 são estimados os parâmetros do processo (localização -  $\mu$  e dispersão -  $\sigma$ ) necessários para a realização da Fase 2.

Na figura 2.4 está representado o que essencialmente distingue as duas Fases mencionadas do SPC.

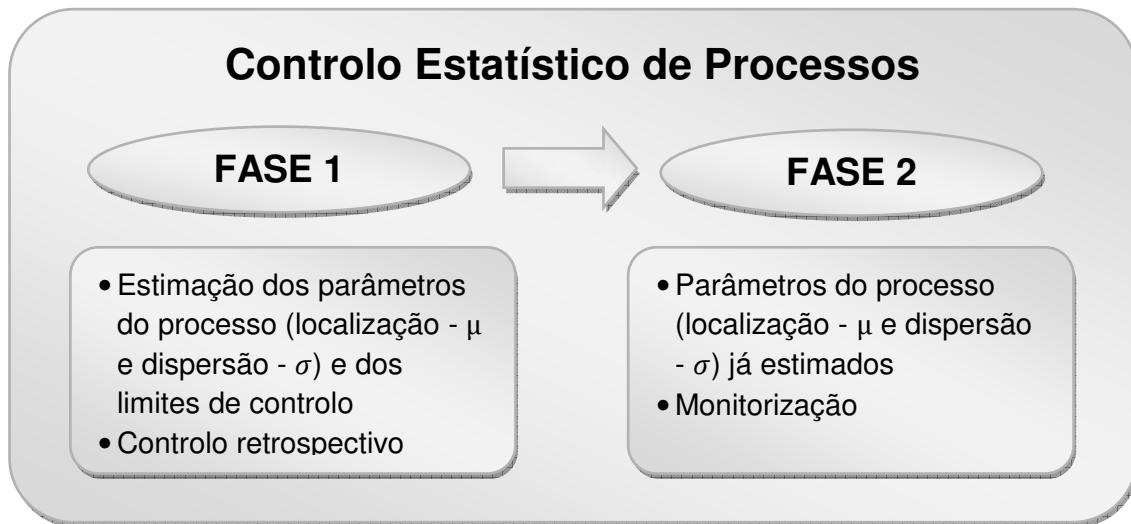


FIGURA 2.4 - FASES DO SPC

### 2.5.1.1 - Recolha de Dados

Para a implementação do controlo estatístico dos processos, após selecção das características da qualidade a estudar, deve-se em primeiro lugar fazer um planeamento a nível da forma da recolha de dados, pois deve-se ter em consideração o número de amostras ( $m$ ) a registar na Fase 1, a dimensão das respectivas amostras ( $n$ ) e a frequência de amostragem.

É extremamente importante referir que com o aumento da dimensão das amostras, a sensibilidade das cartas aumenta, tornando-se assim mais fácil detectar pequenas alterações nos parâmetros do processo.

Pereira e Requeijo (2008) afirmam que as diferentes amostras devem ser provenientes de uma mesma população. Montgomery (2001) refere que para evitar problemas de mistura de populações, nos casos em que se pretende controlar algum *output* de várias máquinas deve-se fazer o estudo para cada máquina individualmente. O mesmo autor, ainda referindo-se ao problema de mistura de populações diz que se numa máquina houver vários operadores deve-se estudar cada processo separadamente para cada operador, evitando-se assim possíveis misturas de população e consequentemente interpretações erróneas relativamente às cartas de controlo.

No que respeita à frequência de amostragem, esta deve ser efectuada em intervalos previamente definidos e em número de vezes representativo do processo. Sendo que o autor da presente dissertação assume que sempre que um processo se encontre estável e nomeadamente na Fase 2 do controlo estatístico é plausível a diminuição da frequência de amostragem, desde que essa frequência continue representativa do processo, pois muitas vezes é dispendioso para uma organização manter um elevado número de inspecções em vários processos.

A recolha de dados na Fase 1 deve ter em atenção ao número de observações, pois os parâmetros do processo e os limites de controlo são estimados com base nas observações, e como é facilmente perceptível o número de observações para ser representativo de um processo deverá ser em número considerável. Tendo em

consideração diversos autores, 100 valores individuais para a Fase 1 é o mínimo aceitável, sendo esse o pressuposto seguido no presente trabalho.

### 2.5.1.2 - Tipos de Cartas de Controlo

É de realçar que as cartas de controlo podem ser de dois tipos:

- Variáveis, ou seja, as características são mensuráveis (físicas e de orientação temporal);
- Atributos, isto é, características cujos valores apresentam valores discretos (0,1, 2, 3).

Quando as características são variáveis contínuas constrói-se uma carta para o parâmetro de localização e outra para a dispersão, enquanto quando as características são do tipo atributos apenas se constrói uma carta representativa do processo.

Porém consoante a natureza das características e a forma de obtenção de dados, existem diversos tipos de cartas de controlo tradicionais dentro das cartas para variáveis e para atributos. As cartas referentes ao controlo estatístico tradicional são referidas na figura 2.5.

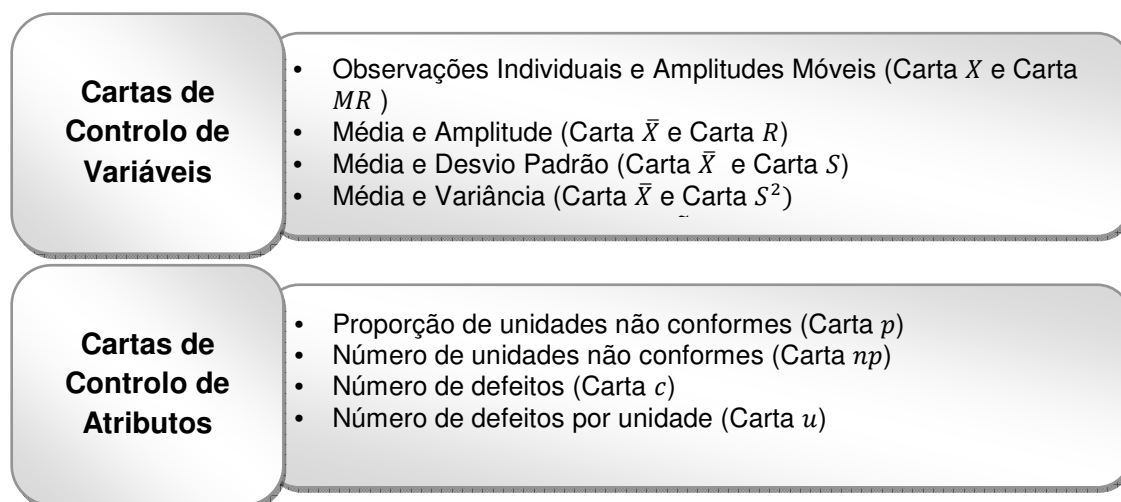


FIGURA 2.5 - TIPOS DE CARTAS DE CONTROLO

Na presente dissertação apenas se faz a explicação pormenorizada das cartas de controlo de variáveis, pois não foi estudada nenhuma característica por atributos na parte experimental.

### 2.5.1.3 - Procedimento para a Construção das Cartas de Controlo

Não sendo obrigatório determinados passos, existe uma metodologia mais ou menos necessária para implementar as cartas de controlo com eficiência, isto é, que possa traduzir o comportamento de um processo e tomar medidas correctivas quando necessário. Contudo é sempre necessário ter em atenção que o principal objectivo das

cartas de controlo é a redução da variabilidade, procurando-se cada vez mais obter processos estáveis e susceptíveis de implementar melhorias.

Para a Fase 1 Juran e Gyra (1993) referem os seguintes passos para implementação das cartas de controlo:

1. Seleccionar a característica da qualidade, dando prioridade a características críticas e ou que contribuem significativamente para o produto final, assim como escolher o método de medição mais adequado.
2. Escolher o tipo de carta de controlo
3. Estimar a frequência de amostragem, tendo em consideração a dimensão das amostras.
4. Providenciar um sistema de registo de dados
5. Estimar os parâmetros estatísticos para determinar a linha central e os limites de controlo.
6. Fazer a representação gráfica e interpretar os resultados.

Doty (1997) propõe os seguintes passos para implementação das cartas de controlo na Fase 1, podendo dizer que completa de alguma forma o que foi referido por Juran e Gyra (1993).

1. Seleccionar a característica da qualidade – características relacionadas com processos críticos.
2. Desenvolver um plano de qualidade – adoptar um adequado método de medição, ver a disponibilidade de medição e atribuir a função de inspecção da qualidade a alguém.
3. Escolher o tipo da carta de controlo – Se por atributos ou variáveis
4. Escolher as cartas.
5. Estabelecer a frequência de amostragem.
6. Estabelecer a dimensão da amostra
7. Estabelecer modos de recolha de dados e construir folhas de registo de dados.
8. Determinar limites de controlo e linha central.
9. Construir as cartas de controlo
10. Averiguar se o processo está sob controlo estatístico, não apresentado causas especiais de variação. Se apresentar há que construir os limites de controlo e linha central para as cartas revistas. Após ter sido encontrada a estabilidade do processo deve-se fazer o estudo de capacidade do processo.

O procedimento adoptado para a Fase 2 considera a característica já seleccionada, o plano de controlo e o tipo de carta. Sendo assim, Pereira e Requeijo (2008) enunciam o seguinte procedimento a aplicar na Fase 2 do controlo estatístico.

1. Representar no gráfico o LIC, LC e LSC definidos na Fase 1.
2. Recolher a amostra  $i$ , determinar a estatística  $\omega_i$  e representar o valor no gráfico.
3. Verificar se esse valor corresponde a uma causa especial de variação.
4. Caso se identifique uma situação fora de controlo, deve-se identificar a causa e tomar a respectiva medida correctiva.
5. Recolher a amostra  $i+1$ , determinar a estatística  $\omega_{i+1}$  e representar o valor no gráfico.
6. Proceder sequencialmente de acordo com os pontos 3, 4 e 5.

### 2.5.2 - Cartas de Controlo de Variáveis – FASE 1 do SPC

Sempre que se possa controlar um processo em que as características são mensuráveis, ou seja, possuem valores contínuos, é extremamente vantajoso, pois é uma representação a nível numérico da evolução e comportamento de um processo. Por outro lado, qualquer registo que se faça perante uma escala contínua tem como desvantagem exigir mais formação a inspectores e uma recolha de dados rigorosa e pré-determinada.

Neste tópico procede-se à caracterização de cada uma das referidas cartas de controlo de variáveis, tendo em consideração que os limites de controlo só são calculados na fase 1, isto é, na fase de determinação dos parâmetros do processo ( $\mu$  e  $\sigma$ ).

#### 2.5.2.1 - Cartas de Controlo de Observações Individuais e Amplitudes Móveis

Neste tipo de cartas, as amostras ( $m$ ) têm dimensão 1 ( $n=1$ ), usando-se assim a carta de observações individuais (carta  $X$ ) para controlar a localização do processo, enquanto a dispersão é controlada pela carta de amplitudes móveis (carta  $MR$ ).

Este tipo de amostras deve sempre que possível evitar-se, pois como já foi referido anteriormente, a sensibilidade das cartas para detecção de causas especiais é maior, quanto maior for a dimensão das amostras. Porém recorre-se a este tipo de cartas nas seguintes situações:

- A natureza do processo a medir não permite a recolha de amostras com dimensão superior a 1.
- Os testes para recolha dos dados são destrutivos.
- Testes de inspecção são dispendiosos.

A carta  $X$  é composta pelas observações individuais, enquanto a carta  $MR$  representa a dispersão, através das amplitudes móveis. Normalmente as amplitudes móveis ( $MR_i$ ) são determinadas a partir de dois valores consecutivos da variável  $X$ .

$$MR_i = |X_i - X_{i-1}| \quad (2. 2)$$

Carta de observações individuais - Carta  $X$ :

- $LIC_X = \bar{X} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2}$
  - $LC_X = \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^m X_i}{m}$
  - $LSC_X = \bar{X} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2}$
- (2. 2)

Carta de amplitudes móveis - Carta  $MR$

- $LIC_{MR} = D_3 \overline{MR}$
  - $LC_{MR} = \overline{MR} = \frac{\sum_{i=2}^m MR_i}{m-1}$
  - $LSC_{MR} = D_4 \overline{MR}$
- (2. 3)

É ainda importante referir que quando se está perante uma carta de observações individuais, poder-se-á fazer uma análise preliminar relativamente às especificações, contudo isso não significa que o processo esteja sobre controlo estatístico.

Os valores de  $d_2$ ,  $D_3$  e  $D_4$  são obtidos através da tabela do anexo V e dependem do número de dados na determinação da amplitude móvel. Como já foi referido, habitualmente usam-se dois valores no cálculo da amplitude móvel, o que significa que os valores a retirar da tabela do anexo V correspondem aos de  $n=2$ .

### 2.5.2.2 - Cartas de Controlo da Média e Amplitude

Muito provavelmente este tipo de cartas é o mais usual, sendo as cartas mais básicas a nível de construção.

Para a construção de uma carta de controlo da média a estatística a ser controlada é a média de cada amostra  $i$ , isto é  $\bar{X}_i$ .

$$\bar{X}_i = \frac{\sum_{j=1}^n X_{ij}}{n} \quad (2. 4)$$

A estatística a ser controlada na carta de amplitude é a amplitude de cada amostra  $i$ , isto é  $R_i$ .

$$R_i = X_{max} - X_{min} \quad (2. 5)$$

Sempre que se está perante a Fase 1 do controlo estatístico os limites de controlo devem ser calculados.

Carta da média - Carta  $\bar{X}$ :

- $LIC_{\bar{X}} = \bar{X} - 3\sigma_{\bar{X}} = \bar{X} - 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \bar{X} - 3\frac{\bar{R}}{d_2\sqrt{n}} = \bar{X} - A_2\bar{R}$
  - $LC_{\bar{X}} = \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{X}_i}{m}$
  - $LSC_{\bar{X}} = \bar{X} + 3\sigma_{\bar{X}} = \bar{X} + 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \bar{X} + 3\frac{\bar{R}}{d_2\sqrt{n}} = \bar{X} + A_2\bar{R}$
- (2. 6)

Carta da amplitude - Carta  $R$ :

- $LIC_R = \bar{R} - 3\sigma_R = \bar{R} - 3d_3\sigma = \bar{R} \left(1 - 3\frac{d_3}{d_2}\right) = D_3\bar{R}$
  - $LC_R = \bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{X}_i}{m}$
  - $LSC_R = \bar{R} + 3\sigma_R = \bar{R} + 3d_3\sigma = \bar{R} \left(1 + 3\frac{d_3}{d_2}\right) = D_4\bar{R}$
- (2. 7)

Neste caso o estimador do desvio padrão do processo  $\sigma$  é  $\frac{\bar{R}}{d_2}$  e o desvio padrão da amplitude está relacionado com o desvio padrão do processo por  $\sigma_R = d_3\sigma$ . Os valores de  $d_2, d_3, A_2, D_3$  e  $D_4$  têm por base a dimensão da amostra e são obtidos pela tabela do anexo V.

### 2.5.2.3 - Cartas de Controlo da Média e Desvio Padrão

Como enunciado em 2.5.2.2, a amplitude amostral apenas tem em consideração o valor máximo e mínimo da amostra. Sendo assim, o desvio padrão é uma medida mais eficiente para fazer o controlo da dispersão de um processo uma vez que tem em consideração todos os valores da amostra. Por esta razão sempre que a dimensão da amostra seja 10 ou maior deve-se usar o desvio padrão para controlar a dispersão, em detrimento da amplitude que perde muita eficiência (Montgomery, 2001).

Carta da média - Carta  $\bar{X}$ :

- $LIC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - 3\sigma_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} - 3\frac{\bar{S}}{c_4\sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} - A_3\bar{S}$
  - $LC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{X}_i}{m}$
  - $LSC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + 3\sigma_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} + 3\frac{\bar{S}}{c_4\sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} + A_3\bar{S}$
- (2. 8)

Carta do desvio padrão - Carta  $S$ :

- $LIC_S = \bar{S} - 3\sigma_S = \bar{S} - 3\frac{\bar{S}}{c_4}\sqrt{1 - c_4^2} = B_3\bar{S}$
  - $LC_S = \bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^m S_i}{m}$
  - $LSC_S = \bar{S} + 3\sigma_S = \bar{S} + 3\frac{\bar{S}}{c_4}\sqrt{1 - c_4^2} = B_4\bar{S}$
- (2. 9)

O desvio padrão do processo  $\sigma$  pode ser estimado por  $\frac{\bar{S}}{c_4}$ . E o desvio padrão de  $S$ , isto é  $\sigma_S$  pode ser obtido por  $\sigma\sqrt{1 - c_4^2}$ .

Os valores de  $c_4, A_3, B_3$  e  $B_4$  dependem da dimensão da amostra e podem ser obtidos pela tabela do anexo V.

### 2.5.2.4 - Cartas de Controlo da Média e Variância

Em alternativa ao controlo da dispersão através de uma carta de desvio padrão, poder-se-á utilizar uma carta de variâncias desde que a dimensão das amostras seja constante.

Carta da média - Carta  $\bar{X}$ :

- $LIC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - 3\sqrt{\frac{\bar{S}^2}{n}}$
- $LC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{X}_i}{m}$  (2. 10)
- $LSC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + 3\sqrt{\frac{\bar{S}^2}{n}}$

Carta da variância - Carta  $S^2$ :

- $LIC_{S^2} = \frac{\bar{S}^2}{n-1} \chi_{(1-\alpha/2);n-1}^2$
- $LC_{S^2} = \bar{S}^2$  (2. 11)
- $LSC_{S^2} = \frac{\bar{S}^2}{n-1} \chi_{(\alpha/2);n-1}^2$

Sendo que  $\bar{S}^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^m S_i}{m}\right)^2$ .

### 2.5.2.5 - Cartas de Controlo da Mediana e Amplitude

A carta da mediana é menos utilizada do que a carta da média. Para uma determinação mais fácil da mediana utiliza-se regularmente para este tipo de cartas amostras constituídas por um número ímpar de elementos.

Na representação da carta apresentam-se todas as observações de cada amostra e une-se apenas os valores correspondentes à mediana de cada amostra.

Carta da mediana - Carta  $\tilde{X}$ :

- $LIC_{\tilde{X}} = \tilde{\bar{X}} - \tilde{A}_2 \bar{R}$
- $LC_{\tilde{X}} = \tilde{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^m \tilde{X}_i}{m}$  (2. 12)
- $LSC_{\tilde{X}} = \tilde{\bar{X}} + \tilde{A}_2 \bar{R}$

Carta do desvio padrão - Carta  $R$ :

- $LIC_R = D_3 \bar{R}$
- $LC_R = \bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m}$  (2. 13)
- $LSC_R = D_4 \bar{R}$

Pereira e Requeijo (2008) apresentam os valores da constante  $\tilde{A}_2$  para  $n = 3, 5, 7$  e  $9$ .

TABELA 2.4 - VALORES DAS CONSTANTES  $\tilde{A}_2$

$n$	3	5	7	9
$\tilde{A}_2$	1,187	0,691	0,508	0,412

### 2.5.3 - Estimação dos parâmetros do processo

Após verificação da estabilidade do processo na Fase 1 do controlo estatístico é possível estimar parâmetros do processo, isto é, média ( $\mu$ ) e desvio padrão ( $\sigma$ ) necessários para prosseguir para a fase seguinte do SPC.

TABELA 2.5 - ESTIMADORES DOS PARÂMETROS DO PROCESSO  $\hat{\mu}$  E  $\hat{\sigma}$

Cartas	Média ( $\hat{\mu}$ )	Desvio padrão ( $\hat{\sigma}$ )
Carta $\bar{X}$ e Carta $MR$	$\bar{\bar{X}}$	$\frac{\overline{MR}}{d_2}$
Carta $\bar{X}$ e Carta $R$	$\bar{\bar{X}}$	$\frac{\bar{R}}{d_2}$
Carta $\bar{X}$ e Carta $S$	$\bar{\bar{X}}$	$\frac{\bar{S}}{c_4}$
Carta $\bar{X}$ e Carta $S^2$	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{S}^2$
Carta $\tilde{X}$ e Carta $R$	$\bar{\tilde{X}}$	$\frac{\bar{R}}{d_2}$

### 2.5.4 - Cartas de Controlo de Variáveis – FASE 2 do SPC

Na Fase 2 os parâmetros do processo já foram estimados, podendo-se determinar então os limites de controlo e linha central através das expressões que seguidamente se faz referência na tabela 2.6.

É importante realçar que caso não se faça nenhuma alteração à dimensão das amostras os limites de controlo e linha central são iguais aos da Fase 1. Caso a dimensão amostral seja diferente na Fase 2 devem-se recalcular os limites em função da adequação dos parâmetros estimados à dimensão da amostra.

Tabela 2.6 - Limites de controlo das cartas de Shewhart na Fase 2

Carta de observações individuais - Carta $X$	Carta de amplitudes móveis - Carta $MR$
$LIC_X = \mu - 3\sigma$	$LIC_{MR} = D_1\sigma$
$LC_X = \mu$	$LC_{MR} = d_2\sigma$
$LSC_X = \mu + 3\sigma$	$LSC_{MR} = D_2\sigma$
Carta da média - Carta $\bar{X}$	Carta da amplitude - Carta $R$
$LIC_{\bar{X}} = \mu - A\sigma$	$LIC_R = D_1\sigma$
$LC_{\bar{X}} = \mu$	$LC_R = d_2\sigma$
$LSC_{\bar{X}} = \mu + A\sigma$	$LSC_R = D_2\sigma$
Carta da média - Carta $\bar{X}$	Carta do desvio padrão - Carta $S$
$LIC_{\bar{X}} = \mu - A\sigma$	$LIC_S = B_5\sigma$
$LC_{\bar{X}} = \mu$	$LC_S = c_4\sigma$
$LSC_{\bar{X}} = \mu + A\sigma$	$LSC_S = B_6\sigma$
Carta da média - Carta $\bar{X}$	Carta do desvio padrão - Carta $\bar{S}^2$
$LIC_{\bar{X}} = \mu - A\sigma$	$LIC_{\bar{S}^2} = \frac{\sigma^2}{n-1} \chi^2_{(1-\alpha/2);n-1}$
$LC_{\bar{X}} = \mu$	$LC_{\bar{S}^2} = \sigma^2$
$LSC_{\bar{X}} = \mu + A\sigma$	$LSC_{\bar{S}^2} = \frac{\sigma^2}{n-1} \chi^2_{(\alpha/2);n-1}$
Carta da mediana - Carta $\tilde{X}$	Carta do desvio padrão - Carta $R$
$LIC_{\tilde{X}} = \mu - A\sigma$	$LIC_R = D_1\bar{R}$
$LC_{\tilde{X}} = \mu$	$LC_R = d_2\bar{R}$
$LSC_{\tilde{X}} = \mu + A\sigma$	$LSC_R = D_2\bar{R}$

As constantes  $A$ ,  $d_2$ ,  $c_4$ ,  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $B_5$  e  $B_6$  dependem unicamente da dimensão  $n$  da amostra e são obtidos através da tabela do anexo V.

## 2.6 - Condições de Aplicabilidade das Cartas de Controlo

As cartas anteriormente mencionadas têm como requisitos que os dados sejam independentes e identicamente distribuídos com distribuição Normal (média  $\mu$  e variância  $\sigma^2$ ). Caso os dados não cumpram tais condições e se prosseguir com o controlo estatístico como referido até aqui, poder-se-ão retirar conclusões erróneas no que respeita à estabilidade dos processos. Sendo assim, seguidamente faz-se uma abordagem a métodos para identificar a aleatoriedade, a independência e a Normalidade dos dados.

### 2.6.1 - Aleatoriedade dos Dados

A não aleatoriedade dos dados poderá dever-se a inúmeros factores como por exemplo a correlação existente entre observações consecutivas ou desfasadas no tempo. Para a verificação da aleatoriedade dos dados Pereira e Requeijo (2008) referem os

seguintes métodos: *teste de Sequências*, *teste de Sequências Ascendentes ou Descendentes* e o *teste Modificado do Quadrado Médio das Diferenças Significativas*.

### 2.6.2 - Auto-Correlação dos Dados

Ao afirmar-se que os dados não são independentes é o mesmo que afirmar que os dados são auto-correlacionados, sendo muitas vezes a causa da não aleatoriedade dos dados. Por outro lado, um processo pode gerar dados inerentemente auto-correlacionados, devido à dinâmica natural dos processos.

Tendo em conta que para as características seleccionadas na parte experimental da presente dissertação não ser necessário estudar a auto-correlação pelo facto de que pela sua caracterização o processo naturalmente não apresenta correlação, apenas se faz referência ao modo de detecção de correlação de dados.

Existem diversas formas de detectar auto-correlação nos dados, sendo que o método mais conhecido e que neste ponto é abordado é através da construção de um correlograma, com base no cálculo da *Função de Auto-Correlação (FAC)* e da *Função de Auto-Correlação Parcial (FACP)*.

A problemática de correlação entre os dados surge muitas vezes quando os dados são gerados em pequenos intervalos de tempo, sendo que Montgomery (2001) aconselha que a auto-correlação seja obrigatoriamente verificada nas indústrias químicas, onde diversas características apresentam inércia, pois veja-se que os materiais misturados em tanques sofrem periodicamente alterações nas concentrações dos seus constituintes, repetindo-se de  $k$  em  $k$  observações a repetição de determinado padrão, podendo até ser essa repetição a ocorrência de pontos fora do intervalo definido por [LIC; LSC] e o processo esteja sob controlo estatístico, ou seja, ocorrência de falsos alarmes. Portanto o estudo da auto-correlação é de extrema importância nos processos cujo procedimento tenha influência no mesmo processo passado um período de tempo, como por exemplo a mistura de qualquer fluído num tanque.

#### 2.6.2.1 - Função de Auto-Correlação (FAC)

Para medir o grau de dependência de  $k$  observações utiliza-se o coeficiente de auto-correlação de desfasamento  $k$  ( $\rho_k$ ). Ao conjunto de coeficientes de auto-correlação  $\rho_k$ , com  $k=0,1,2,3$ , designa-se por *Função de Auto-Correlação (FAC)*.

$$\rho_k = \frac{\text{Cov}(X_t, X_{t+k})}{\text{Var}(X_t)} = \frac{\gamma_k}{\gamma_0} \quad (2.14)$$

$\text{Cov}(X_t, X_{t+k})$  - covariância entre as observações com desfasamento  $k$

$\text{Var}(X)$  - variância de  $X$

$\gamma_k$  – auto-covariância de desfasamento  $k$

$\gamma_0$  - auto-covariância de desfasamento  $k=0$

O valor estimado de auto-correlação amostral de desfasamento  $k$  é dado por.

$$r_k = \hat{\rho}_k = \frac{\hat{\gamma}_k}{\hat{\gamma}_0} = \frac{\sum_{t=1}^{N-k} (X_t - \bar{X})(X_{t-k} - \bar{X})}{\sum_{t=1}^N (X_t - \bar{X})^2}, \quad k = 0, 1, \dots \quad (2.15)$$

Ao conjunto formado pelos coeficientes de auto-correlação estimados  $r_k$  é designado por Função de *Auto-Correlação Estimada (FACE)*.

A representação gráfica de *FACE* em função de  $k$  permite averiguar se os dados da variável  $X$  são auto-correlacionados, sendo essa representação gráfica designada por correlograma.

O método de averiguação num correlograma é verificar se todos os valores estão contidos entre um determinado intervalo de confiança calculado com base no valor esperado ( $E(r_k) = 0$ ) e na variância de  $Var(r_k)$ .

$$Var(r_k) \approx \frac{1}{N} \sum_{v=-\infty}^{+\infty} (\rho_v^2 + \rho_{v+k} \rho_{v-k} - 4\rho_k \rho_v \rho_{v-k} + 2\rho_v^2 \rho_k^2) \quad (2.16)$$

em que como estimador de  $Var(r_k)$  define-se por

$$\hat{v} = Var(r_k) \approx \frac{1}{N} (1 + 2 \sum_{v=1}^{k-1} r_k^2) \quad (2.17)$$

O intervalo de confiança, para um nível de significância  $\alpha$ , é definido pela equação 2.19, sendo que  $r_k$  segue uma distribuição Normal reduzida.

$$-Z_{\alpha/2} \sqrt{\hat{v}} \leq r_k \leq Z_{\alpha/2} \sqrt{\hat{v}} \quad (2.18)$$

Caso todos os valores estejam contidos dentro do referido intervalo os dados não são previsivelmente auto-correlacionados.

### 2.6.2.2 - Função de Auto-Correlação Parcial (FACP)

Para um processo estacionário os dados podem ser descritos segundo modelos auto-regressivos (*AR*), modelos de médias móveis (*MA*) ou então pela mistura dos dois modelos (*ARMA*). Os processos não estacionários podem ser modelado através de um modelo *ARIMA*, que se transformam em modelos *ARMA* através do *operador das diferenças*  $\nabla$ .

Na presente dissertação não se faz a explicação teórica dos modelos matemáticos acima referenciados, pois não é necessário a sua aplicação, porém Del Castillo (2002) faz uma exaustiva descrição dos modelos matemáticos acima referenciados.

A função de auto-correlação parcial (*FAC*) pode dificultar a escolha do melhor modelo para descrever o processo, pois veja-se que num modelo *AR*, a *FAC* decresce sem

nunca atingir o valor zero, enquanto num modelo *MA*, a *FAC* decresce e atinge o valor zero a partir de determinada ordem de defasamento.

Define-se o coeficiente de auto-correlação parcial de ordem  $k$  ( $\Phi_{kk}$ ) pela correlação entre  $X_t$  e  $X_{t+k}$  com os efeitos das observações ( $X_{t+1}, X_{t+2}, \dots, X_{t+k-1}$ ) removidas. Sendo o conjunto de valores de  $\Phi_{kk}$  caracterizado por *Função de Auto-Correlação Parcial (FACP)*, em que  $k = 1, 2, \dots$

Para os modelos *AR(p)* (auto-regressivos de ordem  $p$ ), a auto-correlação parcial determina-se a partir das equações de Yulle-Walker

$$\begin{bmatrix} 1 & \rho_1 & \rho_2 & \dots & \rho_{k-1} \\ \rho_1 & 1 & \rho_1 & \dots & \rho_{k-2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \rho_{k-1} & \rho_{k-2} & \rho_{k-3} & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Phi_{k1} \\ \Phi_{k2} \\ \vdots \\ \Phi_{kk} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho_1 \\ \rho_2 \\ \vdots \\ \rho_k \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

Os coeficientes de auto-correlação parcial têm de ser estimados, pelo que os valores de  $\rho_k$  são substituídos pelos valores de  $r_k$  obtendo-se  $\hat{\Phi}_{kk}$ . Ao conjunto de coeficientes de auto-correlação parcial estimados denomina-se por *Função de Auto-Correlação Parcial Estimada (FACPE)*

Os coeficientes de auto-correlação parcial seguem aproximadamente uma distribuição Normal com média zero, sendo a variância definida pela seguinte forma

$$Var(\hat{\Phi}_{kk}) \approx \frac{1}{N}, \quad K > p \quad (2.20)$$

em que  $N$  é o número de observações.

Sendo assim o intervalo de confiança, para um nível de significância  $\alpha$  é dado por

$$-Z_{\alpha/2} \sqrt{Var(\hat{\Phi}_{kk})} \leq \hat{\Phi}_{kk} \leq Z_{\alpha/2} \sqrt{Var(\hat{\Phi}_{kk})} \quad (2.21)$$

A partir do intervalo de confiança verifica-se se os valores de  $\hat{\Phi}_{kk}$  são significativamente diferentes de zero, isto é, para verificar se a auto-correlação parcial num determinado instante  $k$  é significativa.

Quando existe auto-correlação dos dados existem diversas formas de a tratar, sendo que Montgomery (2001) propõe três alternativas para tratar o problema de auto-correlação dos dados: modelos *Arima* (ajuste dos dados a um modelo matemático), gráficos de controlo *EWMA* com linha central móvel e o uso de *EPC (Controlo da Engenharia de Processos)*.

Pereira e Requeijo (2008) referem, para além do ajuste dos dados a um modelo matemático e respectivo controlo através das cartas de controlo de resíduos, a utilização das cartas convencionais de Shewhart mas com os limites de controlo

modificados e ainda a utilização de algumas cartas específicas para o efeito (MCEWMA e EWMAST).

### 2.6.3 - Normalidade dos Dados

Uma das principais condições para aplicar o controlo estatístico tradicional é que os dados possuam uma distribuição Normal. Caso se admita que os dados seguem uma distribuição Normal, poder-se-á dar o caso de que esses dados não se aproximem da Normalidade incorrendo-se assim em conclusões completamente desajustadas.

Repare-se que os limites de controlo das cartas são baseadas num pressuposto de Normalidade ( $\mu \pm 3\sigma_\omega$ ), sendo então que qualquer tratamento de dados não Normais como até aqui foi referido irá incorrer-se na existência de falsos alarmes, assim como detecção tardia de causas especiais.

Existem diversos métodos para verificar a Normalidade dos dados, porém o *teste do Qui-Quadrado* e o *teste de Kolmogorov-Smirnov* são os mais usados na temática do SPC.

Um facto extremamente importante de realçar é que em situações em que se pretende fazer um controlo a uma característica cujas amostras tenham dimensão superior ou igual a quatro ( $n \geq 4$ ), não é necessário verificar a Normalidade dos dados, pois segundo o *Teorema do Limite Central* a distribuição de medidas de amostras é Normal. Este conceito foi defendido por Shewhart e referido por Spedding e Rawlines (1994) e Quesenberry (1997).

Nas situações em que a dimensão das amostras é inferior a quatro e nomeadamente nas cartas de observações individuais, a distribuição Normal dos dados é extremamente importante, sendo que caso não se verifique a Normalidade dos dados devem ser seguidos um dos seguintes métodos para tratar a não Normalidade.

- Caracterização da distribuição dos dados.
- *Método da Variância Ponderada (Método WV)*.
- Transformação dos dados através da transformação de Box-Cox ou do *Sistema de Distribuições de Johnson (SDJ)*.

Os referidos métodos para tratamento da não Normalidade são desenvolvidos em 2.8, sendo desde já de realçar que a transformação dos dados através do Sistema de Distribuições de Johnson é o método adoptado no desenvolvimento da parte experimental da presente dissertação.

## 2.7 - Análise de Capacidade

Após a verificação da estabilidade dos processos através das cartas de controlo é pertinente averiguar se os processos têm aptidão de produzir de acordo com as especificações técnicas.

Pitt (1994) define capacidade como variabilidade inerente, desprovida de indesejáveis causas especiais, pois a análise de capacidade só se deve aplicar após validação da estabilidade dos processos, sendo que segundo o mesmo autor os factores relacionados com materiais, equipamento, mão-de-obra, métodos, medições,

ambiente e gestão são preponderantes para a existência da variabilidade inerente do processo.

Ainda no âmbito do estudo de capacidade só poder ser efectuado após validação da estabilidade dos processos, Ott, Shilling e Neubauer (2005) afirmam: “...*não há capacidade sem controlo.*”

Para fazer o estudo de capacidade, Montgomery (2001) refere a possibilidade de recurso a histogramas ou gráficos de probabilidade, cartas de controlo e desenho de experiências. Porém no presente trabalho apenas se faz alusão ao uso das cartas de controlo para o estudo da análise de capacidade, pois esta é a única técnica que permite eliminar causas especiais de variação.

A análise de capacidade, no âmbito do controlo estatístico do processo tem sido alvo de diversos estudos, surgindo assim associado às cartas de controlo, a noção dos índices de capacidade para verificar a aptidão do processo ser capaz de produzir de acordo com as especificações.

Assumindo que a característica  $X$  é independente e identicamente distribuída segundo uma distribuição Normal ( $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ ), sabe-se que 99,73% dos dados estão compreendidos no intervalo  $\mu \pm 3\sigma$ , admitindo-se assim uma variação de  $6\sigma$

Sendo assim, para averiguar se o processo é potencialmente capaz, isto é, consegue produzir, com uma variabilidade aceitável face à especificação, utiliza-se o índice de capacidade potencial  $C_p$ .

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (2. 22)$$

em que

LSE - limite superior de especificação.

LIE - limite inferior da especificação.

A diferença entre o LSE e LIE é caracterizada pela variabilidade total admissível da especificação, enquanto  $6\sigma$  representa a variabilidade total do processo.

Diversos autores, entre outros Pitt (1994), Ledolter e Burrill (1999) e Montgomery (2001) introduzem a noção de rácio da capacidade ( $CR$ ) que representa a percentagem de variabilidade total admissível definida pelo intervalo de especificação que é “ocupado” pela variabilidade total do processo.

$$CR = \frac{6\sigma}{LSE - LIE} \times 100\% \quad (2. 23)$$

Contudo há que ter em consideração a partir de que valor é que o índice  $C_p$  representa um processo aceitável.

Wise e Fair (1998) apenas referem que  $C_p \geq 1$ .

Pitt (1994) propõe três valores a partir dos quais o índice  $C_p$  é satisfatório, assumindo-se a distribuição Normal dos dados:

- $C_p \geq 1$  - em que se espera que 0,27% do processo possa estar fora de especificação.
- $C_p \geq 1,33$  - em que se espera que 0,0064% (64 partes por milhão) do processo possa estar fora de especificação.
- $C_p \geq 1,67$  - em que nenhuma parte do processo deve estar fora de especificação.

Montgomery (2001) vai mais longe ao apresentar outros valores para considerar um processo potencialmente capaz, como se pode verificar na tabela 2.7, sendo que este autor ainda diferencia os processos com especificação unilateral e bilateral.

TABELA 2.7 - VALORES MÍNIMOS PARA PROCESSO CAPAZ

Tipo de processo	Característica	$C_p$	
		Bilateral	Unilateral
Processo existente	Comuns	1,33	1,25
Novo processo	Comuns	1,50	1,45
Processo existente	Segurança, resistência e crítica	1,50	1,45
Novo processo	Segurança, resistência e crítica	1,67	1,60

Na presente dissertação considera-se o índice de capacidade a partir de 1,33. Como este índice de capacidade traduz a variabilidade de um processo, pode-se afirmar que quanto maior ele for menor será a variabilidade desse mesmo processo.

É ainda de fazer a ressalva que  $C_p$  determina-se apenas quando a especificação dos processos é bilateral.

Porém para além do estudo à capacidade do processo do ponto de vista da dispersão dos processos, também importa averiguar a localização da média do processo, através do índice  $C_{pk}$ .

$$C_{pk} = \min \left( (C_{pk})_I, (C_{pk})_S \right) \quad (2.24)$$

Sendo que

$$(C_{pk})_I = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \quad (2.25)$$

$$(C_{pk})_S = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \quad (2.26)$$

Para características com especificação bilateral considera-se o processo capaz quando  $C_{pk} \geq 1,33$ , considerando-se centrado se  $(C_{pk})_I = (C_{pk})_S$ . No caso de características com especificação unilateral optou-se por considerar 1,25 como valor aceitável.

Pitt (1994) define  $C_{pk}$  como o mínimo de duas distâncias entre a média e o limite superior ou inferior de especificação.

Portanto o índice  $C_p$  permite analisar se o processo é potencialmente capaz e o índice  $C_{pk}$  permite validar a capacidade do processo, podendo-se fazer as seguintes considerações:

- $C_{pk}$  pode ser igual, mas nunca maior a  $C_p$ .
- $C_p$  e  $C_{pk}$  podem ser iguais unicamente quando o processo for centrado.
- Se  $C_p$  e  $C_{pk}$  forem maiores que 1,33 considera-se o processo capaz e com desempenho de acordo com as especificações (especificação bilateral).
- Se  $C_p$  for maior que 1,33 e  $C_{pk}$  inferior a 1,33, o processo é potencialmente capaz, mas não está centrado, nem é capaz.

Em cada uma das figuras 2.6, 2.7 e 2.8 está representada a média e a variação admissível de um processo com distribuição Normal, em que o limite inferior e superior de controlo das cartas correspondem respectivamente aos percentis 0,135% e 99,865%.

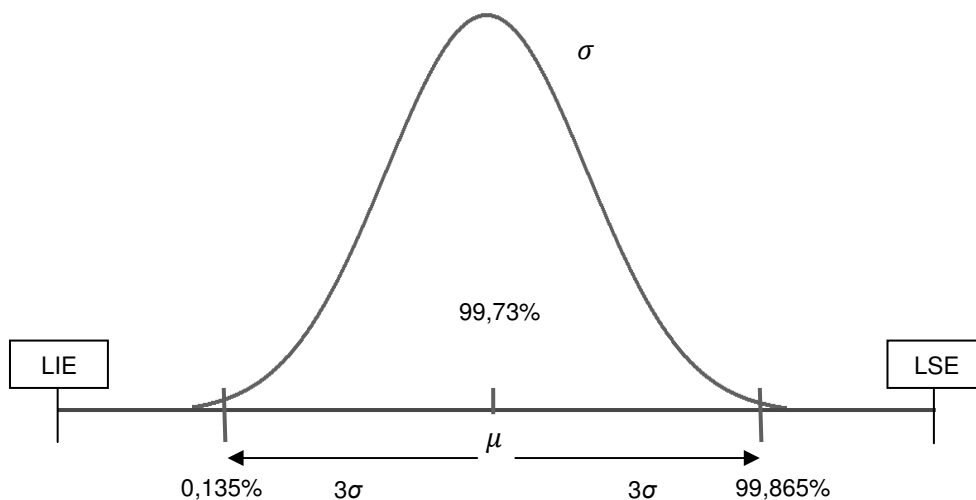


FIGURA 2.6 - PROCESSO CAPAZ E CENTRADO

Na figura 2.6 está representado um processo potencialmente capaz, pois a distribuição dos dados encontra-se entre o intervalo definido pelos limites de especificação. Ao mesmo tempo, o processo está centrado, pois a média do processo coincide com a média do intervalo de especificação. Sendo assim, o processo representado na figura 2.6 é capaz.

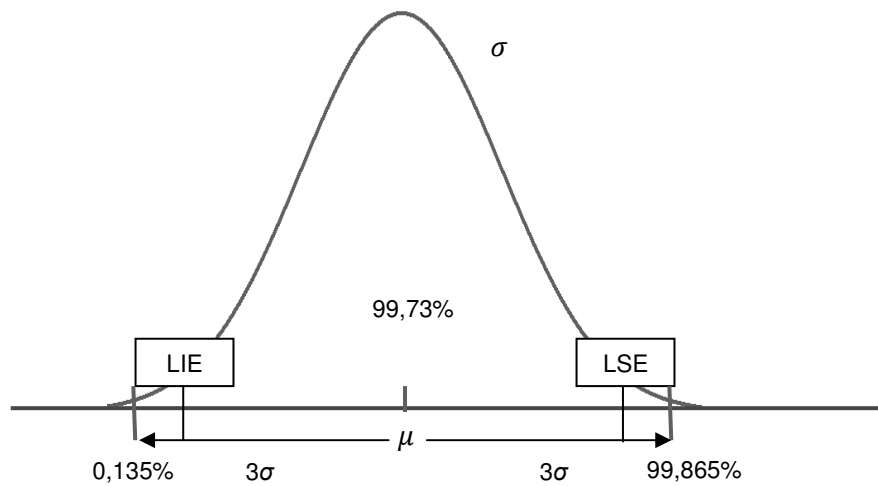


FIGURA 2.7 - PROCESSO SEM CAPACIDADE

Na figura 2.7 o processo não é capaz, pois o intervalo definido pelos limites de especificação encontra-se dentro do intervalo admissível para a distribuição dos dados, isto é, dentro dos  $6\sigma$ .

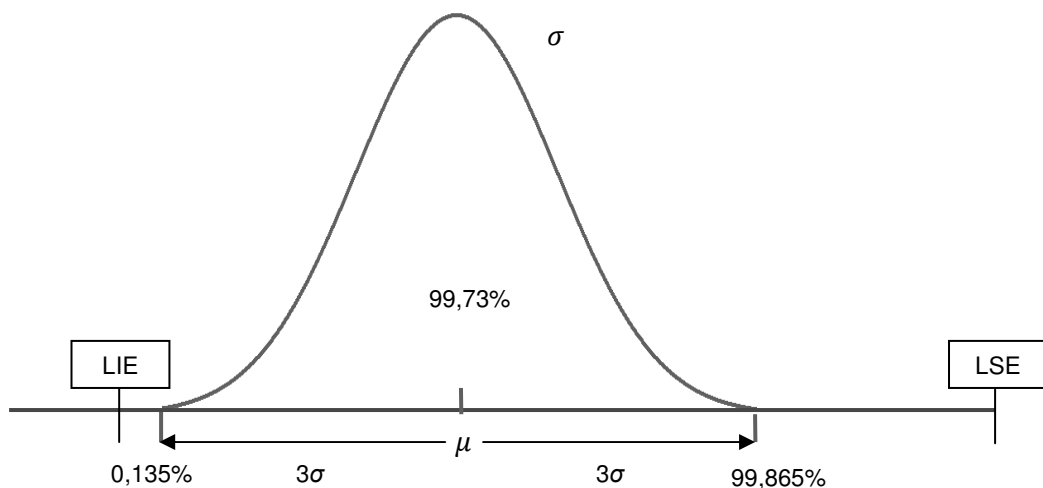


FIGURA 2.8 - PROCESSO CAPAZ, MAS NÃO CENTRADO

Na figura 2.8 está representado um processo potencialmente capaz, pois encontra-se dentro do intervalo de especificação, mas no entanto o processo não está centrado, pois a média do processo é inferior à média do intervalo de especificação.

Pode-se ainda referir um outro índice de capacidade  $C_{pm}$  que é análogo ao  $C_p$ , mas que tem em consideração a dispersão do processo e a diferença entre a média  $\mu$  e o valor nominal da especificação  $T$ .

$$C_{pm} = \frac{LSE - LIE}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \quad (2.27)$$

Analogamente ao índice  $C_{pk}$  surge o índice  $C_{pmk}$  que para além do conceito de centralidade do processo tem em conta a dispersão e a diferença entre a média e o valor nominal.

$$C_{pmk} = \min \left( (C_{pmk})_I, (C_{pmk})_S \right) \quad (2. 28)$$

sendo que

$$(C_{pmk})_I = \frac{\mu - LIE}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \quad (2. 29)$$

$$(C_{pmk})_S = \frac{LSE - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \quad (2. 30)$$

Estes índices  $C_{pm}$  e  $C_{pmk}$  são citados por Chen e Ding (2001) e que referem que tais índices foram introduzidos por Chan *et al.* (1988) e Pearn *et al.* (1992).

Existem outros métodos para se proceder ao estudo da capacidade dos processos cujas características  $X$  sejam distribuídas segundo uma distribuição Normal, porém na presente dissertação recorre-se sempre que necessário aos índices referidos nesta secção.

## 2.8 - Tratamento de dados não Normais

Em 2.6.3 sugeriu-se três métodos para tratar os dados não Normais, no âmbito do controlo estatístico do processo:

- Caracterização da distribuição dos dados através do Sistema de Distribuições de Pearson
- Método da variância ponderada
- Transformação dos dados (transformação de Box-Cox e transformação pelo Sistema de Distribuições de Johnson).

Sendo assim, neste tópico são apresentados breves conceitos inerentes a cada um destes procedimentos de tratamento da não Normalidade dos dados, dando-se especial ênfase à transformação pelo Sistema de Distribuições de Johnson.

É ainda importante referir que os métodos referidos para a transformação dos dados não Normais, têm como grande vantagem a possibilidade de obter uma variável  $Z$  com distribuição aproximadamente Normal, através da aplicação da respectiva equação de transformação. Caso seja utilizada a transformação Box-Cox obtém-se  $Z \sim N(\mu_Z, \sigma_Z^2)$ , enquanto caso seja utilizado a transformação pelo Sistema de Distribuições de Johnson obtém-se  $Z \sim N(0,1)$ . A partir dos dados transformados deve-se construir as respectivas cartas cujos limites de controlo continuam a obedecer às fórmulas enunciadas em 2.5.2, 2.5.3 e 2.5.4.

### 2.8.1 - Caracterização da Distribuição dos Dados através do Sistema de Distribuições de Pearson

Uma possibilidade para tratamento de dados não Normais é identificar a distribuição dos dados, através da determinação das estatísticas para determinação dos parâmetros de distribuição. O *Sistema de Distribuições de Pearson (SDP)* é um dos métodos mais divulgados para identificar uma distribuição dos dados através dos primeiros quatro momentos de uma distribuição, isto é:

- Primeiro momento - Média;
- Segundo momento - Variância;
- Terceiro momento - Coeficiente de assimetria;
- Quarto momento - Coeficiente de achatamento.

Este método tem forte aplicação matemática, tendo sido alvo de diversos desenvolvimentos de investigadores, como por exemplo Andreev, Kanto e Malo (2005) em que referem que Pearson estabeleceu uma relação entre quatro parâmetros de distribuição através da relação diferencial de uma função de densidade  $f$

$$\frac{f'(X)}{f(X)} = \frac{P(X)}{Q(X)} = \frac{x-a}{b_0+b_1xb_2x} \quad (2.31)$$

Em que  $a$ ,  $b_0$ ,  $b_1$  e  $b_2$  são os parâmetros de distribuição.

Estes parâmetros de distribuição estão relacionados com os momentos centrais de uma distribuição ( $\mu_1 \dots \mu_4$ ).

$$b_1 = a = -\frac{\mu_3(\mu_4+3\mu_2^2)}{A} = -\frac{\mu_2^{1/2}\beta_1(\beta_2+3)}{A'} \quad (2.32)$$

$$b_0 = -\frac{\mu_2(4\mu_2\mu_4+3\mu_3^2)}{A} = -\frac{\mu_2(4\beta_2-3\beta_1^2)}{A'} \quad (2.33)$$

$$b_2 = -\frac{(2\mu_2\mu_4-3\mu_3^2-6\mu_2^3)}{A} = -\frac{(2\beta_2-3\beta_1^2-6)}{A'} \quad (2.34)$$

Em que  $\beta_1$  e  $\beta_2$  são respectivamente o terceiro e quarto momentos de distribuição e que personificam também respectivamente o coeficiente de assimetria e achatamento de uma distribuição.

É ainda de referir que  $\beta_1^2 = \mu_3^2/\mu_2^3$ ,  $\beta_2 = \mu_4/\mu_2^2$  e os parâmetros  $A = 10\mu_4\mu_2 - 18\mu_2^3 - 12\mu_3^2$  e  $A' = 10\beta_2 - 18 - 12\beta_1^2$ .

Pereira e Requeijo (2008) representam alguns tipos de distribuições de Pearson que consoante os momentos da distribuição correspondem a uma distribuição amostral específica (tabela 2.8).

TABELA 2.8 - CLASSIFICAÇÃO DE ALGUMAS DISTRIBUIÇÕES DE PEARSON

Designação Comum	Designação segundo o SDP	Características
Beta	Tipo I	$\beta_2 = -1,2$
Uniforme	Tipo II	
Gama	Tipo III	
Qui-Quadrado	Tipo III	
Normal	Tipo VII	$\beta_1 = 0$ e $\beta_2 = 3$
T-Student	Tipo VII	
Exponencial	Tipo X	

### 2.8.2 - Método da Variância Ponderada (Método WV)

Para aplicar o controlo estatístico de processos com dados não Normais, Bai e Choi (1995) sugerem o método da variância ponderada, inicialmente proposto por Choobineh e Ballard em 1987.

O método da variância ponderada, também chamado por método WV baseia-se na ideia de que uma distribuição assimétrica pode ser dividida em duas partes com o objectivo de criar duas distribuições simétricas. Estas novas distribuições possuem médias iguais, mas variâncias diferentes, sendo que uma das distribuições serve para determinar o limite superior de controlo e a outra para determinar o limite inferior de controlo. É de realçar que segundo este método, para distribuições assimétricas obtém-se distâncias diferentes dos dois limites de controlo em relação à linha central.

As cartas a construir através do método WV baseiam-se nos princípios enunciados no capítulo 2 para a construção e análise das cartas de Shewhart, sendo que os limites de controlo também se determinam através do desvio padrão.

Considerando a variável aleatória  $X$ ,  $P_X$  é a probabilidade de que  $X_i$  seja inferior ou igual à média  $\mu_X$  ( $P_X = P(X \leq \mu)$ ).

$$\hat{P}_X = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n \delta(\bar{X} - X_{ij})}{n \times m} \quad (2.35)$$

em que  $\delta(X) = 1$  para  $X \geq 0$  e  $\delta(X) = 0$  para  $X < 0$

Na equação 2.36 adopta-se a seguinte simbologia:

$n$  - dimensão da amostra

$m$  - número de observações

$\bar{X}$  - média das médias  $m$  amostras

$X_{ij}$  - observação  $j$  da amostra  $i$

A aplicação deste método baseia-se na construção de uma carta das médias e uma carta de amplitudes, sendo que na tabela 2.9 estão apresentados os respectivos limites de controlo e linha central, em que  $\sigma_X$  e  $\sigma_R$  são respectivamente o desvio padrão do processo e da distribuição de amplitudes,  $\mu_R$  a média da distribuição de amplitudes e  $n$  é a dimensão da amostra. Como para estes limites de controlo são constituídos pelos parâmetros do processo, então deverão ser aplicados na Fase 2 do controlo estatístico.

TABELA 2.9 - LIMITES DE CONTROLO DAS CARTAS  $\bar{X}$  E  $R$  DO MÉTODO WV PARA A FASE 2

	<b>Carta <math>\bar{X}</math></b>	<b>Carta <math>R</math></b>
LIC	$\mu_X - 3 \frac{\sigma_X}{\sqrt{n}} \sqrt{2(1 - P_X)}$	$\max[0, \mu_R - 3\sigma_R \sqrt{2(1 - P_X)}]$
LC	$\mu_X$	$\mu_R$
LSC	$\mu_X + 3 \frac{\sigma_X}{\sqrt{n}} \sqrt{2P_X}$	$\mu_R + 3\sigma_R \sqrt{2(1 - P_X)}$

É de referir que se  $P_X = 0,5$  significa que a população é simétrica, sendo que assim as cartas a construir correspondem exactamente às cartas de Shewhart referidas em 2.5.2.2. Caso a distribuição seja assimétrica e  $P_X > 0,5$  a distância da linha central ao limite superior de controlo é maior do da linha central ao limite inferior de controlo, sendo o recíproco também verdadeiro.

Para estimar os parâmetros do processo ( $\mu$  e  $\sigma$ ) utiliza-se as seguintes equações:

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

$$\hat{\mu}_R = \bar{R} \quad (2.37)$$

$$\hat{\sigma}_X = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (2.38)$$

$$\hat{\sigma}_R = d_3 \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (2.39)$$

Porém as constantes  $d_2$  e  $d_3$  são geradas para dados cuja distribuição é aproximadamente Normal, pelo que foram criadas  $d_2'$  e  $d_3'$  dependentes da simetria e dimensão da amostra. Caso a distribuição dos dados seja Normal, as constantes  $d_2'$  e  $d_3'$  são os habituais  $d_2$  e  $d_3$ .

Tendo em conta que os limites de controlo enunciados na tabela 2.9 pressupõem o conhecimento dos parâmetros, logo devem ser aplicados na Fase 2 do controlo estatístico.

Na tabela 2.10 são representados os limites de controlo genéricos a aplicar para as cartas  $\bar{X}$  e  $R$ .

TABELA 2.10 - LIMITES DE CONTROLO DAS CARTAS  $\bar{X}$  E R DO MÉTODO WV

	Carta $\bar{X}$	Carta R
LIC	$\bar{X} - \frac{3\bar{R}}{d_2'\sqrt{n}}\sqrt{2(1-\hat{P}_X)} = \bar{X} - W_L\bar{R}$	$\bar{R} \times \max\left[0, 1 - 3\frac{d_3'}{d_2'}\sqrt{2(1-\hat{P}_X)}\right] = V_L\bar{R}$
LC	$\bar{X}$	$\bar{R}$
LSC	$\bar{X} + \frac{3\bar{R}}{d_2'\sqrt{n}}\sqrt{2\hat{P}_X} = \bar{X} + W_U\bar{R}$	$\bar{R}\left[1 + 3\frac{d_3'}{d_2'}\sqrt{2\hat{P}_X}\right] = V_U\bar{R}$

É importante referir que as constantes  $d_2'$  e  $d_3'$  podem ser obtidas através  $W_U$  e  $V_U$  pela seguinte forma, sendo que se comete um erro pouco significativo.

$$d_2' = \frac{3\sqrt{2\hat{P}_X}}{W_U\sqrt{n}} \tag{2.40}$$

$$d_3' = \frac{d_2'(V_U-1)}{3\sqrt{2\hat{P}_X}} \tag{2.41}$$

Nas tabelas 2.11, 2.12, 2.13 e 2.14 estão representados os valores de  $W_L$ ,  $W_U$ ,  $V_L$  e  $V_U$ .

TABELA 2.11 -  $W_L$  PARA A CARTA  $\bar{X}$

	$W_L$											
$P_X$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25
0,5	1,88	1,02	0,73	0,58	0,48	0,42	0,37	0,34	0,31	0,22	0,18	0,15
0,52	1,86	1,01	0,72	0,57	0,48	0,41	0,37	0,33	0,3	0,22	0,18	0,15
0,54	1,83	0,99	0,71	0,56	0,47	0,41	0,36	0,33	0,3	0,22	0,18	0,15
0,56	1,81	0,98	0,7	0,56	0,47	0,4	0,36	0,32	0,3	0,21	0,17	0,14
0,58	1,82	0,97	0,7	0,56	0,46	0,4	0,35	0,32	0,3	0,21	0,17	0,14
0,6	1,84	0,99	0,71	0,56	0,46	0,4	0,35	0,32	0,29	0,21	0,17	0,14
0,62	1,85	1	0,71	0,56	0,46	0,4	0,35	0,32	0,29	0,21	0,17	0,13
0,64	1,89	1,02	0,72	0,57	0,47	0,4	0,35	0,32	0,29	0,2	0,16	0,13
0,66	1,96	1,08	0,75	0,58	0,48	0,42	0,37	0,32	0,29	0,2	0,16	0,13
0,68	2,04	1,09	0,77	0,61	0,49	0,42	0,37	0,32	0,29	0,2	0,16	0,13
0,7	2,13	1,17	0,81	0,65	0,5	0,43	0,36	0,32	0,29	0,2	0,15	0,13

TABELA 2.12 -  $W_U$  PARA A CARTA  $\bar{X}$ 

$P_X$	$W_U$											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25
0,5	1,88	1,02	0,73	0,58	0,48	0,42	0,37	0,34	0,31	0,22	0,18	0,15
0,52	1,93	1,05	0,75	0,59	0,5	0,43	0,38	0,34	0,32	0,23	0,18	0,16
0,54	1,97	1,08	0,77	0,61	0,51	0,44	0,39	0,35	0,32	0,23	0,19	0,16
0,56	2,04	1,11	0,79	0,63	0,52	0,45	0,4	0,37	0,33	0,24	0,19	0,16
0,58	2,14	1,14	0,82	0,65	0,54	0,47	0,42	0,38	0,35	0,25	0,2	0,17
0,6	2,26	1,22	0,86	0,68	0,56	0,49	0,43	0,39	0,36	0,25	0,2	0,17
0,62	2,36	1,28	0,91	0,71	0,59	0,51	0,45	0,41	0,37	0,26	0,21	0,17
0,64	2,53	1,36	0,96	0,76	0,63	0,54	0,47	0,43	0,39	0,27	0,21	0,18
0,66	2,74	1,49	1,04	0,81	0,67	0,58	0,51	0,45	0,41	0,28	0,22	0,18
0,68	2,98	1,59	1,12	0,88	0,71	0,61	0,54	0,47	0,42	0,29	0,23	0,19
0,7	3,26	1,78	1,23	0,99	0,72	0,62	0,55	0,5	0,44	0,3	0,24	0,19

TABELA 2.13 -  $V_L$  PARA A CARTA R

$P_X$	$V_L$											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25
0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,02
0,42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,06	0,12
0,44	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,12	0,2	0,25
0,46	0	0	0	0	0	0	0,03	0,03	0,1	0,24	0,31	0,37
0,48	0	0	0	0	0	0,05	0,1	0,13	0,18	0,3	0,38	0,43
0,5	0	0	0	0	0	0,08	0,14	0,18	0,22	0,35	0,42	0,46
0,52	0	0	0	0	0	0,08	0,14	0,17	0,21	0,33	0,41	0,45
0,54	0	0	0	0	0	0,04	0,1	0,12	0,17	0,3	0,37	0,41
0,56	0	0	0	0	0	0	0,02	0,03	0,07	0,22	0,29	0,34
0,58	0	0	0	0	0	0	0	0	0,02	0,15	0,2	0,25
0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06	0,08	0,13
0,62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,03
0,64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

TABELA 2.14 -  $V_U$  PARA A CARTA  $R$ 

$P_X$	$V_U$											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25
0,3	4,47	3,89	3,58	3,52	3,1	2,97	2,95	2,84	2,71	2,6	2,52	2,43
0,32	4,24	3,49	3,25	3,16	2,91	2,79	2,75	2,66	2,57	2,49	2,38	2,31
0,34	4,03	3,27	3,01	2,81	2,72	2,64	2,57	2,54	2,45	2,37	2,24	2,2
0,36	3,79	3,07	2,82	2,63	2,52	2,44	2,38	2,35	2,33	2,24	2,14	2,07
0,38	3,58	2,94	2,67	2,51	2,4	2,32	2,27	2,23	2,19	2,08	2,04	1,97
0,4	3,49	2,82	2,53	2,39	2,27	2,21	2,15	2,12	2,09	1,94	1,92	1,87
0,42	3,37	2,67	2,43	2,29	2,18	2,1	2,04	2,02	1,98	1,85	1,8	1,75
0,44	3,28	2,62	2,32	2,23	2,12	2,04	1,99	1,96	1,93	1,78	1,71	1,66
0,46	3,26	2,59	2,3	2,15	2,04	1,96	1,9	1,86	1,83	1,7	1,63	1,59
0,48	3,25	2,58	2,28	2,13	2	1,92	1,86	1,82	1,79	1,67	1,6	1,55
0,5	3,25	2,58	2,28	2,11	2	1,92	1,86	1,82	1,78	1,65	1,59	1,54
0,52	3,34	2,64	2,33	2,18	2,04	1,96	1,9	1,86	1,82	1,7	1,62	1,57
0,54	3,43	2,72	2,41	2,25	2,12	2,04	1,97	1,94	1,9	1,76	1,69	1,63
0,56	3,58	2,83	2,49	2,38	2,26	2,18	2,11	2,09	2,05	1,88	1,8	1,75
0,58	3,79	2,96	2,67	2,52	2,38	2,3	2,23	2,19	2,16	2	1,94	1,88
0,6	4,06	3,23	2,87	2,7	2,56	2,48	2,41	2,37	2,33	2,15	2,12	2,06
0,62	4,3	3,48	3,14	2,93	2,79	2,69	2,62	2,58	2,52	2,39	2,33	2,25
0,64	4,72	3,76	3,43	3,18	3,03	2,92	2,84	2,8	2,77	2,65	2,52	2,43
0,66	5,23	4,16	3,8	3,52	3,39	3,28	3,19	3,15	3,12	2,9	2,73	2,67
0,68	5,71	4,64	4,27	4,02	3,99	3,62	3,56	3,42	3,39	3,17	3,02	2,91
0,7	6,1	5,41	4,94	4,66	4,21	4,01	3,97	3,81	3,71	3,44	3,32	3,18

Para além da descrição do método, Bai e Choi (1995) apresentam as seguintes considerações a respeito do método da variância ponderada em relação às cartas de Shewhart.

- O método WV para construção das cartas é comparável com o método adoptado por Shewhart nos casos em que a distribuição é simétrica.
- As cartas  $\bar{X}$  e  $R$  do método WV apresentam erros do tipo 1 inferiores a 0,010 e 0,015 respectivamente e têm um melhor desempenho quando o terceiro momento de distribuição aumenta.
- A diferença do erro do tipo I entre o método WV e o método adoptado por Shewhart é maior na carta  $R$  do que na carta  $\bar{X}$ .

### 2.8.3 - Transformação de Box-Cox

Uma possibilidade de transformação dos dados é através da transformação de Box-Cox introduzida num artigo de 1964 onde foi estabelecida a forma de transformação dos dados originais numa distribuição aproximadamente Normal da seguinte forma

$$Z_i = \begin{cases} \frac{X_i^\lambda - 1}{\lambda}, & \lambda \neq 0 \\ \ln X_i, & \lambda = 0 \end{cases} \quad (2.42)$$

Sendo que  $\lambda$  deverá ser seleccionado de forma arbitrária, deve-se calcular  $S(\lambda)$  para cada valor de  $\lambda$ .

$$S(\lambda) = -\frac{N}{2} \ln \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (z_i - \bar{z})^2}{N} \right] + (\lambda - 1) \sum_{i=1}^N \ln X_i \quad (2.43)$$

Através da equação 2.43 transforma-se os valores  $X_i$  na variável transformada  $Z \sim N(\mu_Z, \sigma_Z^2)$  sendo  $\lambda$  aquele que maximiza  $S(\lambda)$ .

A partir da transformação de Box-Cox surgiram muitas outras transformações sendo de destacar a de Yeo e Johnson que surgiu em 2000 que tem como vantagem em relação à transformação de Box-Cox em permitir a transformação de valores  $X_i$  positivos e negativos.

Sendo assim surge uma nova forma de transformação dos dados baseada nos mesmos princípios da transformação de Box-Cox.

$$Z_i = \begin{cases} \frac{(X_i+1)^\lambda - 1}{\lambda}, & \lambda \neq 0, X_i \geq 0 \\ \ln(X_i + 1), & \lambda = 0, X_i \geq 0 \\ \frac{(1-X_i)^{2-\lambda} - 1}{\lambda-2}, & \lambda \neq 2, X_i < 0 \\ -\ln(1 - X_i), & \lambda = 2, X_i < 0 \end{cases} \quad (2.44)$$

#### 2.8.4 - Transformação através do Sistema de Distribuições de Johnson

Uma possibilidade para resolver o problema de distribuições não Normais é através do ajuste de uma distribuição empírica aos dados obtidos de um determinado processo.

Sendo assim, Johnson (1949) criou o Sistema de Distribuições de Johnson que cobre uma diversa gama de curvas de distribuições através de três famílias de distribuição, geradas a partir de transformações da seguinte forma genérica:

$$Z = \gamma + \eta k_i(X; \lambda, \epsilon) \quad (2.45)$$

$Z$  - Variável Normal reduzida

$X$  - Variável aleatória original

$\gamma, \eta, \lambda$  e  $\epsilon$  - Parâmetros do *SDJ*

As três famílias de distribuição de Johnson são caracterizadas por  $S_U$ ,  $S_B$  e  $S_L$  e assumem as seguintes funções:

$$S_U \rightarrow k_1(X; \lambda, \epsilon) = \sin^{-1} \left( \frac{X - \epsilon}{\lambda} \right) \quad (2.46)$$

$$S_B \rightarrow k_2(X; \lambda, \epsilon) = \ln \left( \frac{X - \epsilon}{\lambda + \epsilon - X} \right) \quad (2.47)$$

$$S_L \rightarrow k_3(X; \lambda, \epsilon) = \ln \left( \frac{X - \epsilon}{\lambda} \right) \quad (2.48)$$

Slifker e Shapiro (1980) referem que a escolha destas três funções permite que através da representação gráfica do terceiro e quarto momento Normalizados ( $\sqrt{\beta_1}$  - coeficiente de assimetria e  $\beta_2$  - coeficiente de achatamento), a distribuição  $S_L$  divide o plano  $\sqrt{\beta_1}$  e  $\beta_2$  em duas regiões correspondentes à família  $S_U$  e outra à família  $S_B$ .

Na tabela 2.15 são apresentadas as equações para transformação dos dados não Normais em Normais, tendo em conta as funções apresentadas para cada tipo de família de distribuição de Johnson, assim como as condições de aplicação a nível de parâmetros e da variável aleatória  $X$ . A partir da equação de transformação obter-se-á uma variável aproximadamente Normal  $Z$  a partir da variável aleatória  $X$  não Normal.

TABELA 2.15 - EQUAÇÕES DAS FAMÍLIAS DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÕES DE JOHNSON

Família de Johnson	Transformação	Condições dos parâmetros	Condição da variável aleatória $X$
$S_U$	$Z = \gamma + \eta \sin^{-1} \left( \frac{X - \epsilon}{\lambda} \right)$	$\gamma, \eta > 0, -\infty < \lambda < +\infty,$ $-\infty < \epsilon < +\infty$	$-\infty < X < +\infty$
$S_B$	$Z = \gamma + \eta \ln \left( \frac{X - \epsilon}{\lambda + \epsilon - X} \right)$	$\gamma, \eta > 0, -\infty < \gamma < +\infty,$ $-\infty < \epsilon < +\infty$	$\epsilon < X < \epsilon + \lambda$
$S_L$	$Z = \gamma + \eta \ln \left( \frac{X - \epsilon}{\lambda} \right)$	$\eta > 0, -\infty < \lambda < +\infty,$ $-\infty < \epsilon < +\infty$	$X > \epsilon$

A partir da tabela 2.15, tendo em conta a condição da variável aleatória  $X$  para cada família, pode-se referir o significado dos índices U, B e L como não limitada (“unbounded”), limitada (“bounded”) e limitado à esquerda ou lognormal (“bounded from below or lognormal”).

Segundo Slifker e Shapiro (1980) o primeiro passo a adoptar é determinar a que família de distribuição de Johnson a partir do terceiro e quarto momento de distribuição, com base nos dados. Após determinação da família dever-se-á determinar os parâmetros  $\gamma, \eta, \lambda$  e  $\epsilon$  da distribuição e conseqüente transformação dos dados a partir das equações de transformação apresentados na tabela 2.15.

Chou *et al.* (1994) referem três possibilidades para determinação dos parâmetros da distribuição:

- Método dos momentos.
- Método da máxima verosimilhança.
- Método dos percentis.

Dentro destes três métodos o adoptado na parte experimental desta dissertação foi o método dos percentis devido ao facto de ser bastante intuitivo e explícito no que respeita ao procedimento, pelo que apenas se elabora a descrição sucinta do método dos percentis.

#### **2.8.4.1 - Método dos Momentos**

O método dos momentos é aplicado para o ajuste de qualquer distribuição empírica a uma das famílias das distribuições de Johnson. Contudo este método é extremamente complexo no que ao seu uso diz respeito, sendo que segundo Chou *et al.* (1994) afirmam que este método pode ser facilmente resolvido através de aplicações informáticas.

#### **2.8.4.2 - Método da Máxima Verosimilhança**

Método da máxima verosimilhança é de difícil aplicação para o *Sistema de Distribuições de Johnson*, porém com este método Chou *et al.* (1994) referem que as estimativas dos parâmetros do processo não podem ser resolvidas explicitamente.

#### **2.8.4.3 - Método dos Percentis**

O método dos percentis tem sido considerado por diversos autores e tem a vantagem em relação aos outros métodos, no que respeita ao eficiente ajuste dos dados ao sistema de Distribuições de Johnson.

A aplicação do método dos percentis baseia-se na determinação de quatro percentis relativos aos dados em estudo, permitindo seleccionar a família de distribuições de Johnson e consequente determinação dos parâmetros.

São escolhidos de forma arbitrária quatro percentis de uma distribuição Normal reduzida, recorrentemente caracterizados por  $-sz$ ,  $-z$ ,  $z$  e  $sz$ , em que  $s$  e  $z$  são positivos e constantes com  $s > 1$ .

O método dos percentis foi amplamente desenvolvido por Slifker e Shapiro (1980), Shayib (1989), Bowman e Shenton (1989) e Chou, Polansky e Mason (1998) elaborando diversos textos a respeito desta temática.

Resumidamente pode-se referir que o modo de aplicação do método dos percentis por parte destes autores assenta essencialmente no diagrama da figura 2.9.

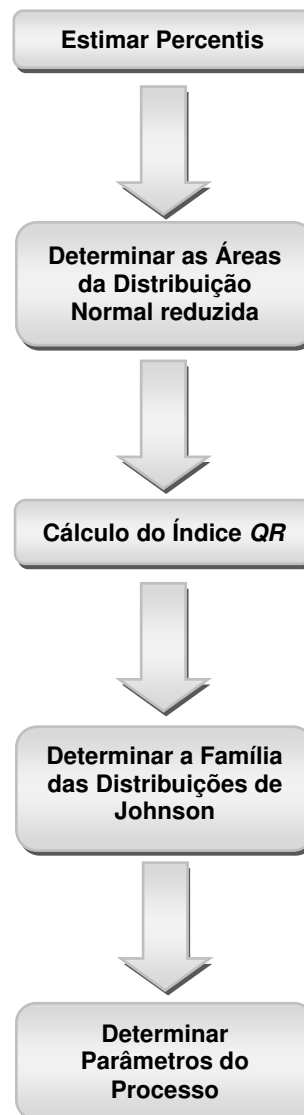


FIGURA 2.9 - DIAGRAMA REPRESENTATIVO DO PROCEDIMENTO ADOPTADO PARA O MÉTODO DOS PERCENTIS

- **Estimar Percentis**

Para determinação da família de distribuições de Johnson é necessário inicialmente proceder ao cálculo dos percentis e do índice *QR* (“*Quantile Ratio*”). Como já referido são escolhidos de forma arbitrária os percentis  $-sz$ ,  $-z$ ,  $z$  e  $sz$ , sendo que nestas constantes  $s > 1$  e  $z > 0$ .

Slifker e Shapiro (1980) referem um  $s=3$  e um  $z$  próximo de 0,5, sendo o mais comum  $z = 0,524$ , que corresponde precisamente ao percentil 70% e que por sua vez  $3z=1,572$  corresponde ao percentil 94,2%. A escolha de um valor  $z$  próximo de 0,5 proporciona que  $\pm 3z$  não fique muito distante da cauda da distribuição, evitando-se estimativas pouco confiáveis.

- **Determinar as Áreas da Distribuição Normal reduzida**

A partir dos percentis dever-se-á determinar as áreas da distribuição Normal reduzida correspondentes aos percentis  $q_i$ ,  $i$ . é,  $q_1 = \Phi(-sz)$ ,  $q_2 = \Phi(-z)$ ,  $q_3 = \Phi(z)$  e  $q_4 = \Phi(sz)$ . Seguidamente deve-se determinar  $X_i$  dos dados correspondentes a cada  $q_i$ , para  $i=1,2,3,4$ , obtendo-se  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  e  $X_4$ , sendo que estes  $X_i$  correspondem precisamente à observação número  $i$  em que  $i = Nq_i \times \frac{1}{2}$ .

- **Cálculo do Índice QR**

Após se obter todos os  $X_i$ , com  $i=1,2,3,4$ , calcula-se o índice QR (“Quantile Ratio”) da seguinte forma

$$QR = \frac{(X_4 - X_3)(X_2 - X_1)}{(X_3 - X_2)^2} \quad (2.49)$$

- **Determinar a Família das Distribuições de Johnson**

A partir do índice QR atribui-se uma família do Sistema de Distribuições de Johnson aos dados tendo em conta os critérios.

- Se  $X$  pertence à família  $S_B$ , então  $QR < 1$
- Se  $X$  pertence à família  $S_L$ , então  $QR = 1$
- Se  $X$  pertence à família  $S_U$ , então  $QR > 1$

Shayib (1989) estabelece como critério de escolha de uma família  $S_L$  um índice  $QR \in [0,9; 1,1]$ , pois refere que a determinação de  $X_i$  assenta numa base de variável aleatória, pelo que  $QR=1$  tem probabilidade nula de ocorrer, contrariando assim a ideia de Slifker e Shapiro (1980) ao admitirem  $QR=1$ .

Posto isto, sempre que se aplicar o método dos percentis na parte experimental desta Dissertação, escolher-se-á um  $s=3$  e  $z=0,524$ . Os critérios seguidos são:

- Se  $X$  pertence à família  $S_B$ , então  $QR < 0,9$
- Se  $X$  pertence à família  $S_L$ , então  $QR \in [0,9; 1,1]$
- Se  $X$  pertence à família  $S_U$ , então  $QR > 1,1$

- **Estimação dos Parâmetros**

Consoante a família da distribuição de  $X$ , existe uma forma de estimação dos parâmetros. Para facilitar a representação das equações para estimar os parâmetros recorre-se à notação de Slifker e Shapiro (1980) em que  $m = X_4 - X_3$ ,  $n = X_2 - X_1$  e  $p = X_3 - X_2$ .

Parâmetros da família  $S_B$

$$\eta = \frac{2}{\cos^{-1}\left(\frac{1}{2}\left[\left(1+\frac{p}{m}\right)\left(1+\frac{p}{n}\right)\right]^{1/2}\right)}; \quad (\eta > 0) \quad (2.50)$$

$$\gamma = \eta \sin^{-1} \left[ \frac{\left(\frac{p-p}{n-m}\right)\left(\left(1+\frac{p}{m}\right)\left(1+\frac{p}{n}\right)-4\right)^{1/2}}{2\left(\frac{pp}{mn}-1\right)} \right] \quad (2.51)$$

$$\lambda = \frac{p\left[\left(\left(1+\frac{p}{m}\right)\left(1+\frac{p}{n}\right)-2\right)^2-4\right]^{1/2}}{\frac{pp}{mn}-1}; \quad (\lambda > 0) \quad (2.52)$$

$$\varepsilon = \frac{X_3-X_2}{2} - \frac{\lambda}{2} + \frac{p\left(\frac{n-m}{p-p}\right)}{2\left(\frac{pp}{mn}-1\right)} \quad (2.53)$$

Parâmetros da família  $S_L$

$$\eta = \frac{2z}{\ln \frac{m}{p}} \quad (2.54)$$

$$\gamma^* = \eta \ln \left[ \frac{\frac{m-1}{p}}{p\left(\frac{m}{p}\right)^{1/2}} \right] \quad (2.55)$$

$$\varepsilon = \frac{X_3-X_2}{2} - \frac{p}{2} \frac{\frac{m}{p}+1}{\frac{m}{p}-1} \quad (2.56)$$

Parâmetros da família  $S_U$

$$\eta = \frac{2z}{\cos^{-1}\left[\frac{1}{2}\left(\frac{m+n}{p+p}\right)\right]}; \quad (\eta > 0) \quad (2.57)$$

$$\gamma = \eta \sin^{-1} \left[ \frac{\frac{n-m}{p-p}}{2\left(\frac{mn}{pp}-1\right)^{1/2}} \right] \quad (2.58)$$

$$\lambda = \frac{2p\left(\frac{mn}{pp}-1\right)^{1/2}}{\left(\frac{m+n}{p+p}-2\right)\left(\frac{m+n}{p+p}+2\right)^{1/2}}; \quad (\lambda > 0) \quad (2.59)$$

$$\varepsilon = \frac{X_3 - X_2}{2} + \frac{p\left(\frac{n}{p} - \frac{m}{p}\right)}{2\left(\frac{m}{p} + \frac{n}{p} - 2\right)} \quad (2.60)$$

Existem outros procedimentos adoptados para aplicação do método dos percentis, sendo que baseiam-se essencialmente no esquema da figura 2.9 alterando apenas nas escolhas das constantes arbitrárias  $s$  ou  $z$ , como se pode verificar nos desenvolvimentos efectuados por Chou, Polansky e Mason (1998).

### 2.8.5 - Análise de Capacidade para Dados não Normais

No ponto 2.7 abordou-se a temática da análise de capacidade para dados cuja variável aleatória  $X$  seguia uma distribuição aproximadamente Normal, porém caso os dados não sejam Normalmente distribuídos poder-se-á aplicar índices específicos.

No entanto tendo por base as formas enunciadas anteriormente para tratar a não Normalidade dos dados, são enunciados método de análise da capacidade para o método da variância ponderada e para a transformação dos dados.

#### 2.8.5.1 - Índices de Capacidade para o Método da Variância Ponderada (Método WV)

Para o método da variância ponderada foi desenvolvida uma metodologia própria para o estudo de capacidade de processos. Como o método WV tem como objectivo dividir uma distribuição assimétrica em duas simétricas, os índices de capacidade desenvolvidos para a presente temática baseia-se nos índices de capacidade para dados Normais, referenciados em 2.7.

Sendo assim Wu *et al.* (1999) descreveram sucintamente os índices adoptar para o controlo estatístico através do método da variância ponderada.

$$C_p(WV) = \frac{LSE - LIE}{3(\sigma\sqrt{2(1-P_X)} + \sigma\sqrt{2P_X})} \quad (2.61)$$

$$C_{pk}(WV) = \min \left[ \frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma\sqrt{2P_X}}, \frac{\bar{X} - LIE}{3\sigma\sqrt{2(1-P_X)}} \right] \quad (2.62)$$

#### 2.8.5.2 - Índices de Capacidade para dados não Normalmente Distribuídos

É possível a partir dos dados transformados obter como uma variável aleatória  $Z$  aproximadamente Normal e aplicar os índices de capacidade enunciados em 2.7. Sendo necessário também transformar igualmente os limites de especificação da característica em estudo.

Porém, foram desenvolvidos índices de capacidade para dados não Normalmente distribuídos, sendo que Pearn, Chen e Lin (1999) apresentam de forma sucinta os índices de capacidade  $C_p$  e  $C_{pk}$  propostos por Clements em 1989, assim como os

índices  $C_{pm}$  e  $C_{pmk}$  desenvolvidos por Pearn e Kotz em 1994 baseados nos índices de Clements.

$$C_p = \frac{LSE-LIE}{U_p-L_p} \quad (2.63)$$

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{LSE-\tilde{M}}{U_p-\tilde{M}}, \frac{\tilde{M}-LIE}{\tilde{M}-L_p} \right\} \quad (2.64)$$

$$C_{pm} = \frac{LSE-LIE}{6\sqrt{\left(\frac{U_p-L_p}{6}\right)^2 + (\tilde{M}-T)^2}} \quad (2.65)$$

$$C_{pmk} = \min \left\{ \frac{LSE-\tilde{M}}{3\sqrt{\left(\frac{U_p-\tilde{M}}{3}\right)^2 + (\tilde{M}-T)^2}}, \frac{\tilde{M}-LIE}{3\sqrt{\left(\frac{\tilde{M}-L_p}{3}\right)^2 + (\tilde{M}-T)^2}} \right\} \quad (2.66)$$

$LSE$ - limite superior de especificação

$LIE$ - limite inferior de especificação

$U_p$ - percentil 99,865% da distribuição  $X$

$L_p$ - percentil 0,135% da distribuição  $X$

$\tilde{M}$ - mediana do processo

$T$  - valor médio de especificação

Por outro lado, estes índices têm em conta a mediana do processo em vez da média do processo, uma vez que é uma medida de tendência central mais robusta para distribuições assimétricas. Sendo assim, a mediana corresponde ao percentil 50 %.

Existem diversos índices de capacidade para dados não Normalmente distribuídos que não são apresentados no presente trabalho. Chen e Ding (2001), Li e Chen (2006), Pereira e Requeijo (2008) e Gonzalez e Werner (2009) entre outros desenvolveram textos para dados não Normais.

É importante referir que o domínio da variável  $X$  nas respectivas famílias da distribuição de Johnson pode ou não conter os limites de especificação e consequentemente verificar se os limites de especificação são ou não transformáveis.

Posto isto defina-se transformação do limite inferior de especificação e do limite superior de especificação respectivamente por  $L_Z$  e  $U_Z$ . Sendo que  $P_L$  e  $P_U$  são representativos respectivamente da probabilidade de haver valores da variável  $Z$  inferiores a  $L_Z$  e superiores a  $U_Z$ .

Como tal, tendo em conta que na transformação dos dados segundo o Sistema de Distribuições de Johnson obtém-se uma variável Normal reduzida  $Z \sim N(0,1)$ , pode-se mencionar que:

- Se  $LIE$  for menor que o domínio da variável  $X$  -  $P_L = 0$
- Se  $LSE$  for maior que o domínio da variável  $X$  -  $P_U = 0$

Caso o intervalo definido pelos limites de especificação contenha o intervalo definido para a transformação da variável aleatória  $X$  diz-se que  $P_L$  e  $P_U$  são ambos nulos.

Posto isto é também possível, sempre que um limite de especificação seja transformável averiguar uma probabilidade associada, pois como já referido a variável  $Z$  é aproximadamente Normal reduzida.

## 2.9 - Conclusões

O controlo estatístico do processo é uma ferramenta extremamente útil para se fazer um acompanhamento dinâmico de qualquer processo.

Para que a sua implementação se efectue com sucesso é essencial um conhecimento adequado do processo, para que depois se possa escolher correctamente as características a estudar. Após a selecção das características é necessária uma criteriosa caracterização dessas mesmas características a nível de dimensão das amostras e frequência de amostragem.

Após selecção das características poder-se-á dar início à Fase 1 do controlo estatístico, escolhendo-se então as cartas de controlo mais apropriadas. Ainda na Fase 1 é necessário averiguar as seguintes condições:

- 1º. Verificar se o processo se encontra sob controlo estatístico;
- 2º. Verificar se os dados são independentes e identicamente distribuídos, segundo uma distribuição Normal;
- 3º. Estimar os valores dos parâmetros do processo;
- 4º. Verificar a capacidade dos processos, a partir dos parâmetros do processo.

Caso as condições anteriores sejam satisfeitas poder-se-á dar início à Fase 2 do controlo estatístico, onde se pretende fazer o acompanhamento do processo, tendo-se sempre de verificar a existência de causas especiais e fazer periodicamente análises a nível de independência e distribuição dos dados, assim como a nível capacidade dos processos.

Há ainda a reter a ideia de que sempre que ocorra uma causa especial na Fase 1 deve-se eliminar o ponto responsável pela causa especial, construindo-se a carta revista, com os novos limites de controlo e linha central. Por outro lado, na Fase 2 quando surge uma causa especial deverá identificar se a razão para a ocorrência da causa especial, com aplicação das correspondentes acções correctivas.

Para terminar este capítulo alusivo ao controlo estatístico de processos, mais precisamente à utilização das cartas de controlo, é de referir que periodicamente deve-se determinar os parâmetros do processo, após inicio da Fase 2, assim como verificar se as condições de aplicação do controlo estatístico se mantêm. Este facto é de extrema importância, pois muitas vezes um processo pode sofrer ligeiras alterações, que devem ser correctamente acompanhadas de forma a ter processos eficientes e produtos conformes.

## Capítulo 3 - “Pequenas Produções”

### 3.1 - Introdução

O capítulo 3 é respeitante a outros desenvolvimentos relacionados com o controlo estatístico de processos.

Tendo em conta as necessidades actuais das empresas e a alteração do mercado em relação à primeira metade do século XX faz-se a abordagem das “*Short Runs*” e do modo de implementar o SPC a esta nova realidade.

### 3.2 - “Pequenas Produções”

Na actualidade o mundo empresarial é extremamente competitivo, sendo uma tendência actual a procura da redução dos stocks intermédios entre processos de fabrico e stock de produtos acabados. Perante este cenário o controlo da qualidade e mais especificamente o controlo estatístico do processo sofreu diversas evoluções adaptadas a processos de fabrico com cada vez menor número de unidades produzidas.

Sendo assim, surge o conceito de pequena produção (“*short run*”) associado ao controlo estatístico, que não é mais do que aplicar conceitos e fazer adaptações do controlo estatístico tradicional às novas necessidades e tendências das empresas. Esta temática deverá utilizar-se em determinadas condições, tais como: produção por lotes e em séries curtas de produção

À semelhança das cartas apresentadas em 2.5.1, também na temática das pequenas produções existem cartas de controlo de variáveis e de atributos, tendo sido alvo de referências por parte de diversos autores, como por exemplo: Quesenberry (1997), Wise e Fair (1998), Montgomery (2001), Ott, Shilling e Neubauer (2005) e Pereira e Requeijo (2008).

No que respeita às cartas de controlo de variáveis, devem ser consideradas as cartas em que existem número suficiente de dados para estimar os parâmetros do processo e quando o número de dados é insuficiente para estimar os parâmetros do processo. É ainda de referir que para estas cartas aplicam-se os mesmos princípios que são aplicados nas cartas tradicionais, mesmo no que respeita à detecção de padrões não aleatórios através da norma ISO 8258:1991.

TABELA 3.1 - TIPO DE CARTAS DE VARIÁVEIS PARA PEQUENAS PRODUÇÕES

Tipo de Carta	
Cartas das Diferenças - Cartas <i>D</i>	Número suficiente de dados para estimar os parâmetros do processo
Cartas <i>Z</i> e <i>W</i>	
Cartas <i>Q</i>	Número insuficiente de dados para estimar os parâmetros do processo

### 3. "Pequenas Produções"

Em relação às cartas de controlo para situações em que as características são caracterizadas por variáveis discretas há a considerar as situações em que os parâmetros do processo não são conhecidos e quando são conhecidos.

TABELA 3.2 - TIPOS DE CARTAS DE ATRIBUTOS PARA PEQUENAS PRODUÇÕES

Tipos de Cartas de Controlo		
	Cartas de Proporção não Conforme	Cartas de Defeitos por Unidade
Parâmetros do Processo Conhecidos	Carta $Z_p$	Carta $Z_u$
Parâmetros do Processo não Conhecidos	Carta $Q_p$	Carta $Q_u$

#### 3.2.1 - Cartas das Diferenças - Cartas $D$

Este tipo de cartas costuma ser aplicado essencialmente na Fase 2, após estimação dos parâmetros do processo  $\mu$  e  $\sigma$ . Neste tipo de cartas é possível representar numa só carta diversas características, independentemente do produto.

O parâmetro de localização é controlada através da carta das diferenças, enquanto a dispersão é controlada através de uma das cartas tradicionais apresentadas no capítulo 2 (carta  $MR$ , carta  $R$ , carta  $S$  e carta  $S^2$ ).

Um aspecto a realçar para aplicação das cartas  $D$  é necessário que não existam diferenças significativas entre as variâncias dos diferentes processos a representar na mesma carta. Para verificar se existem diferenças significativas das diversas variâncias pode-se recorrer ao teste de Bartlett ou ao Método de Empírico.

##### 3.2.1.1 - Carta de Observações Individuais e Carta da Amplitude Móvel

O controlo da média é efectuada a partir da carta das diferenças  $D_X$  e o controlo da dispersão realiza-se através de uma carta  $MR$ .

A estatística  $D_X$  é obtida em cada instante  $i$  para o produto  $j$  através

$$(d_i)_j = (X_i - \mu)_j \quad (3.1)$$

ou

$$(d_i)_j = (X_i - T)_j \quad (3.2)$$

Sendo

$X_i$  - observação individual  $i$

$\mu$  - média do produto  $X$

$T$  - valor alvo o produto  $X$

Os limites de controlo para as cartas tratadas neste ponto são definidos na tabela 3.3.

TABELA 3.3 - LIMITES DE CONTROLO E LINHA CENTRAL DA CARTA  $D_X$  E CARTA  $MR$

Carta	LIC	LC	LSC
$D_X$	$-\frac{3}{d_2}\overline{MR}$	0	$\frac{3}{d_2}\overline{MR}$
$MR$	$D_3\overline{MR}$	$\overline{MR}$	$D_4\overline{MR}$

As constantes  $d_2$ ,  $D_3$  e  $D_4$  dependem do tamanho da amplitude móvel, tal como em 2.5.2.1 e podem ser consultados no V.

### 3.2.1.2 - Carta da Média e Carta da Amplitude

Neste tipo de cartas a localização da característica é controlada através da carta das diferenças da média  $D_{\bar{X}}$  e a dispersão é controlada pela carta  $R$ .

Os valores de  $D_{\bar{X}}$  são obtidos no instante  $i$  para o produto  $j$

$$(d_i)_j = (\bar{X}_i - \mu)_j \quad (3.3)$$

ou

$$(d_i)_j = (\bar{X}_i - T)_j \quad (3.4)$$

Sendo

$\bar{X}_i$  – média da amostra  $i$

$\mu$  – média do produto  $X$

$T$  - valor alvo o produto  $X$

No que respeita aos limites de controlo das cartas  $D_{\bar{X}}$  e  $R$  são apresentados na tabela 3.4.

TABELA 3.4 - LIMITES DE CONTROLO E LINHA CENTRAL DA CARTA  $D_{\bar{X}}$  E CARTA  $R$

Carta	LIC	LC	LSC
$D_{\bar{X}}$	$-A_2\bar{R}$	0	$A_2\bar{R}$
$R$	$D_3\bar{R}$	$\bar{R}$	$D_4\bar{R}$

As constantes  $A_2$ ,  $D_3$  e  $D_4$  dependem exclusivamente da dimensão das amostras sendo obtidos com base na tabela do V.

### 3.2.1.3 - Carta da Média e Carta do Desvio Padrão

A média é novamente controlada pela carta  $D_{\bar{X}}$ , enquanto a dispersão é controlada através de uma carta  $S$ , sendo os limites de controlo representados na tabela 3.5.

TABELA 3.5 - LIMITES DE CONTROLO E LINHA CENTRAL DA CARTA  $D_{\bar{X}}$  E CARTA  $S$

Carta	LIC	LC	LSC
$D_{\bar{X}}$	$-A_3\bar{S}$	0	$A_3\bar{S}$
$S$	$B_3\bar{S}$	$\bar{S}$	$B_4\bar{S}$

As constantes  $A_3$ ,  $B_3$  e  $B_4$  dependem exclusivamente da dimensão das amostras sendo obtidos com base na tabela do V.

### 3.2.2 - Cartas de Controlo $Z$ e $W$

As cartas  $Z$  e  $W$  tal como as cartas das diferenças permitem controlar estatisticamente diferentes características dos produtos e devem ser aplicadas essencialmente na Fase 2 do controlo estatístico, pois as suas estatísticas têm em conta os parâmetros do processo  $\mu$  e  $\sigma$ .

Estes tipos de cartas, ao contrário das cartas das diferenças, aplicam-se mesmo que existam diferenças significativas das diversas variâncias, pois procede-se à transformação dos dados, tornando-os adimensionais. Por esta razão estas cartas são construídas por ordem cronológica, independentemente do produto com os valores de  $(Z_i)_j$  e  $(W_i)_j$ , em que  $i$  representa o instante e  $j$  o produto.

Por outro lado, tal como acontece nas cartas tradicionais referidas no capítulo 2, também para estas cartas é necessário que os dados sejam independentes e com uma distribuição Normal.

O controlo a efectuar a uma determinada característica é efectuada à semelhança das cartas até aqui apresentadas, através de uma carta de controlo para a média (carta  $Z$ ) e uma outra carta para controlo da dispersão (carta  $W$ ), sendo que na tabela 3.6 são referidas as cartas apresentadas neste ponto.

TABELA 3.6 - TIPOS DE CARTAS DE CONTROLO  $Z$  E  $W$

Tipos de Cartas de Controlo $Z$ e $W$
Carta de Observações Individuais e Carta da Amplitude Móvel (Carta $Z_X$ e Carta $W_{MR}$ )
Carta da Média e Carta da Amplitude (Carta $Z_{\bar{X}}$ e Carta $W_R$ )
Carta da Média e Carta do Desvio Padrão (Carta $Z_{\bar{X}}$ e Carta $S$ )

### 3.2.2.1 - Carta de Observações Individuais e Carta da Amplitude Móvel

Quando a característica  $X$  exige a recolha de amostras com dimensão um recorre-se a observações individuais.

Portanto a carta  $Z_X$  para o controlo da média do processo é definida por

$$(Z_i)_j = \left( \frac{X_i - \mu}{\sigma} \right)_j \quad (3.5)$$

A carta  $W_{MR}$  para controlo da dispersão do processo é definida por

$$(W_i)_j = \left( \frac{MR_i}{d_2 \sigma} \right)_j = \left( \frac{MR_i}{\overline{MR}} \right)_j \quad (3.6)$$

sendo que no caso de o tamanho da amplitude móvel ser de duas observações pode-se definir

$$(W_i)_j = (|Z_i - Z_{i-1}|)_j \quad (3.7)$$

Os valores de  $\mu$  e  $\sigma$  são estimados respectivamente por  $\bar{X}$  e  $\frac{\overline{MR}}{d_2}$  obtidos na Fase 1 do controlo estatístico.

Na tabela 3.7 são apresentados os limites de controlo para as cartas  $Z_X$  e  $W_{MR}$ .

TABELA 3.7 - LIMITES DE CONTROLO DAS CARTAS  $Z_X$  E  $W_{MR}$

Carta	LIC	LC	LSC
$Z_X$	-3	0	3
$W_{MR}$	$D_3$	1	$D_4$

As constantes  $d_2$ ,  $D_3$  e  $D_4$  são apresentados na tabela do anexo V.

### 3.2.2.2 - Carta da Média e Carta da Amplitude

Este tipo de cartas utilizam-se quando as amostras caracterizam-se por terem dimensão superior a um, sendo os valores das variáveis  $Z_{\bar{X}}$  e  $W_R$  definidos respectivamente por

$$(Z_i)_j = \left( \frac{\bar{X}_i - \mu}{\sigma_{\bar{X}}} \right)_j = \left( \frac{\bar{X}_i - \mu}{\sigma / \sqrt{n_i}} \right)_j \quad (3.8)$$

$$(W_i)_j = \left(\frac{R_i}{d_2\sigma}\right)_j = \left(\frac{R_i}{\bar{R}}\right)_j \quad (3.9)$$

Os valores de  $\mu$  e  $\sigma$  são estimados respectivamente por  $\bar{\bar{X}}$  e  $\frac{\bar{R}}{d_2}$  obtidos na Fase 1 do controlo estatístico.

No que respeita aos limites das cartas  $Z_{\bar{X}}$  e  $W_R$  são iguais aos limites das cartas  $Z_X$  e  $W_{MR}$ , representados na tabela 3.7.

É aconselhável o uso de amostras com igual dimensão, caso contrário os limites de controlo para a carta  $W_R$  serão também variáveis, impossibilitando nesta carta o uso de quase todas as regras para detecção de padrões não aleatórios.

### 3.2.2.3 - Carta da Média e Carta do Desvio Padrão

A variável  $Z_{\bar{X}}$  é definida da equação 3.8, enquanto a variável  $W_S$  é obtida por

$$(W_i)_j = \left(\frac{S_i}{c_4\sigma}\right)_j = \left(\frac{S_i}{\bar{S}}\right)_j \quad (3.10)$$

Os valores de  $\mu$  e  $\sigma$  são estimados respectivamente por  $\bar{\bar{X}}$  e  $\frac{\bar{S}}{c_4}$  obtidos na fase 1 do controlo estatístico.

Na tabela 3.8 são apresentados os limites de controlo para as cartas  $Z_{\bar{X}}$  e  $W_S$ .

TABELA 3.8 - LIMITES DE CONTROLO DAS CARTAS  $Z_{\bar{X}}$  E  $W_S$

Carta	LIC	LC	LSC
$Z_{\bar{X}}$	-3	0	3
$W_S$	$B_3$	1	$B_4$

As constantes  $c_4$ ,  $B_3$  e  $B_4$  são apresentados na tabela do anexo V.

As considerações a respeito do impacte da variação da dimensão das amostras na carta  $Z_{\bar{X}}$  e  $W_R$  é igual para a carta  $Z_X$  e  $W_S$ .

### 3.2.2.4 - Análise de Capacidade das Cartas Z e W

Tendo por base que estas cartas são preferencialmente aplicáveis na Fase 2, aquando da monitorização do processo, ou seja, o acompanhamento do processo à medida que são feitas as inspecções de processo, faz todo o sentido o cálculo da capacidade em cada observação.

Pereira e Requeijo (2008) desenvolveram índices específicos a visualizar nas cartas  $Z$ , que são calculados em cada instante  $i$ .

Para o estudo da capacidade são determinados dois índices  $Z_I$  e  $Z_S$  cujo fundamento baseia-se no índice  $C_{pk}$ , sendo o processo considerado com capacidade caso os índices sejam maiores ou iguais a  $k$ .

Tendo em conta o que foi referido em 2.7 em que se considerava um processo capaz a partir de valores de índice de capacidade de 1,33, aqui também se considera capaz um processo com valor mínimo  $k = 1,33$  se a especificação for bilateral, enquanto um processo com especificação unilateral considera-se capaz se  $k \geq 1,25$ . Pelo que se  $Z_I$  e  $Z_S$  forem respectivamente determinados da seguinte forma para o produto  $j$ .

$$(Z_I)_j = \left( \frac{LIE - \mu}{k\sigma} \right)_j \quad (3.11)$$

$$(Z_S)_j = \left( \frac{LSE - \mu}{k\sigma} \right)_j \quad (3.12)$$

Considera-se um processo capaz se

$$(Z_I)_j \leq -3 \quad (3.13)$$

$$(Z_S)_j \geq 3 \quad (3.14)$$

Se as características têm especificação unilateral deve-se considerar  $(Z_I)_j \leq -3$  quando a característica apenas possui limite inferior de especificação, em raciocínio contrario, caso apenas exista limite superior de especificação deve-se considerar a condição  $(Z_S)_j \geq 3$ .

Torna-se extremamente fácil por observação directa da carta  $Z$  definir se o processo é capaz ou não. Ao mesmo tempo considerando um processo capaz, admite-se que a variabilidade do processo diminui sempre que os índices de capacidade se encontrem mais afastados do intervalo definido pelos limites de controlo.

Uma outra potencialidade deste tipo de índices está relacionada com a possibilidade de avaliar se um processo é centrado, pois considera-se um processo centrado se  $|Z_I| \approx |Z_S|$ .

Porém há a considerar o modo de determinação dos parâmetros do processo, pois veja-se que os índices são representados em cada instante  $r$  para o produto  $j$  da forma:

$$\left( (\hat{Z}_I)_r \right)_j = \left( \frac{LIE - \hat{\mu}_r}{k\hat{\sigma}_r} \right)_j \quad (3.15)$$

$$\left( (\hat{Z}_S)_r \right)_j = \left( \frac{LSE - \hat{\mu}_r}{k\hat{\sigma}_r} \right)_j \quad (3.16)$$

### 3. "Pequenas Produções"

---

No caso das características serem tratadas como observações individuais, os parâmetros do processo  $\hat{\mu}_r$  e  $\hat{\sigma}_r$  determinam-se através das seguintes equações:

$$\hat{\mu}_r = \bar{X}_r \quad (3.17)$$

$$\hat{\sigma}_r = \frac{\overline{MR}_r}{d_2} \quad (3.18)$$

Sendo que

$$\bar{X}_r = \frac{1}{r}((r-1)\bar{X}_{r-1} + X_r), r = 2,3 \dots \quad (3.19)$$

$$\overline{MR}_r = \frac{1}{r}((r-1)\overline{MR}_{r-1} + MR_r), r = 3,4 \dots \quad (3.20)$$

Quando as características são tratadas através de amostras com  $n \geq 2$ , os parâmetros do processo  $\hat{\mu}_r$  e  $\hat{\sigma}_r$  determinam-se através das seguintes equações:

$$\hat{\mu}_r = \bar{\bar{X}}_r \quad (3.21)$$

$$\hat{\sigma}_r = \frac{\bar{S}_r}{c_4} \quad (3.22)$$

$$\hat{\sigma}_r = \frac{\bar{R}_r}{d_2} \quad (3.23)$$

Sendo que

$$\bar{\bar{X}}_r = \frac{1}{r}((r-1)\bar{\bar{X}}_{r-1} + \bar{X}_r), r = 2,3 \dots \quad (3.24)$$

$$\bar{S}_r = \frac{1}{r}((r-1)\bar{S}_{r-1} + S_r), r = 2,3 \dots \quad (3.25)$$

$$\bar{R}_r = \frac{1}{r}((r-1)\bar{R}_{r-1} + R_r), r = 2,3 \dots \quad (3.26)$$

Porém há a registar que quando se está no primeiro instante da Fase 2 utiliza-se  $\bar{\bar{X}}_{r-1} = \mu$ , assim como  $\bar{S}_{r-1} = \bar{S}$ , em que  $r = m + 1$ , com  $m$  sendo o número de amostras utilizado na Fase 1.

As constantes  $d_2$  e  $c_4$  são obtidas a partir da tabela do anexo V.

Por fim é extremamente importante fazer uma ressalva em relação à interpretação das cartas  $Z$  e  $W$ , pois quando se detecta uma causa especial dever-se-á investigar o problema devendo-se tomar as medidas correctivas necessárias, sendo que os índices de capacidade não deverão ser determinados nesse instante.

Caso surja algum ponto sem capacidade deve-se parar o processo, investigar o problema e tomar as medidas necessárias, e eventualmente reiniciar o SPC na Fase 1.

### 3.2.3 - Cartas $Q$

A temática das cartas  $Q$  foi amplamente desenvolvida por Quesenberry (1997) que apresentou uma metodologia para este tipo de cartas quando os parâmetros são conhecidos, desconhecidos e quando apenas se conhece um dos parâmetros. Porém nesta dissertação apenas se apresenta o desenvolvimento quando ambos os parâmetros não são conhecidos.

Dentro da metodologia desenvolvida respeitante às cartas de pequenas produções referidas anteriormente existem as cartas  $Q$  desenvolvidas quando não existem dados suficientes para estimar os parâmetros do processo  $\mu$  e  $\sigma$ . Esta situação acontece essencialmente nos casos de produção por lotes com número reduzido de unidades e normalmente durante um longo período de tempo.

O controlo estatístico do processo através deste tipo de cartas não constitui o fundamento do controlo em duas Fases, nem muito menos a aplicação na Fase 2 do controlo estatístico, como é o caso das restantes cartas referidas no presente capítulo referentes à temática das pequenas produções. Sendo assim nas cartas  $Q$ , assim que se inicia a sua construção inicia-se também a monitorização do processo.

Segundo Quesenberry (1997), a construção deste tipo de cartas assenta na transformação da variável contínua  $X$  numa variável  $Q$ , sendo que  $Q$  segue aproximadamente uma distribuição Normal reduzida, assumindo-se que  $X$  é independente e identicamente distribuída segundo uma distribuição Normal  $N(\mu, \sigma^2)$ .

As premissas adoptadas nas restantes cartas deste capítulo integram-se completamente nas cartas de controlo  $Q$ , pois é possível controlar características de vários produtos através da utilização de amostras ou observações individuais. É ainda de realçar que o controlo também se faz através de uma carta para controlo da estatística de localização e outra para controlo da estatística de dispersão.

#### 3.2.3.1 - Cartas $Q$ para Observações Individuais e Amplitudes Móveis

A variável  $X$ , constituída por observações individuais é transformada no instante  $r$  na estatística  $Q$ , construindo-se a carta de controlo  $Q(X)$  para controlo da média do processo.

$$Q_r(X_r) = \Phi^{-1} \left\{ G_{r-2} \left[ \sqrt{\frac{r-1}{r}} \left( \frac{X_r - \bar{X}_{r-1}}{S_{r-1}} \right) \right] \right\}, r = 3, 4 \dots \quad (3.27)$$

Pela equação verifica-se que o primeiro ponto na carta  $Q(X)$  é apresentado no instante  $r = 3$ , pelo que assim é possível controlar a média a partir de  $r = 3$ .

A dispersão do processo será controlada através da carta  $Q(MR)$  no instante  $r$ . Sendo assim a estatística  $Q$  para a dispersão é a transformação da estatística  $MR$  a partir da equação 3.28.

$$Q_r(MR_r) = \Phi^{-1} \left\{ F_{1,\nu} \left( \frac{\nu(MR)_r^2}{(MR)_2^2 + (MR)_4^2 + \dots + (MR)_{r-2}^2} \right) \right\}, r = 4, 6 \dots; \nu = \frac{r}{2} - 1 \quad (3. 28)$$

Pela equação anterior verifica-se que a dispersão é controlada a partir do instante  $r = 4$  e só é calculada quando  $r$  é par.

Sendo

$X_r$  - observação no instante  $r$

$\bar{X}_{r-1}$  - média das observações anteriores ao instante  $r$

$MR_r$  - amplitude móvel no instante  $r$

$S_{r-1}$  - desvio padrão das observações anteriores ao instante  $r$

$\Phi^{-1}$  - inverso da Função de Distribuição Normal

$G_{r-2}$  - Função de Distribuição t-student com  $r - 2$  graus de liberdade

$F_{1,\nu}$  - Função de Distribuição de Fisher com 1 e  $\nu$  graus de liberdade

### 3.2.3.2 - Cartas Q para a Média e Variância

Quando é possível obter amostras utiliza-se no controlo da média a carta  $Q(\bar{X})$ . A média da amostra  $\bar{X}_i$  é transformada na variável  $Q$  em cada amostra  $i$  construindo-se assim a carta  $Q(\bar{X})$ .

$$Q_i(\bar{X}_i) = \Phi^{-1} \left( G_{n_1 + \dots + n_{i-1}}(\omega_i) \right) = \Phi^{-1} \left( G_{\nu_1 + \dots + \nu_i}(\omega_i) \right), i = 2, 3 \dots; \nu_i = n_i - 1 \quad (3. 29)$$

Como se pode verificar a partir da equação 3.29 o controlo da média inicia-se a partir da amostra  $i = 2$ .

A dispersão é controlada com base nas variâncias amostrais, construindo-se a carta  $Q(S^2)$  a partir da amostra  $i = 2$ .

$$Q_i(S_i^2) = \Phi^{-1} \left( F_{n_i-1, n_1 + \dots + n_{i-1} - i - 1}(\theta_i) \right) = \Phi^{-1} \left( F_{\nu_i, \nu_1 + \dots + \nu_{i-1}}(\theta_i) \right), i = 2, 3 \dots \quad (3. 30)$$

É necessário ter em atenção as seguintes equações

$$\omega_i = \sqrt{\frac{n_i(n_1 + \dots + n_{i-1})}{n_1 + \dots + n_i}} \left( \frac{\bar{X}_i - \bar{X}_{i-1}}{S_{p,i-1}} \right) \quad (3. 31)$$

$$S_{p,i}^2 = \frac{(n_1-1)S_1^2 + \dots + (n_{i-1}-1)S_{i-1}^2}{n_1 + \dots + n_{i-1}} \quad (3. 32)$$

$$\bar{X}_i = \frac{1}{i} \left( (i-1)\bar{X}_{i-1} + \bar{X}_i \right) \quad (3. 33)$$

$$\theta_i = \frac{S_i^2}{S_{p,i-1}^2} \quad (3.34)$$

Sendo

$n_i$  - dimensão da amostra  $i$

$\bar{X}_i$  - média da amostra  $i$

$\bar{\bar{X}}_i$  - média das médias de  $i$  amostras

$S_{p,i}^2$  - variância combinada de  $i$  amostras

Como foi dito no início da apresentação das cartas de controlo  $Q$ , a estatística  $Q$  em cada uma das diferentes cartas é Normalmente distribuída segundo a distribuição Normal reduzida, pelo que na tabela 3.9 estão representados os limites de controlo e linha central das referidas cartas.

TABELA 3.9 - LIMITES DE CONTROLO DAS CARTAS  $Q$

Carta	LIC	LC	LSC
$Q(X)$	-3	0	3
$Q(MR)$	-3	0	3
$Q(\bar{X})$	-3	0	3
$Q(S^2)$	-3	0	3

### 3.2.3.3 - Análise de Capacidade para as Cartas de Controlo $Q$

À semelhança das cartas de controlo  $Z$  e  $W$  a análise de capacidade para as cartas  $Q$  também se efectua através de dois índices de capacidade representados na carta de controlo correspondente à estatística de localização ( $Q(X)$  ou  $Q(\bar{X})$ ). Como tal, determinam-se os índices  $Q_I$  e  $Q_S$  em cada instante com base no pressuposto do índice  $C_{pk}$ .

Sendo assim os índices de capacidade para as cartas de controlo  $Q$  são obtidos no instante  $r$  por

$$(\hat{Q}_I)_r = \frac{LIE - \hat{\mu}_r}{k\hat{\sigma}_r} \quad (3.35)$$

$$(\hat{Q}_S)_r = \frac{LSE - \hat{\mu}_r}{k\hat{\sigma}_r} \quad (3.36)$$

### 3. "Pequenas Produções"

---

Para estimar os parâmetros do processo  $\hat{\mu}_r$  e  $\hat{\sigma}_r$  devem-se considerar quando se trata de controle de observações individuais ou de amostras as seguintes equações.

Para observações individuais

$$\hat{\mu}_r = \bar{\bar{X}}_r \quad (3.37)$$

$$\hat{\sigma}_r = \frac{S_r}{c_4} \quad (3.38)$$

Para amostras

$$\hat{\mu}_r = \bar{\bar{X}}_r \quad (3.39)$$

$$\hat{\sigma}_r = \frac{S_{p,r}}{c_4} \quad (3.40)$$

Todos os princípios adoptados e pressupostos de análise do estudo de capacidade para as cartas  $Z$  e  $W$  são os mesmo para o estudo de capacidade nas cartas  $Q$ .

Assim como a ocorrência de causas especiais e pontos sem capacidade.

A constante  $c_4$  pode ser consultada na tabela do anexo V e que tem em consideração não o tamanho da amostra, mas sim o valor de  $r$ .

## Capítulo 4 - Caracterização da Empresa

---

### 4.1- Introdução

No presente capítulo faz-se uma breve apresentação da empresa que serviu de suporte à presente dissertação tanto a nível de organização como de produção.

### 4.2 - A empresa

A empresa onde se desenvolveu este trabalho relativo ao Controlo Estatístico do Processo foi a Mitsubishi Fuso Truck Europe, S.A, também conhecida por MFTE, com sede no Tramagal – Portugal, faz parte do grupo japonês Mitsubishi Fuso Truck & Bus Corporation. Esta empresa é um fabricante europeu de veículos comerciais, denominados por Mitsubishi Canter.

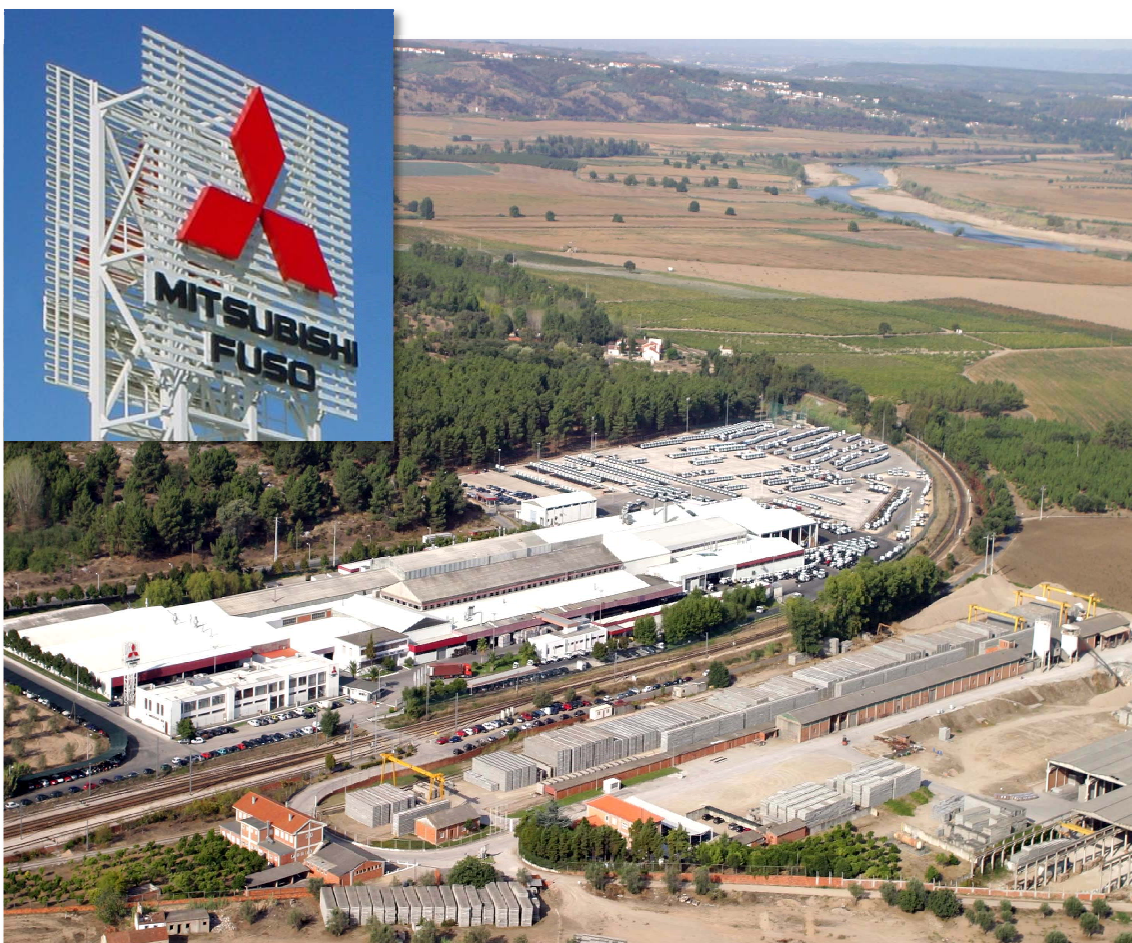


FIGURA 4.1 - MITSUBISHI FUSO TRUCK EUROPE



FIGURA 4.2 - MITSUBISHI CANTER

Esta fábrica possui um capital social de 7 500 000 € e com um volume de vendas no ano de 2008 de cerca de 10 856 unidades, possuindo uma totalidade de 445 trabalhadores.

A fábrica data desde 1964 com a fabricação de camiões, sendo que modelos da Mitsubishi (Canter, Fuso, L200, L300 e Pajero) começam a ser produzidos na fábrica do Tramagal em 1980 e só a partir de 1996 a produção baseou-se apenas na Mitsubishi Canter, denominando-se desde então por MFTE.

Em 2001 a Daimler junta-se à Mitsubishi no sector dos camiões e autocarros sendo que a partir de 2005 fica com 85% da MFTBC (Mitsubishi Fuso Truck & Bus Corporation), enquanto o Mitsubishi Group fica com os restantes 15% da MFTBC. A MFTBC detém na totalidade a MFTE.

#### 4.2.1 - Organização da Empresa

A MFTE é composta por um Director Geral e por nove departamentos, sendo que alguns deles pertencem a uma mesma área organizacional.

TABELA 4.1 - ÁREAS ORGANIZATIVAS E RESPECTIVOS DEPARTAMENTOS

Áreas	Departamentos
Operações	Engenharia de planeamento
	Produção
	Logística
Recursos Humanos e Administração Geral	Recursos Humanos
Finanças e Controlo	Finanças
	Controlo

Os departamentos de Gestão da Qualidade, Localização e Contratos não pertencem a nenhuma área organizacional em específico. Porém todos os departamentos estão ainda subdivididos em áreas funcionais.

Toda esta organização da MFTE pode ser consultada no organigrama apresentado no anexo I.1.

#### 4.2.1 - Produto

Como foi já referido a Mitsubishi fuso Truck Europe é responsável pela produção do modelo Canter, porém dentro deste modelo existem diversas versões diferentes consoante as especificações técnicas. A cada combinação de especificações técnicas corresponde um determinado sistema de codificação de cada modelo (anexo I.2).

Contudo dentro do âmbito deste trabalho não interessam todas as especificações técnicas, pois apenas se vai ter em consideração os três primeiros pontos do sistema de codificação de cada modelo, estudando-se assim os modelos FB8, FE8 e FE7, sendo de realçar que a taxa de produção do modelo FE7 é muito inferior em comparação com os restantes, pois a sua procura é também bastante inferior.

Há ainda de referir que existem dois tipos de cabines: simples e duplas, sendo que no caso das duplas aparece a letra W no ponto 9 do sistema de codificação. Dentro deste tipo de cabines, estas ainda podem ser estreitas ou largas, diferido então na largura da cabine, sendo que esta especificação é caracterizada pelo ponto 3 do sistema de codificação.



FIGURA 4.3 - MITSUBISHI CANTER COM CABINE DUPLA



FIGURA 4.4 - MITSUBISHI CANTER COM CABINE SIMPLES

### 4.2.2 - Produção

Na MFTE deverão ser consideradas seis linhas principais: eixos, rebiteagem, soldadura, E/D, pintura, revestimento e linha final representados na figura 4.5.

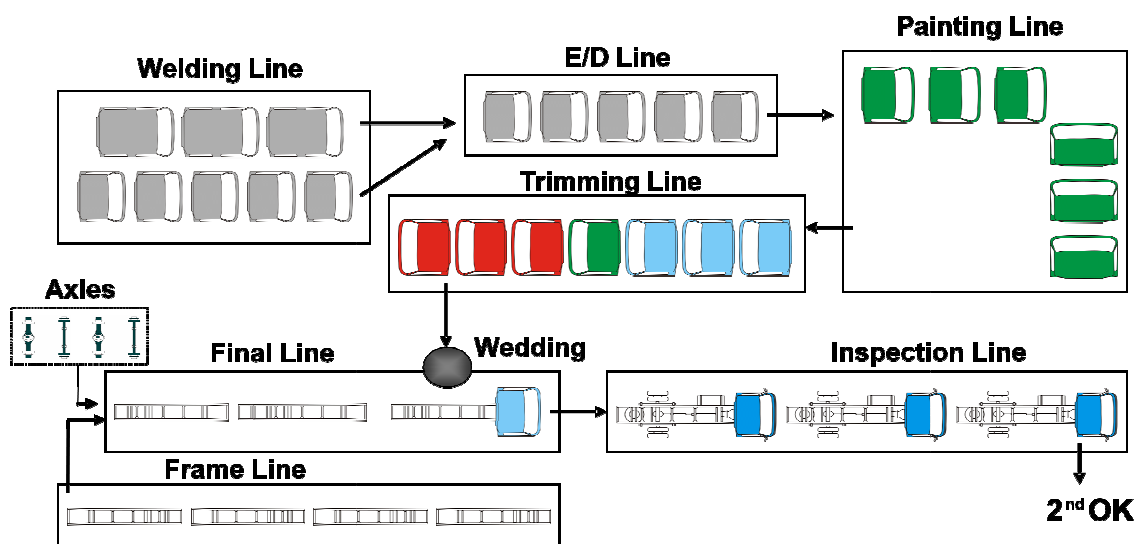


FIGURA 4.5 - LAYOUT DAS LINHAS DE MONTAGEM

Antes da zona do “*Wedding*” (casamento) pode-se dizer que existem dois tipos de processos: os processos relacionados com as cabines e os processos relacionados com os chassis.

Processos relacionados com as cabines são ordenados da seguinte forma:

- 1º. Linha de soldadura (“*Welding Line*”) - montagem da carroçaria da cabine



FIGURA 4.6 - LINHA DA SOLDADURA

2º. Linha de E/D (“E/D Line”) - pintura por electrodeposição, fazendo-se o tratamento anti-corrosão da chapa das cabines, através da introdução das cabinas em sucessivos banhos.



FIGURA 4.7 - ALGUNS DOS BANHOS DA LINHA DE E/D

3º. Linha de pintura (“Painting Line”) - introdução da cor desejada pelo cliente através de um sistema automático com robots.



FIGURA 4.8 - ZONA DE PINTURA

- 4º. Linha do Revestimento (“*Trimming Line*”) – introdução de borrachas, vidros, tablier, entre outros componentes de revestimento do interior das cabines.



FIGURA 4.9 - REVESTIMENTO

No que respeita aos processos relacionados com o chassis é necessário fazer referencia, previamente à introdução dos chassis na linha final, a linha de rebitagem e a linha dos eixos.

- Linha de rebitagem (“*Frame Line*”) – montagem e pintura dos chassis. No final desta linha encontra-se a zona de preparação de chassis para a linha final, em que se inserem uma série de cablagens e “*brackets*” no interior dos chassis.



FIGURA 4.10 - REBITAGEM

- Linha dos eixos (“Axles”) – montagem dos eixos dianteiros e traseiros



FIGURA 4.11 - LINHA DOS EIXOS

Assim que os chassis saem da zona de preparação dos chassis vão para a linha final onde o primeiro processo de montagem consiste na inserção dos eixos nos chassis. Após este processo fazem-se muitas outras montagens até ao “Wedding”, tais como introdução do motor. No “Wedding” dá-se a junção entre os chassis e as cabines.



FIGURA 4.12 - LINHA FINAL



FIGURA 4.13 - "WEDDING"

Após a linha final já se considera o veículo montado, sendo que de seguida se dirige para a linha de inspeção onde se faz inspeções a determinados pontos, tais como sistema de travões e iluminação. Nesta linha também se procede ao alinhamento da direcção.



FIGURA 4.14 - LINHA DE INSPECÇÃO FINAL

#### 4.2.3 - Qualidade

Uma prova da preocupação da Qualidade na MFTE é a baixa taxa de reclamações a respeito dos seus veículos, contudo devido ao mercado cada vez mais competitivo e com a necessidade inerente de melhorar, o departamento da Qualidade tem vindo a sofrer alterações a nível de organização para cada vez mais a produção atinja todos os requisitos necessários para que a Mitsubishi Canter continue a ser um produto de sucesso.

Posto isto, o departamento de qualidade é composto pela Quality Assurance, área em que a presente dissertação se integra e pela Parts Quality & Material Testing. A primeira área está intrinsecamente ligada à qualidade de montagens e sub-montagens dentro da fábrica, enquanto a segunda área está ligada à qualidade dos componentes recebidos e produzidos pelos fornecedores.

A empresa possui o seu sistema de gestão de qualidade, encontrando-se actualmente certificada pela norma ISO 9001:2000 e pela norma ISO/TS 16949:2002, norma esta associada à indústria automóvel e é complementar à primeira norma referida, reforçando-a nos seus requisitos. Estas normas em conjunto definem um sistema de gestão de qualidade para projecto, desenvolvimento e produção.

#### **4.2.4 - Logística**

Os componentes a incorporar nos veículos produzidos provêm do Japão e de um conjunto alargado de fornecedores europeus. Após a confirmação de qualidade, os veículos são distribuídos pelo mercado europeu por via terrestre ou marítima.

A MFTE é a única do grupo a produzir este modelo na Europa, pelo que abastece um grande mercado, sendo que no anexo I.3 podem ser consultadas as unidades vendidas em cada país europeu no ano de 2008.

#### **4.2.5 - Outras Certificações**

Para além das certificações referidas em 4.2.3 respeitantes directamente à área de qualidade há a referir outras certificações que a partir das quais se pode constatar a necessidade de melhorar em diversas áreas que indirectamente poderão traduzir-se na melhoria da qualidade da produção, assim como uma preocupação de posicionamento estratégico no que respeita à certificação.

Sendo assim na área da Gestão Ambiental a empresa é certificada pela ISO 14001:2004 e na área de Gestão de Segurança e Saúde no Trabalho segundo a norma OHSAS 18001:2007.

Sendo assim a MFTE procura hoje em dia ser reconhecida estrategicamente no seio da MFTBC, procurando sempre ser competitiva, flexível e produzir produtos de excelência, preocupando-se ao mesmo tempo com o seu grupo de colaboradores.

## Capítulo 5 - Parte Experimental

---

### 5.1 - Introdução

O capítulo 5 é constituído pela aplicação prática do Controlo Estatístico do Processo nas áreas de Soldadura e Rebitagem da Mitsubishi Fuso Truck Europe. É realizada a apresentação e caracterização exhaustiva das características da qualidade estudadas, assim como das técnicas que melhor se adaptam ao estudo dessas mesmas características.

Ao mesmo tempo, e sempre que necessário, são referenciados os problemas relacionados com os processos, referindo-se as medidas correctivas a adoptar, sempre num prisma de melhoria contínua.

### 5.2 - Soldadura

#### 5.2.1 - Introdução

Como já foi referido a soldadura é a área onde se efectua a montagem das cabines. Esta área é constituída por duas linhas paralelas e similares, uma para a montagem das cabines duplas e outra para a montagem das cabines simples.

Contudo, como apenas fazem parte deste estudo características inerentes às cabines simples, apenas se irá fazer alusão à linha dessas cabines.

Resumidamente pode dizer-se que a linha de soldadura para as cabines simples está dividida em cinco processos de sub-montagem, como se identifica na figura 5.1:

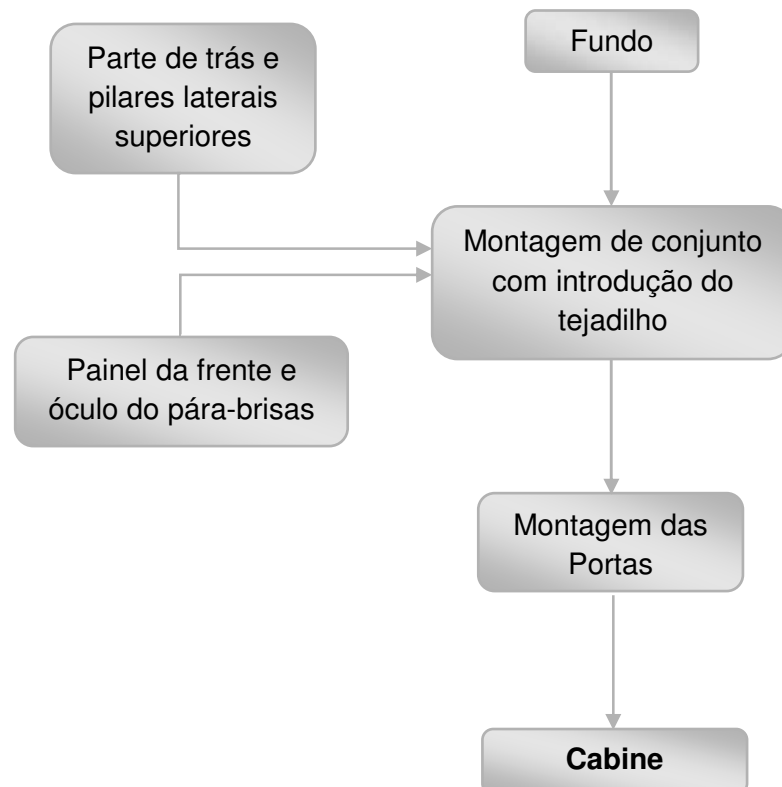


FIGURA 5.1 - DIAGRAMA DE MONTAGEM DAS CABINES SIMPLES

## 5. Parte Experimental

---

Para a montagem de uma cabine existem três processos de sub-montagem preliminar:

- Fundo da cabine;

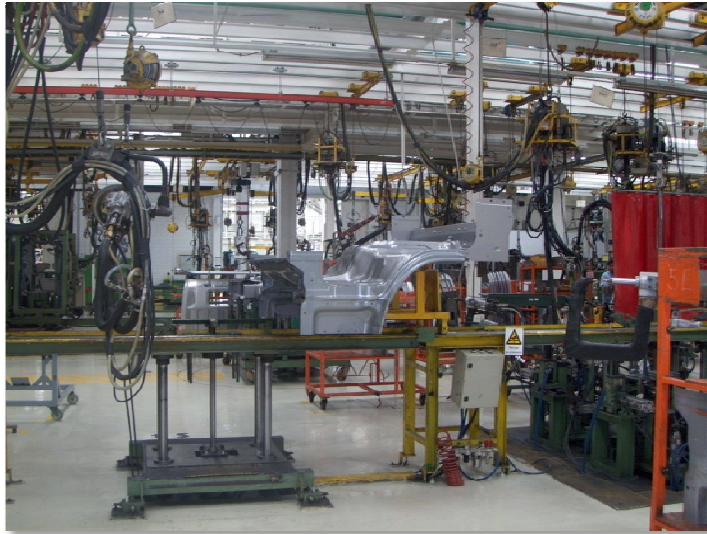


FIGURA 5.2 - FUNDO DA CABINE

- Parte de trás e pilares superiores;



FIGURA 5.3 - PARTE DE TRÁS E PILARES SUPERIORES

- Painel da frente e óculo do pára-brisas.

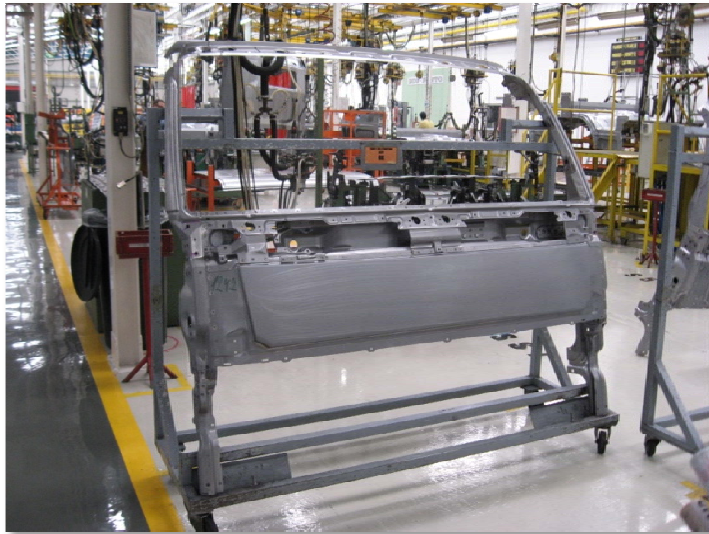


FIGURA 5.4 - PAINEL DA FRENTE

Após estes processos estarem concluídos procede-se à junção das montagens resultantes dos três processos preliminares com o tejadilho.



FIGURA 5.5 - CABINE MONTADA

De seguida procede-se ao processo de montagem das portas, dando-se assim a cabine por concluída.



FIGURA 5.6 - CABINE MONTADA COM AS PORTAS

### 5.2.2 - Características da Qualidade

As características em estudo na área de soldadura foram escolhidas pelo responsável da qualidade para esta área, com o objectivo de estudar características relacionadas com processos problemáticos na área em causa: montagem das portas e soldadura por pontos.

### 5.2.3 - Montagem das portas

Diversas entidades responsáveis dentro da MFTE para a área da soldadura, mencionam que a montagem das portas é um processo extremamente problemático tanto na própria fase de montagem como também no fim da linha. É de referir que a montagem das portas é manual, existindo apenas um suporte mecânico para deslocar as portas desde o *rack* de abastecimento da linha até à zona de colocação nas cabines.



FIGURA 5.7 - APOIO MECÂNICO DE MANUSEAMENTO DAS PORTAS

As características da qualidade a estudar no processo de montagem das portas referem-se às folgas e afloramentos resultantes dessa mesma montagem entre as portas e as cabines, em dois pontos distintos do conjunto porta cabine.

É ainda de realçar que apenas são estudadas a montagem das portas para as cabines simples largas.

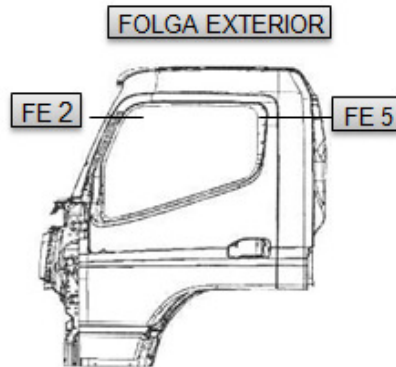


FIGURA 5.8 - ZONAS DAS FOLGAS EXTERIORES A ESTUDAR

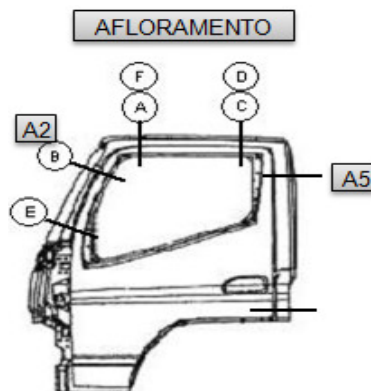


FIGURA 5.9 - ZONAS DOS AFLORAMENTOS A ESTUDAR

Nas figuras 5.8 e 5.9 são apresentadas as folgas e os afloramentos a estudar, contudo há que referir que o estudo faz-se separadamente para as portas esquerdas e direitas das cabines.

Como tal, na tabela 5.1 são apresentadas todas as características consideradas para o estudo do processo de montagem das portas, assim como os respectivos limites de especificação e valores nominais.

TABELA 5. 1 - CARACTERÍSTICAS DA QUALIDADE SELECIONADAS NA MONTAGEM DAS PORTAS

Tipo de características da Qualidade	Características da Qualidade		Especificação (mm)	Valor Nominal (mm)
Folgas	FE2 Esquerda	FE2 Direita	[4,4;7,4]	5,9
	FE5 Esquerda	FE5 Direita	[4,4;7,4]	5,9
Afloramentos	AF2 Esquerda	AF2 Direita	[-9; (-1)]	-1
	AF5 Esquerda	AF5 Direita	[-6; (-1)]	-1

### 5.2.3.1 - Recolha de dados

Uma vez que as folgas e afloramentos referem-se a um ponto específico em cada porta, as amostras a recolher são recolhidas com base em observações individuais. As recolhas são feitas de forma sistemática, com frequência de duas vezes por dia, pelo inspetor da qualidade na área da soldadura. Há que referir que dentro do registo obtido pela frequência estipulada, estão também inseridas as medições de cabines estreitas, que não são estudadas no presente trabalho.

As folgas são medidas com o auxílio de um paquímetro que mede a distância entre a porta e a cabine.

No que respeita aos afloramentos, estes são medidos com o auxílio de uma bitola em conjunto com uma régua de bico, fazendo assim uma avaliação quantitativa ao facto de as portas estarem mais para dentro ou para fora no que respeita ao perfil da cabine.

Como a cada inspeção corresponde uma única medição num determinado ponto, todas as características estudam-se segundo observações individuais ( $n = 1$ ).



FIGURA 5.10 - MEDIÇÃO DE AFLORAMENTOS

É ainda de referir que todos os equipamentos de medição encontram-se devidamente calibrados e dentro do plano anual de verificações da empresa.

### 5.2.3.2 - Análise dos dados

#### 5.2.3.2.1 - Metodologia

Para o estudo das características relativas à montagem das portas procurou-se fazer o controlo estatístico, com vista a determinar possíveis acções correctivas para a melhoria do processo em causa.

Por razões que são referidas mais adiante na presente dissertação, a metodologia adoptada para a implementação do controlo estatístico para as características AF5 esquerda e AF5 direita são diferentes da metodologia seguida para as outras características.

#### 5.2.3.2.2 - Controlo estatístico para as folgas e afloramentos das portas com excepção das características AF5.

O histórico estudado para as referidas características baseia-se nos últimos 100 dados até ao dia 24/06/2009 (anexos II.1 e II.2), a partir do qual se segue o seguinte procedimento.

1. Construir são as cartas  $X$  e  $MR$
2. Verificar se os processos se encontram sob controlo estatístico,
3. Verificar Normalidade dos dados, sendo que caso os dados não sejam Normais dever-se-á transformar os dados em Normais, procedendo-se então à comparação das cartas com os dados originais e com os dados transformados;
4. Estimar parâmetros dos processos;
5. Estudo da capacidade dos processos para dados Normais e não Normais.

#### a) Construção de cartas $X$ e $MR$ ;

Para a construção das cartas de controlo  $X$  e  $MR$  recorreu-se ao *software* "Statistica", tendo-se eliminado todos os pontos que se situavam fora do intervalo definido pelos limites de controlo.

Apenas se apresentam as cartas  $X$  e  $MR$  referentes à característica FE5 direita, sendo que as restantes cartas são apresentadas no anexo II.3.

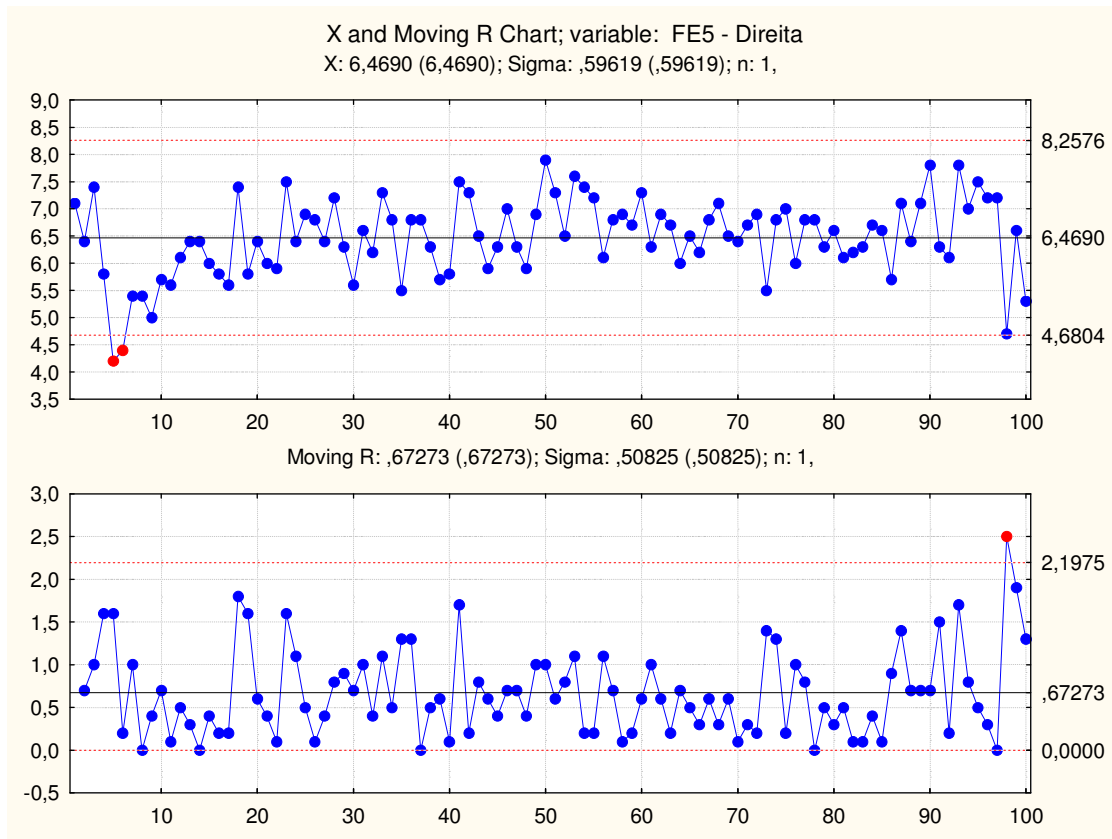


FIGURA 5.11 - CARTAS X E MR DA CARACTERÍSTICA FE5 DIREITA

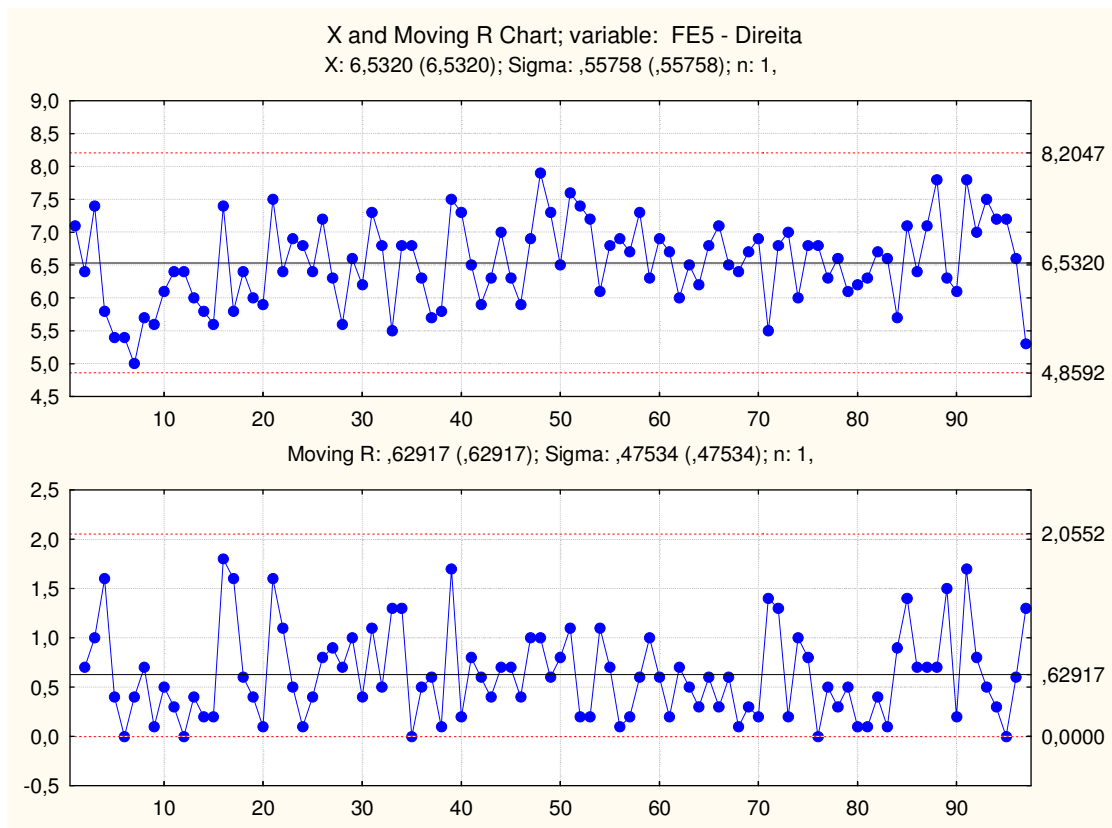


FIGURA 5.12 - CARTAS X E MR REVISTAS DA CARACTERÍSTICA FE5 DIREITA

Eliminaram-se os pontos nº 5 e 6, pois encontram-se abaixo do limite inferior de controlo da carta *X*.

Também foi eliminado o ponto 98, pelo facto de estar acima do limite superior de controlo na carta *MR*.

Na tabela 5.2 estão representados quais os pontos que se tiveram de eliminar para as características abordadas no presente tópico, sendo que no caso de pontos fora nas cartas *MR*, e em caso de eliminação de um outro ponto que não o referido, deve-se enunciar qual o ponto a eliminar.

TABELA 5. 2 - CAUSAS ESPECIAIS ENCONTRADAS NAS FOLGAS E AFLORAMENTOS ESTUDADOS

<b>FE2 esquerda</b>	<b>FE2 direita</b>
Ponto fora: 16 na <i>MR</i> , eliminando-se o 15	Nenhum ponto eliminado
<b>FE5 esquerda</b>	<b>FE5 direita</b>
Pontos fora: 5 e 16 nas cartas <i>X</i> e <i>MR</i> . Construíram-se então as novas cartas <i>X</i> e <i>MR</i> , obtendo-se novos pontos fora: 5, 10 e 12 na carta <i>X</i> .	Pontos fora: 5 e 6 na carta <i>X</i> e 98 na carta <i>MR</i> .
<b>AF2 esquerda</b>	<b>AF2 direita</b>
Ponto fora: 98 na carta <i>X</i>	Ponto fora: 81 na carta <i>X</i>

### b) Verificação da Normalidade dos dados

A Normalidade dos dados é uma condicionante fundamental para fazer correctas análises a partir do SPC, como referido em 2.6.3. Após a eliminação de todos os pontos fora do intervalo definido pelos limites de controlo, deve-se verificar o pressuposto de Normalidade dos dados para as diversas características seleccionadas.

Para isso, novamente através do “*Statistica*”, construíram-se para cada característica o respectivo histograma, realizando-se então o teste de Kolgomorov-Smirnov. Tal como para as cartas de controlo, apenas é ilustrado o histograma referente à característica FE5 direita, sendo apresentados os histogramas das restantes característica no anexo II.4.

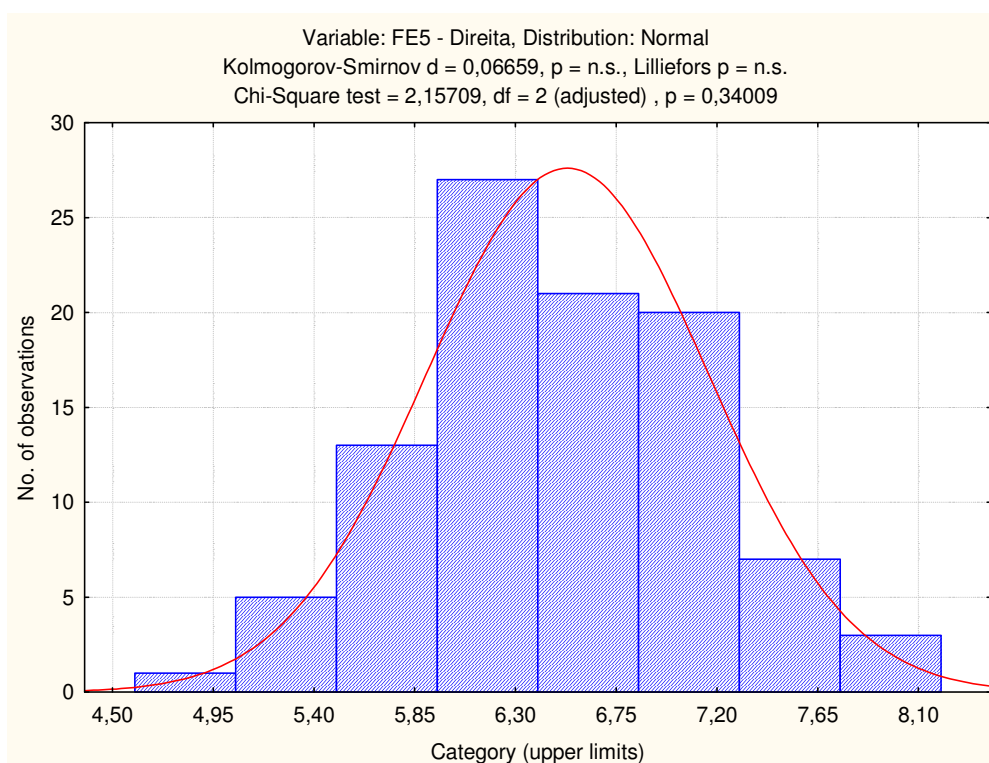


FIGURA 5.13 – VERIFICAÇÃO DA NORMALIDADE DA CARACTERÍSTICA FE5 DIREITA

Através do teste de Kolmogorov-Smirnov, a característica  $X$  da folga FE5 Direita segue a distribuição Normal, pois  $d < D_{Crítico}$ , para  $\alpha = 5\%$ . É de referir que  $d = 0,0667$ ;  $D_{Crítico} = \frac{0,886}{\sqrt{N}} = 0,09$ , tendo em conta que  $N=97$ .

Na tabela 5.3 é apresentado um resumo do estudo da Normalidade dos dados para as características estudadas na presente secção.

TABELA 5. 3 - RESUMO DO TESTE DE NORMALIDADE PARA TODAS AS CARACTERÍSTICAS EM ESTUDO

	FE2 Esquerda	FE2 Direita	FE5 Esquerda	FE5 Direita	AF2 Esquerda	AF2 Direita
$N$	99	100	95	97	99	99
$d$	0,0574	0,0788	0,0641	0,0666	0,0970	0,0665
$D_{Crítico}$	0,0890	0,0886	0,0909	0,0900	0,0890	0,0890
Verificação de Normalidade	Normal	Normal	Normal	Normal	Não Normal	Normal

Como se verifica através da tabela 5.3, todas as características apresentam distribuição Normal ( $d < D_{Crítico}$ ), com excepção da característica AF2 Esquerda ( $d > D_{Crítico}$ ). Como tal, sendo a Normalidade um requisito necessário para se proceder a uma correcta interpretação das cartas de controlo, qualquer conclusão assumindo uma distribuição Normal, quando ela não existe poderá conduzir a uma análise incorrecta da característica AF2 Esquerda, ainda para mais porque as características seleccionadas são controladas segundo observações individuais.

Posto isto, é necessário transformar os dados da característica AF2 esquerda, já a partir dos dados das cartas revistas (figura II.8 do anexo II.3), pela aplicação da

transformação dos dados através do *Sistema de Distribuições de Johnson*, mais precisamente pelo método dos percentis, enunciado em 2.8.4.3.

### b.1) Aplicação do método dos percentis para transformação dos dados da característica AF2 esquerda, através dos *Sistema de Distribuições de Johnson*

Para aplicar o método dos percentis tem-se como primeiro objectivo identificar a que família de distribuição de Johnson pertencem os dados da característica a estudar. Como tal, escolheu-se um  $z=0,524$  e um  $s=3$ , determinando-se assim as áreas da distribuição Normal reduzida relativamente aos percentis considerados.

$$q_1 = \Phi(-sz) = \Phi(-1,527) = 0,058$$

$$q_2 = \Phi(-z) = \Phi(-0,524) = 0,300$$

$$q_3 = \Phi(z) = \Phi(0,524) = 0,700$$

$$q_4 = \Phi(sz) = \Phi(1,527) = 0,942$$

Através  $i = N \times q_i + 0,5$  obtém-se a localização dos respectivos percentis  $X_i$  dos dados ordenados por ordem crescente.

TABELA 5. 4 - DETERMINAÇÃO DOS  $X_i$  DE CADA ÁREA DA DISTRIBUIÇÃO NORMAL

$q_i$	$i$	$X_i$
0,058	6,240	-3,276
0,300	30,214	-2,279
0,700	69,786	-1
0,942	93,760	0

Para se calcular o índice QR, a partir do qual se pode afirmar a que família de distribuição pertencem os dados, foi necessário calcular  $m$ ,  $n$  e  $p$ .

$$m = X_4 - X_3 = 1$$

$$n = X_2 - X_1 = 0,997$$

$$p = X_3 - X_2 = 1,279$$

Sendo então determinado o índice QR a partir da equação 2.50

$$QR = \frac{m \times n}{p^2} = 0,6101$$

Como o índice  $QR < 0,9$ , os dados pertencem à família de distribuições  $S_B$ , do Sistema de Distribuições de Johnson.

Empregando-se as fórmulas para estimação dos parâmetros do processo para a família  $S_B$  (equações 2.51 a 2.54) obteve-se os seguintes valores dos parâmetros:

$$\eta = 1,001$$

$$\gamma = 0,003$$

## 5. Parte Experimental

$$\lambda = 4,997$$

$$\varepsilon = -4,136$$

Sendo condição o domínio da variável  $X$  compreendido entre  $[\varepsilon; \varepsilon + \lambda]$ , como referido na tabela 2.15, logo a variável  $X$  é transformável no seguinte intervalo  $[-4,136; 0,86]$ .

Aplicando a equação de transformação dos dados da família  $S_B$  (tabela 2.15), transforma-se os dados individuais (anexo II.5), construindo-se então as cartas  $X$  e  $MR$  com os dados transformados  $Z_{t1}$ .

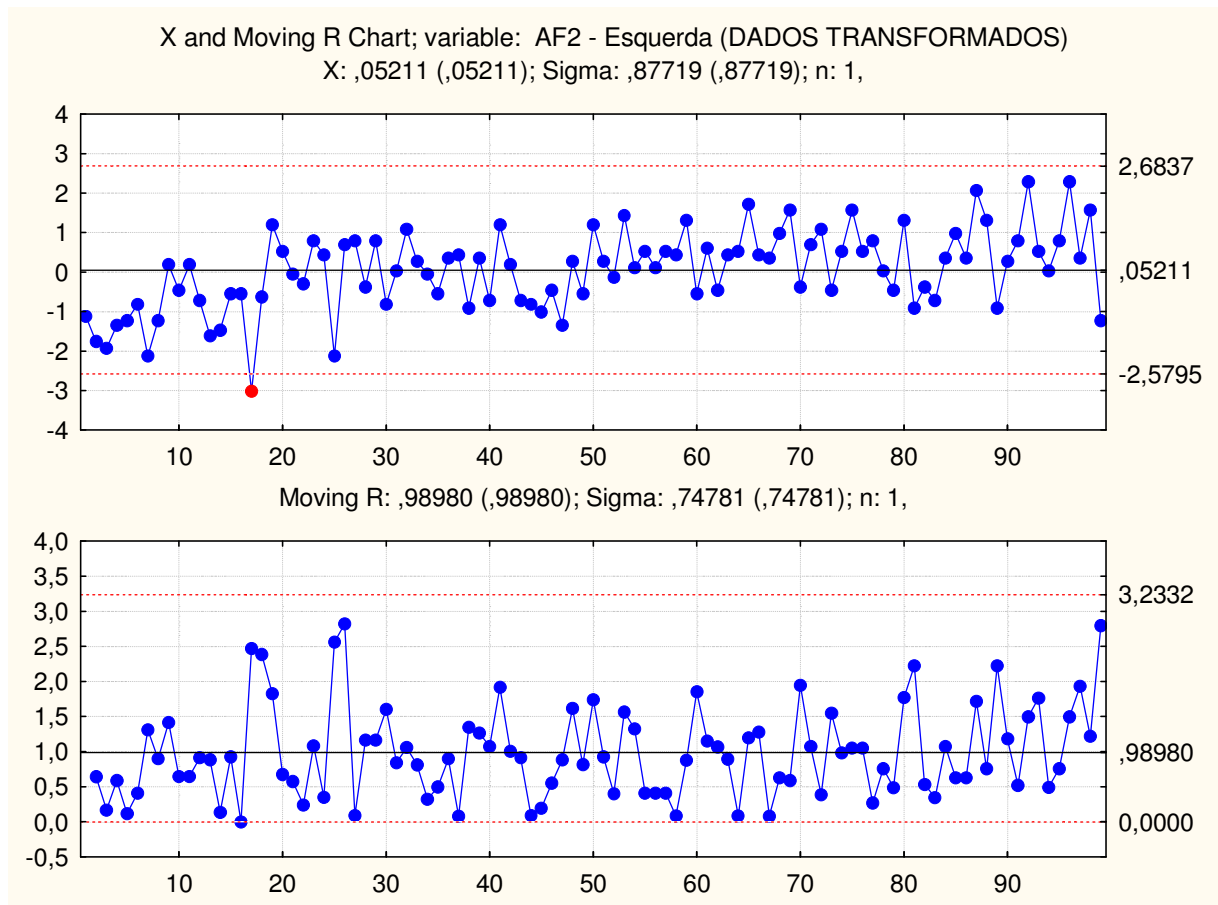


FIGURA 5.14 - CARTAS  $\bar{X}$  E  $MR$  COM OS DADOS TRANSFORMADOS DA CARACTERÍSTICA AF2 ESQUERDA

Por comparação das cartas  $\bar{X}$  e  $MR$  com os dados transformados e com as cartas  $\bar{X}$  e  $MR$  dos dados originais, isto é, da variável  $X$  da característica AF2 esquerda (figura II.8 do anexo II.3), verifica-se que a disposição dos pontos por ambas as cartas é como seria de esperar semelhante.

Contudo com os dados transformados, a sensibilidade das cartas é maior, o que origina com que as cartas com dados não Normais que apresentam pontos próximos de um limite de controlo, aquando da transformação dos dados esse ponto acaba mesmo por sair fora dos limites de controlo. Como exemplo disso, é o facto do ponto 17 na carta  $\bar{X}$  revista, com os dados não Normais, estar próximo do limite inferior de controlo, acabando por ficar abaixo do limite inferior de controlo na carta  $\bar{X}$ , com os dados transformados (figura 5.14).

Ao se eliminar o ponto 17, os parâmetros do processo vão ser alterados ligeiramente, pois os percentis dos dados são alterados, como tal deve-se transformar os dados originais novamente, contudo, agora sem o ponto 17. Este passo é de extrema importância para posteriormente se fazer o estudo da capacidade.

Através do procedimento demonstrado anteriormente, voltou-se a transformar os dados originais, agora sem a observação nº 17, tendo-se obtido os seguintes percentis dos dados.

TABELA 5. 5 - DETERMINAÇÃO DOS  $X_i$  DE CADA ÁREA DA DISTRIBUIÇÃO NORMAL

$q_i$	$i$	$X_i$
0,058	6,182	-3,182
0,300	29,914	-2,209
0,700	69,086	-1
0,942	92,818	0

Consequentemente obteve-se:

$$m = X_4 - X_3 = 1$$

$$n = X_2 - X_1 = 0,973$$

$$p = X_3 - X_2 = 1,209$$

Sendo então o índice  $QR = 0,662$ , portanto os dados como seria expectável continuam a pertencer à família  $S_B$ , obtendo-se então os seguintes valores dos parâmetros .

$$\eta = 1,114$$

$$\gamma = 0,036$$

$$\lambda = 5,236$$

$$\varepsilon = -4,209$$

O domínio definido para a variável de transformação  $X$  é  $[-4,209;1,028]$ .

A partir dos parâmetros calculados e por aplicação da fórmula de transformação dos dados de uma família  $S_B$  construiu-se as cartas  $X$  e  $MR$  revistas, com os dados transformados  $Z_{t2}$  (anexo II.5) para as cartas revistas.

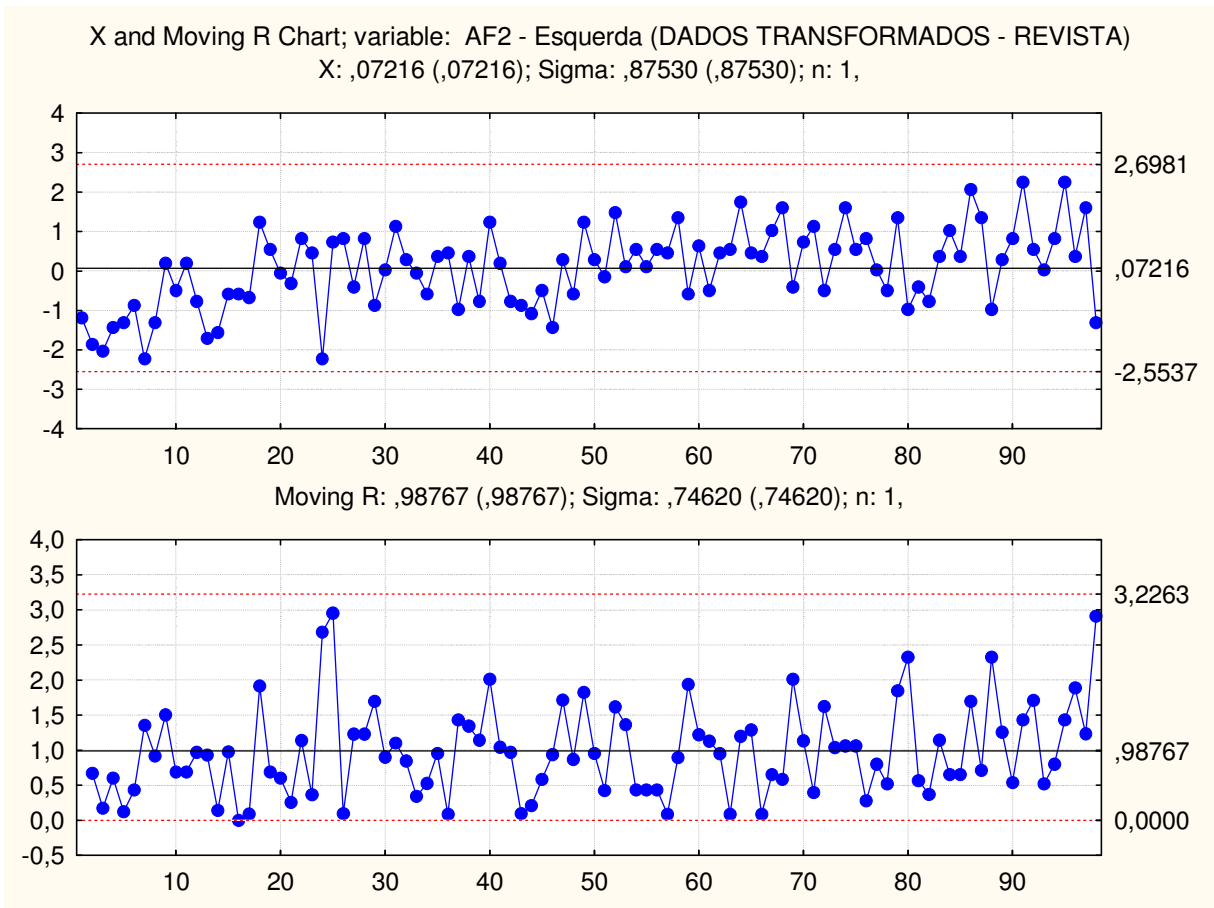


FIGURA 5.15 - CARTAS  $\bar{X}$  E  $MR$  REVISTA COM DADOS TRANSFORMADOS DA CARACTERÍSTICA AF2 ESQUERDA

Como se pode verificar pela figura 5.15, a característica AF2 Esquerda não apresenta nenhum ponto fora do intervalo definido pelos limites de controlo, considerando-se assim sob controlo estatístico.

Sendo assim todas as características em estudo, estão em condições de se poder fazer o estudo de capacidade.

Como curiosidade e de forma a completar tudo o que foi mencionado, no que respeita à transformação dos dados, resta apresentar o estudo da Normalidade, a fim de se verificar se os dados transformados seguem a distribuição Normal, isto é, a verificação da Normalidade da característica  $Z_{t2}$ .

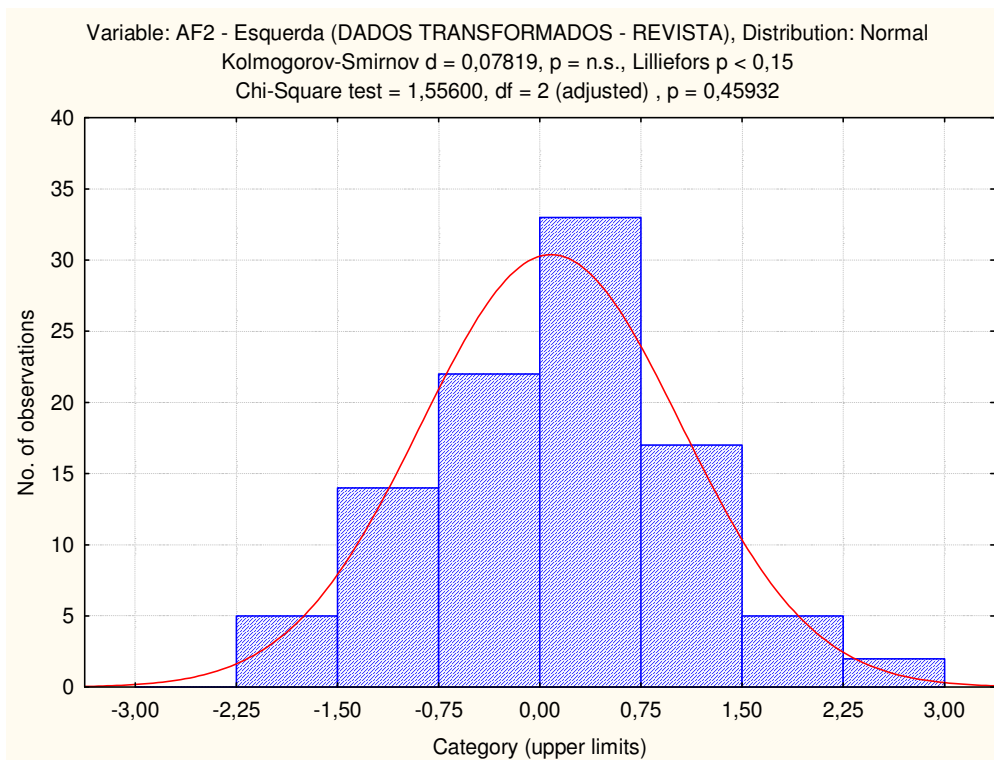


FIGURA 5.16 - VERIFICAÇÃO DA NORMALIDADE AOS DADOS TRANSFORMADOS DA CARACTERÍSTICA AF2 ESQUERDA

A partir do teste de Kolmogorov-Smirnov verifica-se que  $d < D_{\text{crítico}}$ , para um  $\alpha = 5\%$ , sendo então  $d = 0,07819$ ;  $D_{\text{crítico}} = \frac{0,886}{\sqrt{N}} = 0,0895$ , em que  $N=98$ . Sendo assim os dados transformados da característica AF2 esquerda seguem agora uma distribuição Normal, como seria expectável.

### c) Estudo da Capacidade

Para a realização da análise de capacidade dos processos relacionados com as diferentes características seleccionadas na montagem das portas teve-se que considerar duas situações distintas: as características com dados que seguem a distribuição Normal e a característica AF2 esquerda, cujos dados não seguem a distribuição Normal.

#### c1) Análise de capacidade para dados não Normais

No caso da característica AF2 Esquerda, uma vez que não segue uma distribuição Normal, deve-se em primeira instância verificar se os seus limites de especificação são ou não transformáveis, ou seja, se estão dentro do intervalo definido para a transformação da variável  $Z_{t2}$ , ou seja, no intervalo  $[-4,209; 1,028]$ . Como tal, sendo os limites inferior e superior de especificação respectivamente -9 e -1, verifica-se que o limite inferior de especificação não pertence ao intervalo definido para a transformação. Por esta razão e tendo em consideração o que foi referido em 2.8.5.2, a probabilidade de haver registos com valor inferior ao limite inferior de especificação é nula, ou seja,  $P_L = 0$ .

Por outro lado, o limite superior de especificação, está definido no intervalo de transformação da variável  $Z_{t2}$ , podendo-se então aplicar a equação da tabela 2.15, referente à transformação de variáveis para a família  $S_B$ , para assim se transformar este limite de especificação, obtendo-se então o  $U_Z$ .

$$U_Z = 0,036 + 1,114 \cdot \ln\left(\frac{-1 + 4,209}{5,236 - 4,209 + 1}\right) = 0,548$$

A partir do momento em que se obtém um limite de especificação transformado é possível determinar com que probabilidade é que os afloramentos são superiores ao limite de especificação, ou seja, de encontrar afloramentos não conformes.

$$P(Z_{t2} > LSE) = P(Z > 0,548) = 0,292 \rightarrow 29,2\%$$

Para fazer a análise da capacidade da característica AF2 Esquerda, procede-se ao método referenciado em 2.8.5.2. Para isso deve-se proceder à determinação do  $P_{0,135}$ , do  $P_{99,865}$  e da mediana dos dados.

A partir dos dados individuais ordenados por ordem crescente, obtém-se os percentis referenciados.

$$P_{0,135} = -3,6$$

$$\tilde{M} = -1,378$$

$$P_{99,865} = 0,4$$

$$C_{cp} = \frac{-1 - (-9)}{0,4 - (-3,6)} = 2$$

$$(C_{cpk})_s = \frac{-1 - (-1,378)}{0,4 - (-1,378)} = 0,212$$

$$(C_{cpk})_i = \frac{-1,378 - (-9)}{-1,378 - (-3,6)} = 3,43$$

Sendo assim  $C_{cp} = \min [(C_{cpk})_s; (C_{cpk})_i] = 0,212$

Através do *software* “*Statistica*” é possível o cálculo da capacidade para dados não Normais e pela aplicação das mesmas equações. Contudo o “*Statistica*” consegue fazer um ajustamento aos dados, no que respeita à determinação dos percentis, de uma forma muito mais potente e rigorosa do que o efectuado anteriormente. Na figura 5.17 está representado o resultado dessa análise de capacidade.

		Variable: AF2 - Esquerda -3,000 *Sigma=-4,7096 +3,000 *Sigma=1,56820	
Capability Index		Non-Nrml Distrib.	
Lower Specification Limit			
Nominal Specification			
Upper Specification Limit			
Lower Perc. Value: ,135		-4,04630	
Median (50%) Value: 50,000		-1,51770	
Upper Perc. Value: 99,865		0,51000	
<b>CP (potential capability)</b>		<b>1,75580</b>	
CR (capability ratio)		0,56950	
CPK (demonstrated excellence)		0,25530	
CPL (CP, lower)		2,95910	
CPU (CP, upper)		0,25531	
K (non-centering correction)		0,87060	

FIGURA 5.17 - ESTUDO DE CAPACIDADE PARA A CARACTERÍSTICA AF2 ESQUERDA

De forma a provar que o método de cálculo do “*Statistica*” é o efectuado pelas equações 2.64 e 2.65 vai-se substituir os percentis fornecidos pelo *software* nessas mesmas equações.

$$C_{cp} = \frac{-1 - (-9)}{0,51 - (-4,0463)} = 1,7558$$

$$(C_{cpk})_s = \frac{-1 - (-1,5177)}{0,51 - (-1,51768)} = 0,2553$$

$$(C_{cpk})_i = \frac{-1,5177 - (-9)}{-1,5177 - (-4,0463)} = 2,9591$$

Como se pode verificar, a conclusão respeitante à capacidade do processo inerente à característica AF2 Esquerda é igual em ambos os casos apresentados. Porém a partir deste ponto, na presente dissertação, sempre que se pretender determinar a capacidade de dados não Normais, apenas se apresenta o estudo efectuado pelo *software*, pois é mais rigoroso, no que respeita ao ajustamento dos dados da distribuição.

## c2) Análise de capacidade para dados Normais

Para o caso das características, em que os dados seguem a distribuição Normal aplicou-se a metodologia referida nas equações 2.23 e 2.25, tendo-se obtido os resultados apresentados na tabela 5.6. É de referir que nesta tabela também estão representados os parâmetros de cada uma das características ( $\hat{\mu}$  e  $\hat{\sigma}$ ), obtidos a partir da construção das cartas de controlo e indispensáveis ao estudo de capacidade pelo método adoptado.

TABELA 5. 6 - ESTUDO DE CAPACIDADE

	FE2 esquerda	FE2 Direita	FE5 esquerda	FE5 Direita	AF2 Direita
LSE	7,4	7,4	7,4	7,4	-1
LIE	4,4	4,4	4,4	4,4	-9
Nominal	5,9	5,9	5,9	5,9	-1
$\hat{\mu}$	4,502	4,491	6,151	6,532	-2,217
$\hat{\sigma}$	0,551	0,561	0,429	0,558	0,874
$\hat{C}_p$	0,908	0,891	1,166	0,897	1,526
$\hat{C}_{pk}$	0,062	0,054	0,971	0,519	0,464
$(\hat{C}_{pk})_i$	0,062	0,054	1,360	1,275	2,588
$(\hat{C}_{pk})_s$	1,754	1,728	0,971	0,519	0,464

### c3) Conclusão do estudo de capacidade

A partir dos índices de capacidade calculados anteriormente verifica-se que nenhuma das folgas estudadas tem capacidade, pois  $C_p$  e  $C_{pk}$  é sempre inferior a 1,33. Os valores de  $C_p < 1,33$  denotam uma variabilidade muito grande dos respectivos processos.

No que respeita aos afloramentos, e aqui fazendo uma análise conjunta às características AF2 Direita e AF2 Esquerda, verifica-se que apresentam um índice  $C_p$  superior a 1,33, o que significa, que os processos são potencialmente capazes. Por outro lado, como o índice  $C_{pk}$  é inferior a 1,33 diz-se que os processos relacionados com estas características não são capazes, apresentando-se não centrados

Contudo, há que referir que sendo o índice  $C_{pk}$  um índice alusivo à localização dos processos e como estes afloramentos possuem como valor nominal -1, que corresponde exactamente ao limite superior de especificação, não se pode aferir directamente que as características AF2 Esquerda e AF2 Direita sejam problemáticas, pois de facto os registos obtidos estão mais próximos do limite superior de especificação do que do limite inferior de especificação.

#### 5.2.3.2.3 - Controlo estatístico para as características AF5 esquerda e AF5 direita

Assim que o histórico foi fornecido, a quando da integração na MFTE, verificou-se por observação apenas, que os dados relacionados com a característica AF5 personificavam um método de medição com muito pouca resolução, como se pode verificar nos 64 primeiros registos no anexo II.2.

Perante este facto tentou-se avaliar a situação em conjunto com o responsável da qualidade da área de soldadura, tendo-se chegado à conclusão que o inspector da qualidade não media com a régua de bico o referido afloramento, mas sim apenas por aproximação por avaliação visual, o que para qualquer controlo que se queira fazer será catastrófico.

Posto isto, a partir de então o inspector da qualidade começou a fazer as respectivas medições como estão formalmente programadas, isto é, através da régua de bico.

Como o número de registos até ao fim do estágio que serviu de base a esta dissertação não seria suficiente para estimar os parâmetros do processo, teve-se que recorrer à construção de cartas  $Q(X)$  e  $Q(MR)$  para as características AF5 Esquerda e AF5 Direita. No anexo II.6 são apresentadas as tabelas que serviram de base a esta parte do estudo.

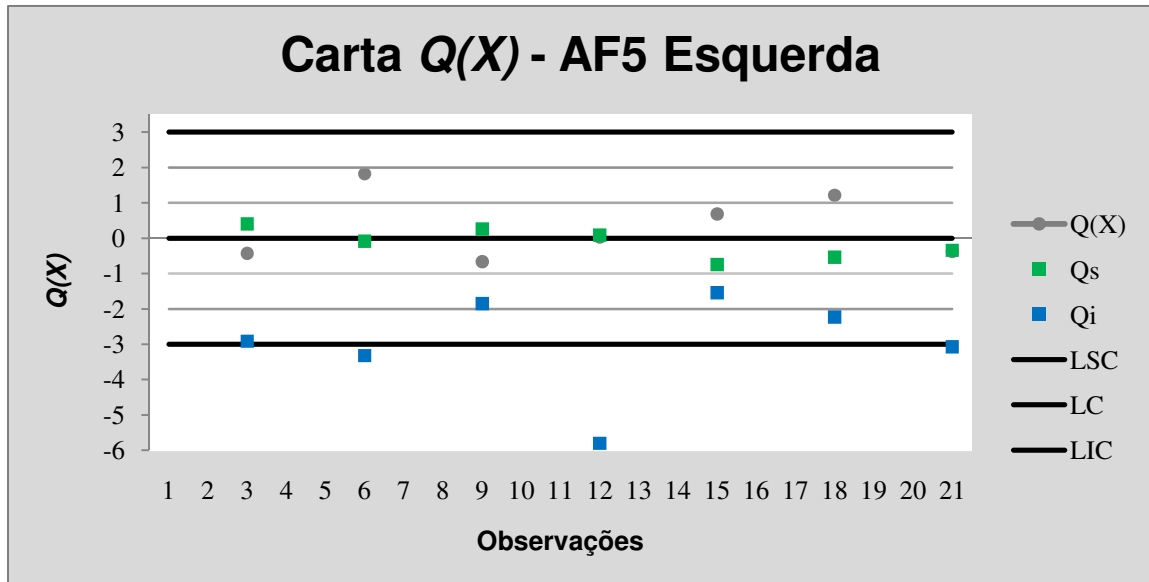


FIGURA 5.18 - CARTA  $Q(X)$  PARA A CARACTERÍSTICA AF5 ESQUERDA

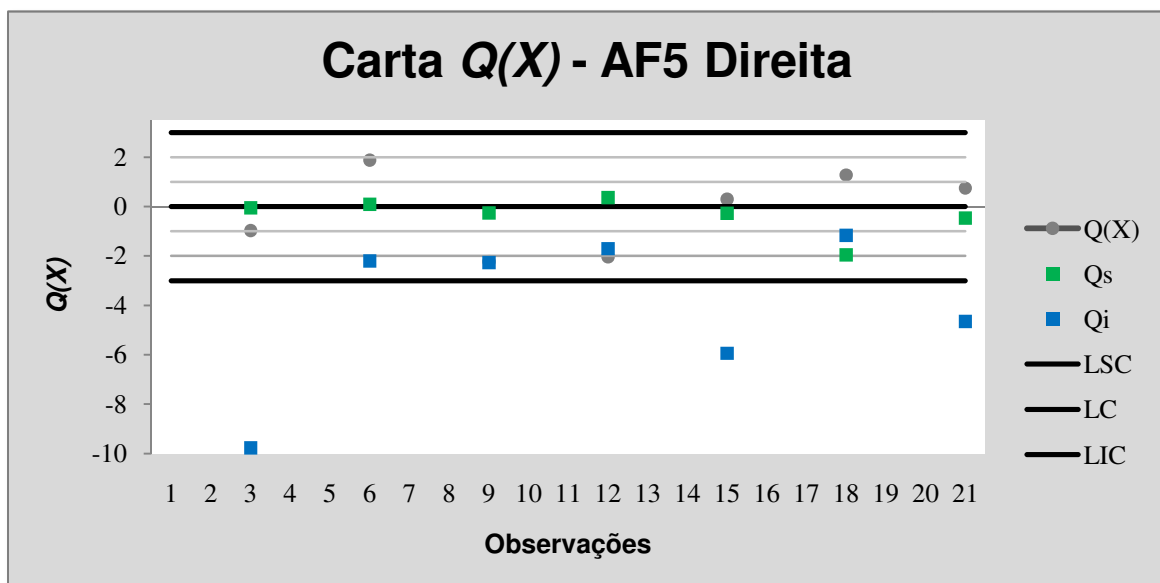


FIGURA 5.19 - CARTA  $Q(X)$  PARA A CARACTERÍSTICA AF5 DIREITA

É de realçar que devido a problemas a nível de capacidade, apenas se construíram as cartas da estatística  $Q(X)$ , sendo que não são apresentados todos os registos até à conclusão do estágio, pois sempre que neste tipo de cartas exista algum ponto sem capacidade, deve-se investigar o problema e tomar medidas correctivas.

Como tal, a única conclusão que se pode chegar é que este processo é completamente desajustado, pois não existe nenhum ponto com capacidade, havendo em cada observação pelo menos um índice de capacidade dentro do intervalo  $[-3; 3]$ ,

e por isso não se pode construir nenhuma carta  $Q(MR)$ . Posto isto, não se pode referir nada em relação à estabilidade do processo, pois a cada três observações reinicia-se o estudo.

### 5.2.3.3 - Conclusões para o processo de montagem das portas

Através da utilização das ferramentas de controlo estatístico do processo, verificou-se que de facto o processo de montagem das portas é bastante problemático na MFTE. Nenhuma das características estudadas apresenta capacidade, apresentando por parte das entidades responsáveis pela área de Soldadura uma total falta de capacidade de intervenção a nível de controlo no processo de montagem das portas, veja-se que as características estudadas apresentam variabilidade e média desajustadas do desejável. De forma a poder identificar possíveis causas e problemas inerentes ao processo de montagem das portas, foi construído o seguinte diagrama de causa-e-efeito.

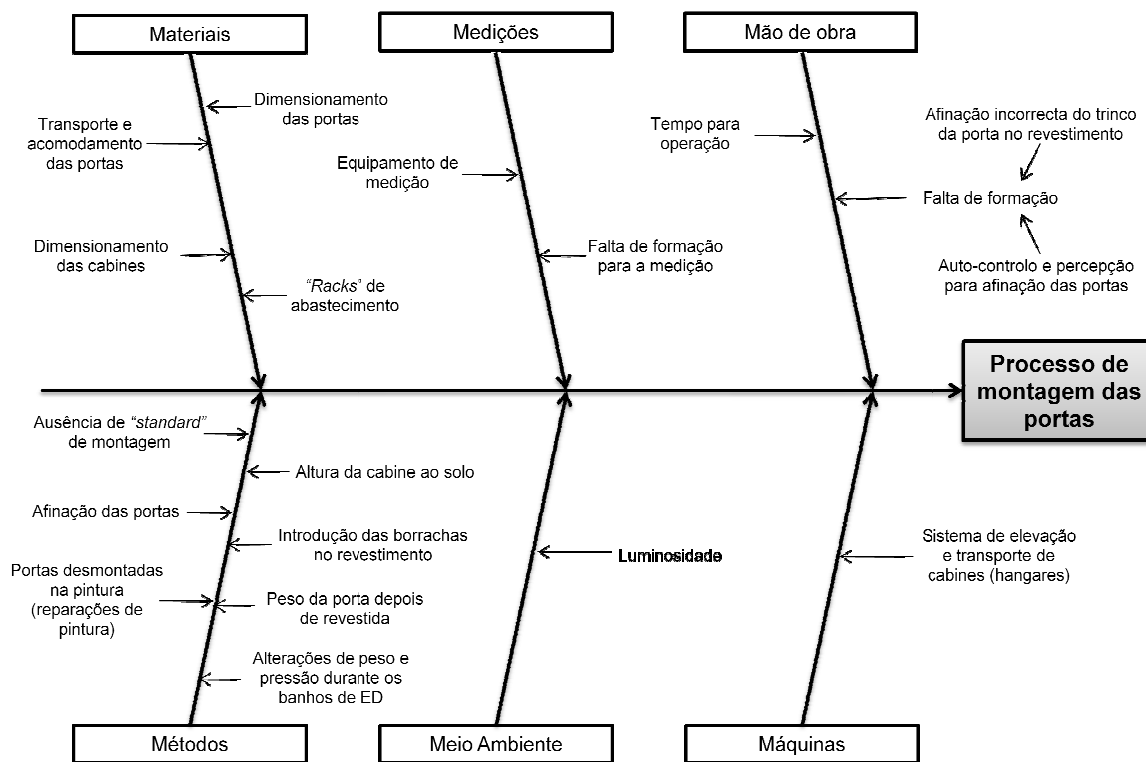


FIGURA 5.20 - DIAGRAMA DE CAUSA-E-EFEITO PARA A MONTAGEM DAS PORTAS

A partir do diagrama Causa-e-Efeito pode-se identificar em que causas é que a MFTE definiu intervir em primeira instância.

O processo de montagem das portas é extremamente problemático como se pôde verificar através da análise da capacidade das características seleccionadas, existem muitas reclamações no fim da linha com cabines com portas descaídas ou com problemas de afloramentos.

Tendo em conta o processo de medição também não ser o mais rigoroso e em resposta aos resultados do estudo efectuado, a MFTE decidiu adquirir o *Gap Gun*, que

é um equipamento de medição extremamente útil não só para a montagem das portas como para outros processos existentes na fábrica. Esse equipamento de medição, o *Gap Gun*, é um potente instrumento de medição a laser sem fios, a partir do qual poder-se-á fazer milhares de medições de forma extremamente rigorosa.

Sendo assim, o objectivo inicial deste aparelho de medição é fazer várias medições em diversas cabines, entre as diversas áreas da fábrica em que a cabine sofre alterações, resultantes das diversas operações de fabrico. Na figura 5.21 encontra-se uma representação genérica onde se irá medir as folgas e afloramentos das portas, ao longo das linhas de produção da MFTE.

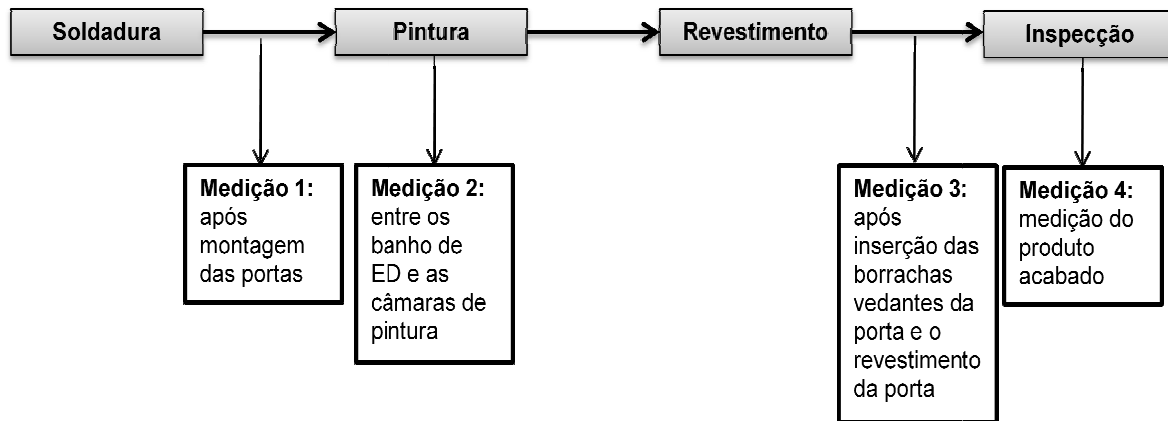


FIGURA 5.21 - ZONAS ENTRE OU DURANTE PROCESSOS ONDE SE IRÁ MEDIR AS FOLGAS E AFLORAMENTOS

Tendo como requisito a montagem cuidadosa e semelhante para todas as portas na zona de soldadura, a divisão entre as referidas zonas da fábrica pretende avaliar o seguinte:

- O descair das portas nos banhos de ED, pois as portas por dentro são ocas, apresentando pequenos e variados orifícios, por onde entram os diversos banhos de ED, que aquando da retirada das cabines dos banhos proporciona o aumento de pressão e peso nas portas com a saída dos respectivos líquidos dos banhos de ED;
- A inserção das borrachas de isolamento ao longo da porta e da cabine, altera a montagem das portas no que respeita essencialmente a afloramentos;
- Com a inserção do revestimento há um aumento considerável do peso sobre as portas, que pode influenciar um possível descair das portas, assim como a inserção do trinco e conseqüentemente as primeiras vezes que se fecham e abrem as portas
- A partir do momento em que é terminado o revestimento até à linha final, a porta poderá estar sujeita a dois factores que podem contribuir fortemente para alterações de folgas e afloramentos: os hangares (sistema de elevação e transporte de cabines entre a zona do revestimento e a linha final) e o próprio acoplamento dos materiais após a montagem final.

Em suma, com o auxílio do *Gap Gun*, a MFTE poderá vir a estar em condições de definir qual o comportamento das portas ao longo do processo de montagem do

veículo em geral, podendo até vir a definir um *standard* de montagem das portas na zona de soldadura.

Por outro lado, em caso de algum dos processos intermédios entre a soldadura e a inspecção ter forte influência no posicionamento das portas, poderá ser possível melhorar esses processos intermédios.

A partir da potencialidade do *Gap Gun* e tendo em conta os testes que estão previstos, a MFTE poderá identificar e actuar em diversas causas referidas no diagrama de causa-e-efeito apresentado.

### 5.2.4 - Soldadura por pontos

A soldadura por pontos é um dos métodos de soldadura mais usados na indústria automóvel, sendo pertinente o estudo de um caso destes, tendo em conta que a área da soldadura foi atribuída para a realização do presente trabalho.

Apesar do âmbito do estudo ser o controlo estatístico do processo, interessa fazer uma breve definição de soldadura por pontos.

A soldadura por pontos não é mais do que uma das muitas formas de soldadura, sendo que dentro da soldadura por pontos, a existente na MFTE denomina-se pela soldadura por resistência, ou seja, na união de metais através de uma acção de pressão, utilizando como aquecimento a passagem de corrente eléctrica. Dentro da soldadura por resistência, o processo em causa é efectuado pela soldadura por pontos com um par de eléctrodos, em que dois eléctrodos transferem corrente eléctrica e força simultaneamente à peça a soldar.

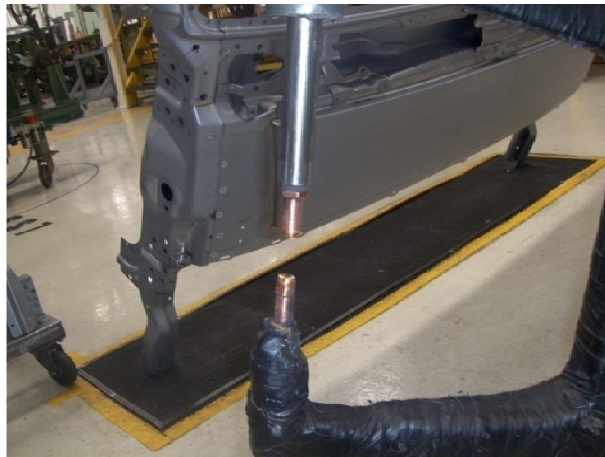


FIGURA 5.22 - PINÇA DE SOLDADURA SELECIONADA PARA O ESTUDO

A união de duas peças metálicas surge através da utilização das pinças de soldadura. Esta pinça é constituída por hastes metálicas, chamadas braços, normalmente de cobre ou alumínio. Na extremidade destas pinças são colocados os eléctrodos de cobre.

A partir do momento em que os braços das pinças se fecham, os eléctrodos encontram-se na zona correspondente ao ponto de soldadura. Para que ocorra a


soldadura, é necessário que os braços das pinças fechem, indo ao encontro das chapas a soldar no ponto desejado, proporcionando assim uma determinada força e a passagem de corrente eléctrica que provoca o aquecimento do material de forma a fundir o material na zona de união das chapas.

Contudo, para que um ponto de soldadura atinja os resultados desejados é necessário que sejam cumpridos os chamados parâmetros de soldadura, de acordo com as espessuras das chapas a soldar:

- Diâmetro da ponta do eléctrodo
- Força de aperto
- Corrente da soldadura
- Tempo de soldadura

#### 5.2.4.1 - Característica em estudo na soldadura por pontos

No que respeita à soldadura por pontos, decidiu-se estudar a pinça *UC-C0106* (figura 5.22), responsável por pontos de soldadura no painel da frente das cabines, devido às seguintes razões:

- Pinça responsável por pontos críticos, pois segundo a folha de operações disponível na MFTE (anexo III.3), verifica-se que os pontos dados por esta pinça possuem a simbologia . Esta simbologia funciona como uma norma dentro da Mitsubishi para identificar pontos críticos.
- O método de estudo para uma pinça, no que respeita ao controlo estatístico, assim como as possíveis conclusões, são extensíveis para todas as outras pinças. Este facto é de extrema importância para a MFTE, para poder ter sob controlo estatístico outras pinças.

Este estudo é feito a partir das medições efectuadas em provetes de teste, medindo o diâmetro do ponto de soldadura.

Na tabela 5.7 é apresentada a nomenclatura usada para a característica em causa, assim como a sua especificação técnica, que apenas possui limite inferior de especificação.

TABELA 5. 7 - ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DA CARACTERÍSTICA DA QUALIDADE EM ESTUDO

Produto	Característica da Qualidade	LIE
<i>UC-C0106</i>	Diâmetro de Rolha	5 mm

#### 5.2.4.2 - Recolha de dados

A recolha de dados é feita a partir de provetes de teste que simulam a soldadura efectuada na zona da cabine em causa, sendo que estes testes são designados por testes de rolha. Uma vez que esta pinça *UC-C0106* é responsável pela união de 3 chapas com dimensões de 1 mm, 1,6 mm e 0,9 mm, o provete em causa também é constituído por 3 chapas com as mesmas espessuras e do mesmo material, ou seja, de aço galvanizado.



FIGURA 5.23 - TESTE DE ROLHA

A partir do momento em que há a soldadura das 3 chapas, quebra-se essa ligação através da torção dos provetes de teste (figura 5.24), originando pequenos orifícios com forma circular, cujo diâmetro não é mais do que o diâmetro do ponto de soldadura.



FIGURA 5.24 - TORÇÃO DOS PROVETES DURANTE O TESTE

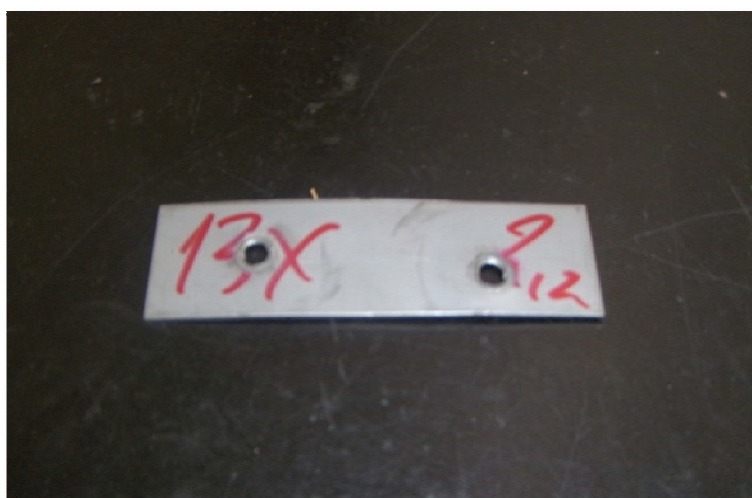


FIGURA 5.25 - DIÂMETROS DE ROLHA PROVOCADOS PELOS TESTES

É a partir da medição deste diâmetro, com o auxílio de um paquímetro, que é efectuado o registo para a característica em estudo.

Importante ainda de referir que, para além dos requisitos dos parâmetros de soldadura, o diâmetro de rolha de um ponto de soldadura está fortemente relacionado com o próprio diâmetro das pontas dos eléctrodos, assim como o desgaste da sua face. Para controlar estes aspectos, os operadores deverão sempre que necessário afiar os eléctrodos ou substituí-los se necessário.

Na figura 5.26 apresentam-se alguns eléctrodos após diversos pontos de soldadura, que apresentam um desgaste bastante visível, porém o momento da sua substituição depende muito da sensibilidade e experiência do operador.

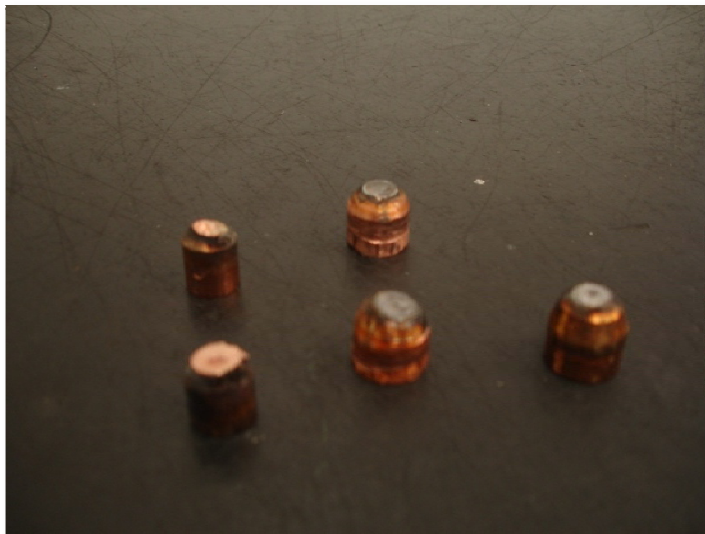


FIGURA 5.26 - ELÉCTRODOS COM DESGASTE

### 5.2.4.3 - Análise dos Dados

#### 5.2.4.3.1 - Metodologia

Previamente à implementação do controlo estatístico para o Diâmetro de Rolha, verificou-se que os dados até 23/03/2009 (anexo III.1) eram pouco credíveis.

Este facto poderá resultar de diversos factores, como por exemplo o próprio processo de medição, em que o equipamento tem uma resolução de 0,01 mm, mas que apenas são registados os dados até uma casa decimal. Ao mesmo tempo há que considerar que o método de arredondamento dos dados obtidos não é muito rigoroso, uma vez que quando se obtém um diâmetro por exemplo de 5,19 mm, o inspector da Qualidade regista 5,1 mm sem que houvesse uma ordem expressa para tal procedimento.

Sendo assim foi decidido em conjunto com o responsável da qualidade uma nova recolha de dados com o registo até às duas casas decimais, que o equipamento de medição fornece.

Como tal o registo de dados passou a ser efectuado com mais uma casa decimal a partir de 14/04/2009 (anexo III.2), o que por limitação temporal durante o estágio em que se baseou esta dissertação não se conseguiu chegar às 100 observações tendo-se adoptado como tal pela construção das cartas  $Q(X)$  e  $Q(MR)$ , de forma a avaliar o estado do processo.

A título de conclusão foi também elaborado um diagrama de causa-e-efeito, de forma a detectar possíveis causas para alguns problemas prováveis relacionados com o Diâmetro de Rolha. Por fim, é também sugerida uma possibilidade para solucionar o problema encontrado.

### 5.2.4.3.2 - Estudo do diâmetro de rolha

De forma a avaliar o processo referente à pinça UC-C0106 procedeu-se à construção das cartas  $Q(X)$  e  $Q(MR)$ , representadas respectivamente nas figuras 5.27 e 5.28. É ainda relevante referir que apenas se calcula o índice de especificação  $Q_i$ , pois a característica Diâmetro de Rolha apenas possui o limite inferior de especificação.

No anexo III.2 encontram-se as tabelas auxiliares aos cálculos efectuados através do software "Excel" para a construção das cartas  $Q(X)$  e  $Q(MR)$ .

Para calcular a estatísticas  $Q_r(X)_r$  e  $Q_r(MR)_r$  utiliza-se respectivamente as equações 3.27 e 3.28, enquanto para determinar o índice de capacidade recorre-se à equação 3.35.

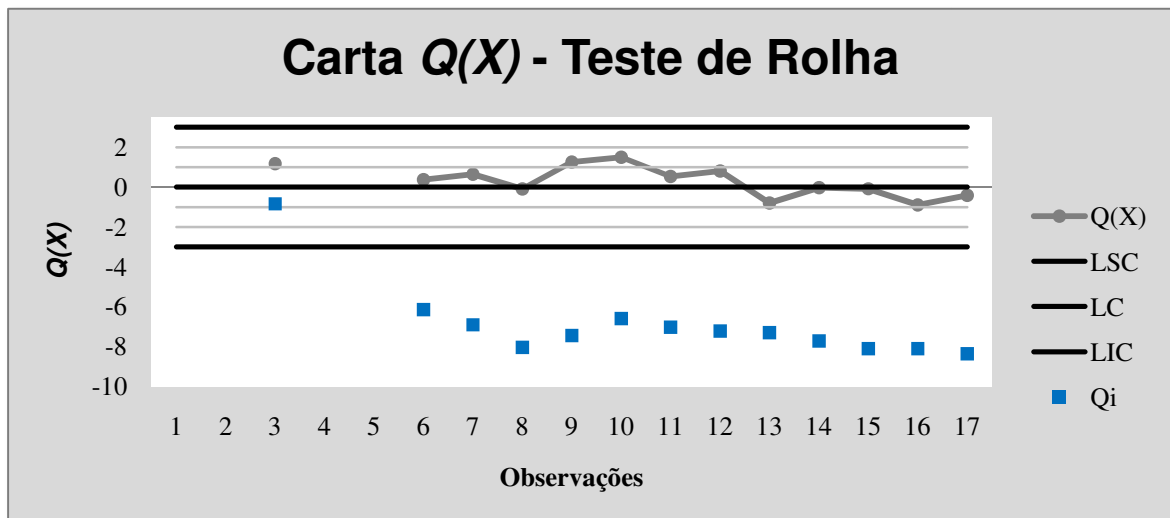


FIGURA 5.27 - CARTA  $Q(X)$  DO TESTE DE ROLHA

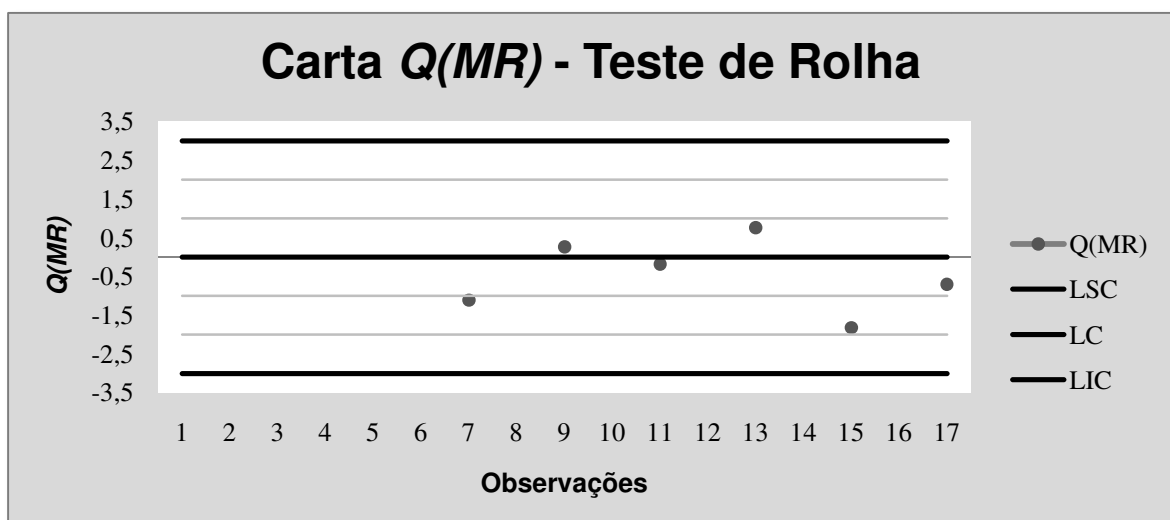


FIGURA 5.28 - CARTA  $Q(MR)$  DO TESTE DE ROLHA

Da análise das cartas apresentadas não se verifica qualquer causa especial, contudo na carta  $Q(X)$  verifica-se que a observação número 3 não tem capacidade, pois o índice  $Q_i$  encontra-se dentro do intervalo definido por  $[-3; 3]$ . Este facto, do ponto de vista prático não é significativo, uma vez que o índice de capacidade para este ponto tem em conta apenas 3 registos com variabilidades elevadas entre eles e que segundo os seus valores não trazem problemas à realização do ponto de soldadura. É de realçar que a partir do dia 25 de Maio (observação 10) há um acentuar de diminuição da variabilidade do processo.

De resto não se apresentam problemas para o processo referente ao diâmetro de rolha da pinça em estudo.

#### 5.2.4.4 - Conclusões para o diâmetro de rolha

Pelas cartas apresentadas não se pode concluir que o processo seja problemático, porém o estudo efectuado baseou-se num número pequeno de observações. Por esta razão e de forma a completar o estudo foi elaborado um diagrama causa-e-efeito para identificar possíveis problemas, com o objectivo de constituir um ponto de partida para futuras melhorias no processo em questão, partindo do pressuposto que o maior problema associado ao diâmetro de rolha, segundo diversas individualidades da MFTE, está associado à variabilidade do processo.

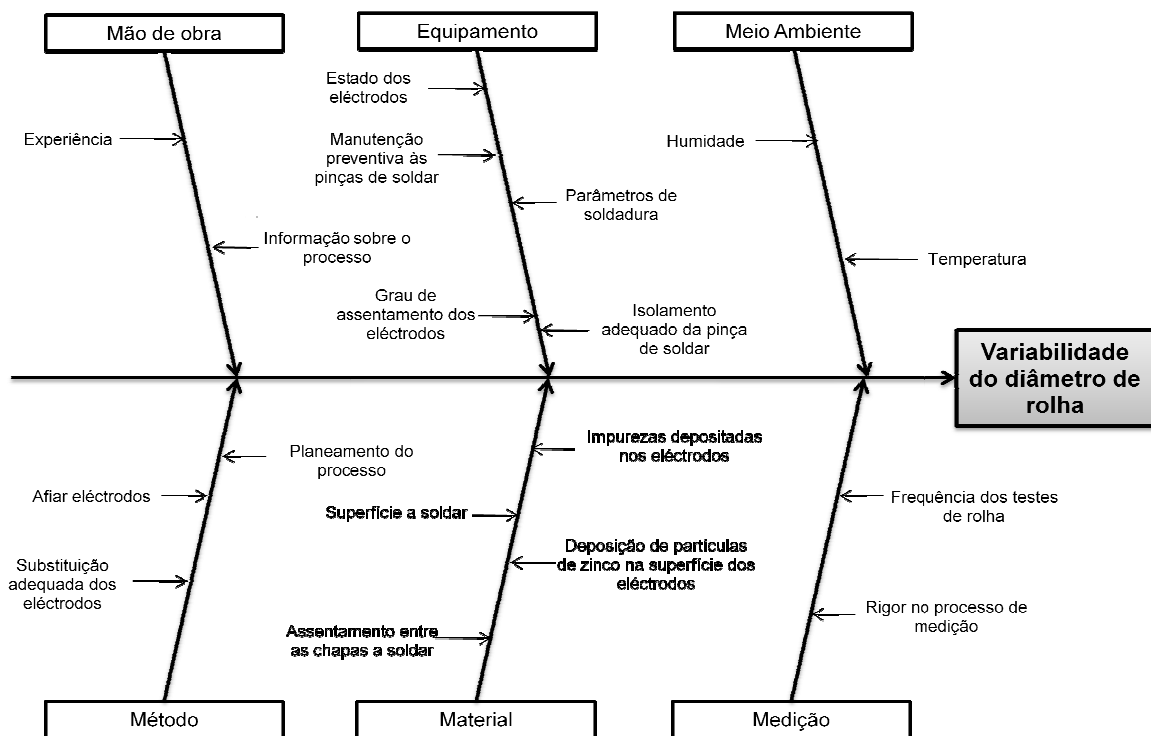


FIGURA 5.29 - DIAGRAMA CAUSA-E-EFEITO PARA O TESTE DE ROLHA

Após a elaboração do diagrama de causa-e-efeito constatou-se que de facto o maior problema inerente ao controlo de um ponto de soldadura está relacionado com a frequência dos testes de rolha (duas vezes por semana), pois é independente dos fluxos de produção, ou seja, quer a fábrica esteja a produzir na sua capacidade

máxima quer a um ritmo mais lento, como o que decorreu durante o estágio referente a esta dissertação, a frequência com que se fazem os testes de rolha é sempre a mesma.

Este facto tem extrema importância, pois por exemplo a pinça estudada é responsável em cada cabine simples por 40 pontos de soldadura (anexo III.3), o que torna facilmente perceptível que o desgaste dos eléctrodos ocorre com uma periodicidade maior quanto maior for a produção.

Portanto, o que está em causa essencialmente num processo deste género, tendo em conta que os planos de manutenção das pinças e os parâmetros de soldadura são cumpridos, é a quantidade de vezes que se afiam os eléctrodos e também a sua substituição. Posto isto, é extremamente importante a experiência e sensibilidade de cada operador para os ditos processos de substituição ou afeamento dos eléctrodos.

Uma forma de contornar este problema seria estabelecer um plano de amostragem teste, ou seja, acompanhar o período de funcionamento de um par de eléctrodos, medindo o diâmetro da base dos eléctrodos ou o próprio diâmetro do ponto de soldadura com intervalos de pontos de soldadura fixos. Sendo assim, seria necessário repetir para outros pares de eléctrodos o mesmo processo, procurando assim obter um registo de dados que a partir do qual se pudesse por exemplo definir ao fim de quantos pontos se substitui os eléctrodos e conseqüentemente ao fim de quantas cabines.

Portanto o objectivo desta amostragem teste seria estabelecer ao fim de quantas cabines se faz a substituição dos eléctrodos e conseqüente adaptabilidade da frequência de amostragem para a realização do controlo estatístico, tendo em conta as variações da taxa de produção.

### **5.3 - Rebitagem**

#### **5.3.1 - Introdução**

Como já foi referido anteriormente a rebitagem é a área onde se procede à montagem dos chassis. Para a realização da referida montagem existem cinco postos de trabalho, ordenados pela seguinte forma:

F1 – Preparação das longarinas para montagens posteriores. Montagem dos reforços interiores das longarinas para os modelos que exijam reforços;

F2 – Montagem de grande maioria das travessas;

F3 – Início do processo de soldadura e montagem de diversos componentes;

F4 – Continuação do processo de soldadura e introdução de diversos rebites;

F5 – Montagem de diversos componentes e introdução de binários de aperto pelos tensores.

Após os postos anteriormente referidos, os chassis são pintados na zona de pintura, dentro da linha da rebitagem e secados no forno.

Devido ao facto dos chassis serem constituídos por diversos componentes e para verificar o estado dos apertos dos tensores de aperto, decidiu-se controlar apertos de apenas dois componentes extremamente importantes para o veículo a produzir: a fixação da travessa de apoio ao motor e o suporte de amortecedores, podendo-se assim ficar com uma ideia geral da eficiência dos apertos destas máquinas.

O presente trabalho desenvolveu-se no posto F5, mais precisamente nos binários de aperto dados pelas aparafusadoras electrónicas, vulgarmente conhecidas por tensores. Existem dois aparelhos destes na área dos apertos, um para cada lado do chassis.



FIGURA 5.30 - CHASSIS NO POSTO F5, COM OS TENSORES DE APERTO DE CADA LADO DO CHASSIS

Os dados destes tensores foram obtidos a partir do valor registado no tensor em cada um dos apertos.



FIGURA 5.31 - VISUALIZAÇÃO DO BINÁRIO DE APERTO EM N.M

É necessário fazer a ressalva, que muitas vezes considera-se que os apertos feitos com tensores não têm influência do operador, o que não é totalmente verdade. O operador quando coloca o tensor para fazer o aperto, não deverá fazer nenhum gesto como se tratasse de um aperto manual, devendo sim permanecer o mais estático possível.



FIGURA 5.32 - EQUIPAMENTO DE APERTO DO TENSOR

### **5.3.2 - Produtos em estudo**

Para a realização do estudo e tendo em conta que este se baseia nos apertos respeitantes à fixação da travessa de apoio ao motor e suporte de amortecedores, foi decidido que os produtos a estudar seriam dos modelos FE7, FB8 e FE8.

### **5.3.3 - Características da Qualidade em estudo**

Como já foi referido anteriormente, o estudo realizado na zona da rebitagem refere-se aos apertos da fixação da travessa de apoio ao motor e suporte de amortecedores. Contudo previamente à descrição pormenorizada das características em estudo é necessário fazer uma breve descrição dos componentes dos chassis em estudo.

#### **5.3.3.1 - Fixação da travessa de apoio ao motor**

A fixação da travessa do motor é o componente do chassis que serve de suporte ao motor. Esta estrutura não é igual para os três modelos em estudo, pois para o modelo FE7 é constituída pela fixação FRT da travessa de apoio do motor e pela fixação RR da travessa de apoio do motor.



FIGURA 5.33 - FIXAÇÃO DA TRAVESSA DO MOTOR PARA O MODELO FE7

No que respeita aos restantes modelos (FE8 e FB8) a travessa do motor é constituída por:

- Fixação da travessa do motor à longarina;
- Fixação inferior da travessa do motor;
- Fixação interior de apoio do motor.



FE8 e FB8

### 5.3.3.2 - Suporte de Amortecedores

O suporte de amortecedores para todos os modelos é igual, sendo que todos têm 4 parafusos de aperto.

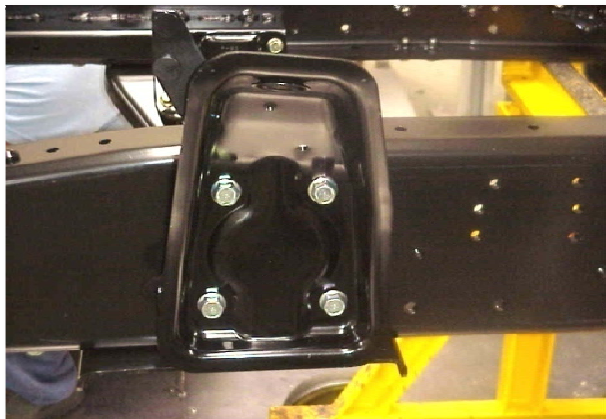


FIGURA 5.35 - SUPORTE DE AMORTECEDORES

### 5.3.3.3 - Características da Qualidade a estudar

Na tabela 5.8 estão referenciadas todas as características anteriormente indicadas para a área de rebiteagem, sendo de salientar que foi decidido subdividir cada uma das características consoante o lado esquerdo ou lado direito do chassis, uma vez que existe também um tensor por cada lado do chassis.

TABELA 5. 8 - CARACTERÍSTICAS DA QUALIDADE SELECCIONADAS NA ÁREA DA REBITAGEM

Características da Qualidade		Produtos
Travessa do Motor - Esquerda	Travessa do Motor - Direita	FE8 e FB8
Fixação da travessa do Motor FRT - Esquerda	Fixação da travessa do Motor FRT - Direita	FE7
Fixação da travessa do Motor RR - Esquerda	Fixação da travessa do Motor RR - Direita	FE7
Suporte de Amortecedores - Esquerda	Suporte de Amortecedores - Direita	FE8, FB8 e FE7

### 5.3.4 - Recolha de dados

Como primeira nota, é necessário ter em consideração que em cada chassis são registados uma amostra de cada uma das características seleccionadas.

Previamente à descrição do procedimento adoptado para as características, devem-se fazer algumas considerações pertinentes às características em estudo, no que concerne à forma de obtenção de dados.

### 5.3.4.1 - Travessa do Motor (modelos FE8 e FB8)

Como apresentado na figura 5.35, a travessa do motor para os modelos em causa é constituída por três componentes (fixação da travessa do motor à longarina, fixação inferior da travessa do motor e fixação interior de apoio do motor) constituídos por 2 parafusos cada, perfazendo assim um total de 6 parafusos. Pelo facto destes 6 parafusos terem o mesmo limite de especificação (98~117,6 N.m), considerou-se como característica o aperto da travessa do motor, considerando assim que cada amostra tivesse assim dimensão 6.

### 5.3.4.2 - Fixação da travessa do Motor FRT e Fixação da travessa do motor RR (modelo FE7)

A travessa do motor para o modelo FE7 é constituída apenas por um componente, contudo esse componente é constituído por dois parafusos com limites de especificação diferentes (figura 5.34), como se indica na tabela 5.9.

TABELA 5. 9 - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DAS CARACTERÍSTICAS DA QUALIDADE RELACIONADAS COM A FIXAÇÃO DO MOTOR NO MODELO FE7

Características	Limites de Especificação (N.m)
Fixação da travessa do Motor FRT	[90,2; 119,6]
Fixação da travessa do Motor RR	[109,8; 150]

Assim, cada amostra da fixação da travessa do motor FRT ou RR tem dimensão 1, ou seja, é uma observação individual.

### 5.3.4.3 - Suporte de Amortecedores

Cada suporte de amortecedores é constituído por 4 parafusos com igual limite de especificação (98~117,6 N.m), portanto cada amostra tem dimensão 4.

### 5.3.5 - Análise dos dados

O registo de dados das características em estudo na zona da rebitagem teve início só durante o estágio, uma vez que não havia até então nenhum registo das características seleccionadas.

Após se terem efectuado todas as considerações anteriores e antes de se aplicar o controlo estatístico propriamente dito, deve-se proceder à explicação do processo adoptado para implementação do controlo estatístico.

### 5.3.5.1 - Metodologia

Tendo por base o ponto 5.3.4, onde se fez a descrição do modo de recolha dos dados das características a estudar no processo de rebitagem, definiu-se que o método adoptado para estudar as características associadas à fixação da travessa do motor para o modelo FE7 é diferente do método adoptado para as restantes características.

### 5.3.5.2 - Fixação da Travessa do Motor (modelos FE8 e FB8) e Suporte de Amortecedores (modelos FE8, FB8 e FE7)

#### 5.3.5.2.1 - Fase 1 do SPC

Sendo a taxa de produção do modelo FE7 bastante menor do que as taxas de produção dos modelos FB8 e FE8, o que dificultou a obtenção de dados para o modelo FE7 comparativamente aos restantes modelos, a Fase 1 do controlo estatístico para os modelos FB8 e FE8 baseia-se num registo de 40 amostras, enquanto para o modelo FE7 baseia-se em 30 amostras.

Sendo assim, a Fase 1 do SPC a aplicar para as características em causa segue resumidamente os seguintes passos:

- Construção de cartas  $\bar{X}$  e  $S$ , para cada uma das características dos modelos em causa;
- Verificar se os processos se encontram sob controlo estatístico;
- Verificar Normalidade dos dados;
- Estimar parâmetros dos processos;
- Estudo da capacidade dos processos.

#### a) Construção de cartas $\bar{X}$ e $S$

Para a realização da Fase 1 recorreu-se ao *software* “*Statistica*”, para a elaboração das cartas  $\bar{X}$  e  $S$ , tendo sido retirados os pontos que não pertencem ao intervalo definido pelos limites de controlo, assim como se verificou também a existência de padrões não aleatórios.

Após a análise da estabilidade do processo, procedeu-se à verificação da Normalidade dos dados individuais também através do “*Statistica*”, para se poder definir o método de cálculo da capacidade do processo.

São apresentadas seguidamente as cartas  $\bar{X}$  e  $S$  respeitantes à característica fixação da travessa do motor - Esquerda para o modelo FB8.

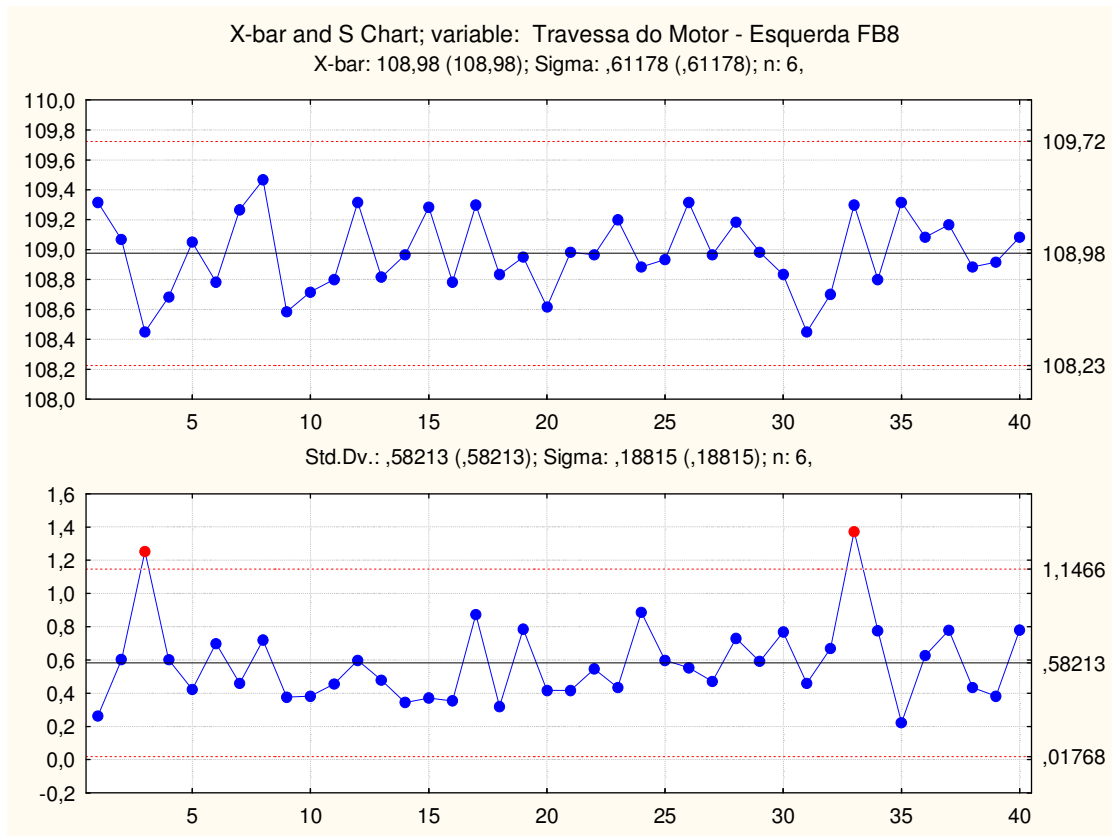


FIGURA 5.36 - CARTAS  $\bar{X}$  E S PARA A TRAVESSA DO MOTOR - ESQUERDA DO MODELO FB8

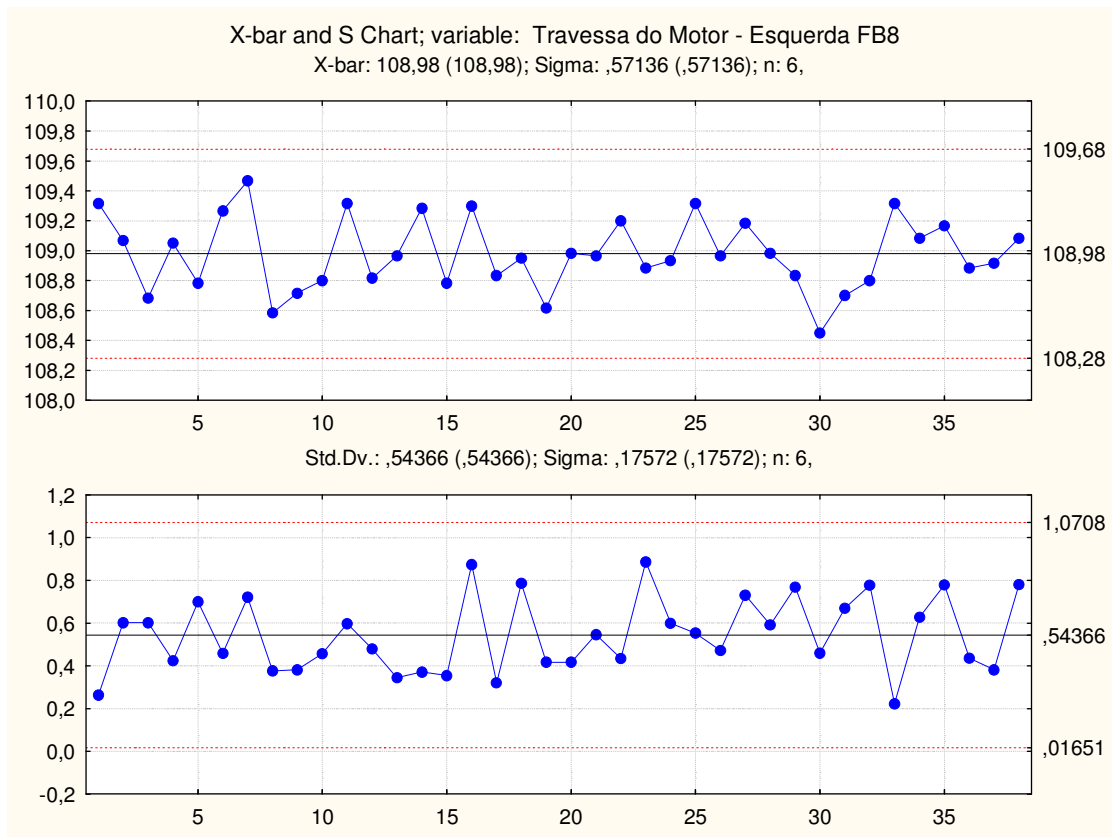


FIGURA 5.37 - CARTAS  $\bar{X}$  E S REVISTAS PARA A TRAVESSA DO MOTOR - ESQUERDA DO MODELO FB8

Na figura 5.36 verifica-se que os pontos 3 e 33 encontram-se acima do limite superior de controlo na carta S. Por este facto, foram eliminados estes pontos construindo-se

então as cartas  $\bar{X}$  e  $S$  revistas para a característica em causa (figura 5.37), procedendo-se então que não existe nenhum padrão aleatório.

No que respeita às restantes características tratadas neste tópico, são apresentadas no anexo IV.1.2 as respectivas cartas, fazendo-se na tabela 5.10 um resumo relativamente aos pontos eliminados. Após se ter obter todas as cartas sem pontos fora dos intervalos definidos pelos limites de controlo, verificou-se através do “*Statistica*” que todas as características estão sob controlo, não evidenciando padrões não aleatórios.

TABELA 5. 10 - PONTOS FORA DO INTERVALO DEFINIDO PELOS LIMITES DE CONTROLO

Características da Qualidade						
Modelo	FB8		FE8		FE7	
Lado do chassis	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita
Fixação da travessa do motor	Pontos 3 e 33 na carta $S$		Nenhum	Nenhum	Pontos 29 e 32 na carta $S$	
Suporte de amortecedores	Nenhum	Nenhum	Ponto 11 nas cartas $X$ e $S$	Ponto 10 na carta $S$	Nenhum	Ponto 2 na carta $X$

### b) Verificação da Normalidade dos dados

No estudo da capacidade dos processos, referiu-se em 2.7 que os dados individuais da característica a estudar devem seguir aproximadamente uma distribuição Normal. Por esta razão tem-se de estudar a Normalidade dos dados.

Apenas se apresenta o estudo para a fixação do suporte de amortecedores - esquerda do modelo FB8, sendo que no anexo IV.1.3 é apresentado o estudo para as restantes características.

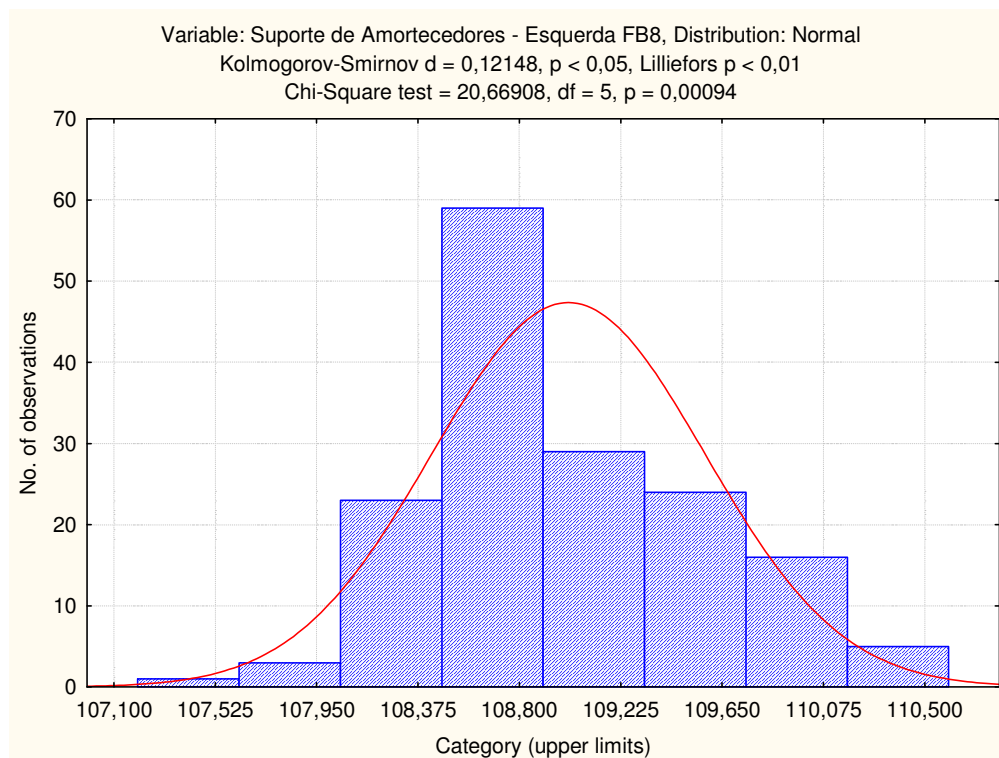


FIGURA 5.38 - VERIFICAÇÃO DA NORMALIDADE PARA O SUPORTE DE AMORTECEDORES - ESQUERDA PARA O MODELO FB8

Verifica-se então através do teste de Kolmogorov-Smirnov, que a fixação da travessa do motor – direita, para o modelo FB8, não segue a distribuição Normal, pois  $d > D_{Crítico}$ , para um  $\alpha = 5\%$ . É de referir que  $d = 0,069$ ;  $D_{Crítico} = \frac{0,886}{\sqrt{N}} = 0,057$ , em que  $N=240$ .

Nas tabelas 5.11 e 5.12 é apresentado um resumo do estudo da Normalidade dos dados individuais para as características estudadas neste ponto.

TABELA 5. 11 - RESUMO DO ESTUDO DA NORMALIDADE DOS DADOS PARA AS CARACTERÍSTICAS DA QUALIDADE RELACIONADAS COM A FIXAÇÃO DA TRAVESSA DO MOTOR PARA OS MODELOS FE8 E FB8

Fixação da travessa do motor				
Modelo	FB8		FE8	
Lado do chassis	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita
<i>N</i>	228	240	240	228
<i>d</i>	0,071	0,069	0,084	0,068
<i>D<sub>Crítico</sub></i>	0,059	0,057	0,057	0,059
Verificação da Normalidade	Não Normal	Não Normal	Não Normal	Não Normal

TABELA 5. 12 - RESUMO DO ESTUDO DA NORMALIDADE DOS DADOS PARA AS CARACTERÍSTICAS DA QUALIDADE RELACIONADAS COM O SUPORTE DE AMORTECEDORES PARA OS MODELOS FE8, FB8 E FE7

Suporte de Amortecedores						
Modelo	FB8		FE8		FE7	
Lado do chassis	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita
<i>N</i>	228	240	248	228	120	116
<i>d</i>	0,122	0,074	0,075	0,083	0,074	0,055
<i>D<sub>Crítico</sub></i>	0,070	0,070	0,071	0,071	0,081	0,082
Verificação da Normalidade	Não Normal	Não Normal	Não Normal	Não Normal	Normal	Normal

Pela observação das tabelas 5.11 e 5.12 verifica-se que apenas os dados individuais das características referentes ao suporte de amortecedores para o modelo FE7 seguem a distribuição Normal. Portanto, para todas as características referidas nas tabelas, com a excepção do suporte de amortecedores para o modelo FE7, a capacidade é calculada com base nos índices de capacidade referidos no ponto 2.8.5.2, enquanto que o estudo da capacidade para o suporte de amortecedores – esquerda e suporte de amortecedores – direita para o modelo FE7 é obtida com base nos índices de capacidade referenciados em 2.7.

### c) Estudo da Capacidade

O estudo de capacidade dos processos referentes às características seleccionadas como se disse anteriormente divide-se entre as características cujos dados são aproximadamente Normais e as características que os seus dados individuais não seguem uma distribuição Normal.

Em relação ao tratamento da não Normalidade dos dados, tal como tem sido seguido até aqui, para não tornar o presente trabalho demasiado exaustivo no que respeita à

aplicação matemática das ferramentas utilizadas, apenas se faz descrição pormenorizada para a característica fixação da travessa do motor – esquerda para o modelo FB8, apresentando-se depois nas tabelas 5.15 e 5.16 um resumo do estudo.

### c1) Análise de capacidade para dados não Normais

Para a aplicação do Sistema de Distribuições de Johnson, através do método dos percentis, é necessário em primeiro lugar seleccionar a que família de distribuição de Johnson se ajustam os dados da fixação da travessa do motor – esquerda do modelo FB8.

Sendo assim escolheu-se um  $z = 0,524$  e um  $s = 3$ , determinando-se as áreas da distribuição Normal reduzida relativamente aos percentis considerados.

$$\begin{aligned} q_1 &= \Phi(-sz) = \Phi(-1,527) = 0,058 \\ q_2 &= \Phi(-z) = \Phi(-0,524) = 0,300 \\ q_3 &= \Phi(z) = \Phi(0,524) = 0,700 \\ q_4 &= \Phi(sz) = \Phi(1,527) = 0,942 \end{aligned}$$

Após o passo anterior, deve-se calcular os percentis para os dados individuais. Para isso, através da fórmula  $i = N \times q_i + 0,5$ , obtêm-se os respectivos percentis  $X_i$  dos dados, sendo este  $X_i$  correspondente ao valor individual da posição  $i$  dos valores individuais ordenados por ordem crescente.

TABELA 5. 13 - DETERMINAÇÃO DOS  $X_i$  DE CADA ÁREA DA DISTRIBUIÇÃO NORMAL

$q_i$	$i$	$X_i$
0,058	13,718	108,1
0,300	68,932	108,6
0,700	160,068	109,3
0,942	215,282	109,9

Para se calcular o índice  $QR$ , a partir do qual se pode afirmar a que família de distribuição ajustam-se os dados, foi necessário calcular  $m$ ,  $n$  e  $p$ .

$$\begin{aligned} m &= X_4 - X_3 = 0,6 \\ n &= X_2 - X_1 = 0,5 \\ p &= X_3 - X_4 = 0,7 \end{aligned}$$

Sendo então o índice  $QR$  obtido pela equação 2.50:

$$QR = \frac{m \times n}{p^2} = 0,6122$$

Como o índice  $QR < 0,9$ , pode dizer-se que os dados pertencem à família de distribuições  $S_B$ , do Sistema de Distribuições de Johnson. Logo os parâmetros do processo são dados pelas equações 2.51 a 2.54.

$$\eta = 1,001$$

$$\gamma = 0,201$$

$$\lambda = 2,761$$

$$\varepsilon = 107,622$$

Sendo então o domínio da variável  $X = [107,622; 110,383]$

Nas tabelas 5.14 e 5.15 estão representados os índices  $QR$ , as famílias de distribuições de Johnson, os parâmetros  $\eta$ ,  $\gamma$ ,  $\lambda$  e  $\varepsilon$  e os domínios obtidos para  $X$ , para cada uma das características, cujos dados não seguem a distribuição Normal.

TABELA 5. 14 - FAMÍLIA DA DISTRIBUIÇÃO DE JOHNSON DOS DADOS DA FIXAÇÃO DA TRAVESSA DO MOTOR PARA OS MODELOS FB8 E FE8

Fixação da travessa do motor				
Modelo	FB8		FE8	
Lado do chassis	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita
Índice $QR$	0,612	0,751	0,612	0,833
Família da distribuição de Johnson	$S_B$	$S_B$	$S_B$	$S_B$
$\eta$	1,001	1,336	1,001	1,684
$\gamma$	0,201	0,305	0,201	0,524
$\lambda$	2,761	3,660	2,761	3,980
$\varepsilon$	107,622	107,271	107,622	107,260
Domínio de $X$	[107,622;110,383]	[107,271;110,93]	[107,622;110,383]	[107,26;111,24]

TABELA 5. 15 - FAMÍLIA DA DISTRIBUIÇÃO DE JOHNSON DOS DADOS DO SUPORTE DE AMORTECEDORES PARA OS MODELOS FB8 E FE8

Suporte de amortecedores				
Modelo	FB8		FE8	
Lado do chassis	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita
Índice $QR$	0,778	0,832	0,405	1,450
Família da distribuição de Johnson	$S_B$	$S_B$	$S_B$	$S_U$
$\eta$	1,341	1,622	0,709	1,665
$\gamma$	1,086	0,999	0,028	-0,094
$\lambda$	3,628	4,073	2,173	0,936
$\varepsilon$	107,328	107,111	107,842	109,044
Domínio de $X$	[107,328;110,956]	[107,111;111,184]	[107,842;110,015]	] - $\infty$ ; + $\infty$ [

Como se pode constatar os dados da característica suporte de amortecedores – direita do modelo FE8 pertencem à família de distribuições  $S_U$  ( $QR > 0,9$ ), enquanto os dados das restantes características aqui tratadas pertencem à família  $S_B$  ( $QR < 0,9$ ).

Por outro lado, verifica-se que os limites especificação, tendo em conta o domínio obtido para cada variável  $X$  em cada uma das características, não é transformável, com excepção do suporte de amortecedores – direita do modelo FE8. Como tal, pode-se concluir, tendo por base o que foi referido em 2.8.5.2 que todas as características que não têm os limites de especificação no intervalo permitido para transformação dos dados têm capacidade, sendo a probabilidade dos apertos fora do intervalo de especificação igual a 0.

Para a característica suporte de amortecedores – direita do modelo FE8, pode-se recorrer à transformação dos limites especificação, pois o domínio definido para a transformação da variável  $X$  é  $] - \infty; +\infty[$ .

Para a transformação dos limites de especificação recorre-se à equação de transformação de dados para a família  $S_u$ , contida na tabela 2.15.

$$L_Z = -0,094 + 1,665 \sin^{-1} \left( \frac{98 - 109,044}{0,936} \right) = -5,361$$

$$U_Z = -0,094 + 1,665 \sin^{-1} \left( \frac{117,8 - 109,044}{0,936} \right) = 4,75$$

A partir destes limites de especificação é possível o cálculo da probabilidade de haver apertos fora de especificação.

$$P(Z < LIE) = P(Z < -5,361) = 4,141 \times 10^{-8} \rightarrow 0\%$$

$$P(Z > LSE) = P(Z > 4,75) = 1,022 \times 10^{-6} \rightarrow 0\%$$

Posto isto, as probabilidades de haver apertos para o suporte de amortecedores – direita do modelo FE8 fora de especificação é nula, podendo-se concluir desde já de que se está perante um processo com capacidade. O mesmo já foi referido para as restantes características estudadas na presente secção, pelo facto de os seus respectivos limites de especificação não serem transformáveis.

Através do método enunciado em 2.8.5.2 procede-se ao estudo de capacidade das características cujos dados não seguem uma distribuição Normal. É de realçar que apenas se irá apresentar o estudo de capacidade efectuado através do *software* “*Statistica*”, pois como foi referido em 5.2.3.2.2 na alínea c1), para a característica AF2 Esquerda, os percentis fornecidos pelo software são mais rigorosos do que os obtidos directamente através dos dados, pois são ajustados directamente à curva de distribuição dos dados.

Nas tabelas 5.16 e 5.17 apresenta-se o estudo da capacidade para a fixação da travessa do motor e suporte de amortecedores respectivamente, cujos dados individuais não seguem a distribuição Normal, sendo que todos os limites de especificação superior e inferiores são respectivamente 117,6N.m e 98N.m.

TABELA 5. 16 - ESTUDO DE CAPACIDADE DA FIXAÇÃO DA TRAVESSA DO MOTOR PARA OS MODELOS FB8 E FE8

Fixação da travessa do motor				
Modelo	FB8		FE8	
Lado do chassis	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita
$P_{0,135}$	107,620	107,231	107,609	107,812
$\bar{M}$	108,965	109,058	108,912	109,175
$P_{99,865}$	110,503	111,245	110,839	110,992
$\hat{C}_{cp}$	6,800	4,884	6,068	6,163
$\hat{C}_{cpk}$	5,616	3,907	4,509	4,636
$(\hat{C}_{cpk})_s$	5,616	3,907	4,509	4,636
$(\hat{C}_{cpk})_i$	8,154	6,053	8,373	8,199

TABELA 5. 17 - ESTUDO DA CAPACIDADE DO SUPORTE DE AMORTECEDORES PARA OS MODELOS FB8 E FE8

Suporte de amortecedores				
Modelo	FB8		FE8	
Lado do chassis	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita
$P_{0,135}$	107,650	107,781	107,533	107,202
$\bar{M}$	108,966	109,066	108,878	109,102
$P_{99,865}$	110,813	110,815	110,392	110,959
$\hat{C}_{cp}$	6,198	6,462	6,854	5,217
$\hat{C}_{cpk}$	4,676	4,882	5,758	4,577
$(\hat{C}_{cpk})_s$	4,676	4,882	5,758	4,577
$(\hat{C}_{cpk})_i$	8,333	8,612	8,088	5,843

No conjunto de características estudadas em 5.3.5.2, ainda falta apresentar o estudo de capacidade para as características relacionadas com o suporte de amortecedores do modelo FE7. Como os dados individuais destas características seguem uma distribuição Normal, os índices de capacidade são calculados de acordo com o método enunciado em 2.7.

### c2) Análise de capacidade para dados Normais

A análise de capacidade para dados Normais baseia-se no método referido em 2.7, através das equações 2.23, 2.25, 2.26 e 2.27.

A partir das cartas  $\bar{X}$  e  $S$  da característica suporte de amortecedores – esquerda do modelo FE7 (figura IV.11) e das cartas revistas  $\bar{X}$  e  $S$  do suporte de amortecedores – direita do modelo FE7 (figura IV.13, obtém-se os parâmetros dos respectivos processos  $\hat{\mu}$  e  $\hat{\sigma}$ , a partir dos quais é possível avaliar a sua capacidade.

O estudo de capacidade para o modelo FE7, no que respeita ao suporte de amortecedores está resumido na tabela 5.18, lembrando que o limite inferior e o limite superior de especificação são respectivamente 98N.m e 117,6N.m.

TABELA 5. 18 - ESTUDO DE CAPACIDADE DO SUPORTE DE AMORTECEDORES PARA O MODELO FE7

Suporte de Amortecedores		
Modelo	FE7	
Lado do chassis	Esquerda	Direita
$\hat{\mu}$	109,060	109,06
$\hat{\sigma}$	0,606	0,659
$\hat{C}_p$	5,388	4,957
$\hat{C}_{pk}$	4,695	4,319
$(\hat{C}_{pk})_s$	4,695	4,319
$(\hat{C}_{pk})_i$	6,080	5,594

### c3) Conclusão do estudo de capacidade

Por observação das tabelas 5.16, 5.17 e 5.18, verifica-se que todos os índices  $C_p$  são superiores a 1,33, ou seja, para todas as características envolvidas, todos os seus processos são potencialmente capazes. Adicionando ao facto anterior e porque o índice  $C_{pk}$  também é superior a 1,33 significa que todos os processos das referidas características são capazes.

Também se verifica que os processos não se encontram centrados, pois  $(C_{pk})_s \neq (C_{pk})_i$ , verificando-se uma tendência de os apertos estarem mais próximos do limite superior de especificação.

Este facto deve-se ao facto da parametrização introduzida nos tensores de aperto ser superior ao valor de especificação médio (107,8N.m), tendo por base o intervalo de especificação atribuído às características em estudo [98;117,6]. Sendo assim, por motivos internos da Mitsubishi, os tensores estão programados para um valor de aperto próximo dos 109N.m.

#### 5.3.5.2.2 - Fase 2 do SPC

Após conclusão da Fase 1, em que se estimaram os parâmetros do processo de cada característica ( $\mu$  e  $\sigma$ ), inicia-se a Fase 2, onde se faz a monitorização propriamente dita dos processos.

Para a aplicação da Fase 2 do controlo estatístico procedeu-se resumidamente da seguinte forma:

- Construção das cartas  $Z_{\bar{X}}$  e  $W_S$  para cada característica, incluindo na mesma carta todos os produtos;
- Verificar a estabilidade dos processos;
- Estudar a capacidade dos processos.

O registo da Fase 2 e a sua aplicação permitirá às entidades responsáveis pela zona de rebitagem uma actuação imediata, caso alguma anomalia seja detectada nas cartas construídas para o efeito.

Sendo assim para a construção da carta  $Z_{\bar{X}}$  recorre-se à equação 3.8 e para a carta  $W_S$  recorre-se à equação 3.10.

Os parâmetros do processo e a constante  $c_4$  são apresentados na tabela 5.19, onde  $c_4$  foi retirado da tabela do V e os parâmetros obtidos a partir das cartas de controlo das respectivas características.

TABELA 5. 19 - PARÂMETROS DO PROCESSO PARA AS CARACTERÍSTICAS EM ESTUDO

Componente	Modelo	Lado	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}$	$c_4$
Fixação da travessa do motor	FE8	Esquerda	108,96	0,605	0,9515
		Direita	109,2	0,54379	0,9515
Esquerda		108,890	0,596	0,9213	
Direita		109,1	0,611	0,9213	
Fixação da travessa do motor	FB8	Esquerda	108,98	0,571	0,9515
		Direita	109,08	0,6161	0,9515
Esquerda		109,010	0,606	0,9213	
Direita		109,1	0,559	0,9213	
Suporte de Amortecedores	FE7	Esquerda	109,060	0,606	0,9213
		Direita	109	0,551	0,9213

Tendo em consideração a dimensão das amostras das características em estudo e os limites de controlo definidos na tabela 3.8, representa-se na seguinte tabela os limites de controlo para as características seleccionadas.

TABELA 5. 20 - LIMITES DE CONTROLO PARA AS CARTAS Z E W EM ESTUDO

Componente	n	Carta	LIC	LC	LSC
Fixação da travessa do motor	6	Z	-3	0	3
		W	0,030	0	1,970
Suporte de Amortecedores	4	Z	-3	0	3
		W	0	1	2,266

Apenas são apresentadas as cartas  $Z_{\bar{x}}$  e  $W_s$  para a característica suporte de amortecedores esquerda, para os três modelos estudados. É ainda de relembrar que nestas cartas os diferentes modelos são representados na mesma carta, sendo representados por diferentes cores.

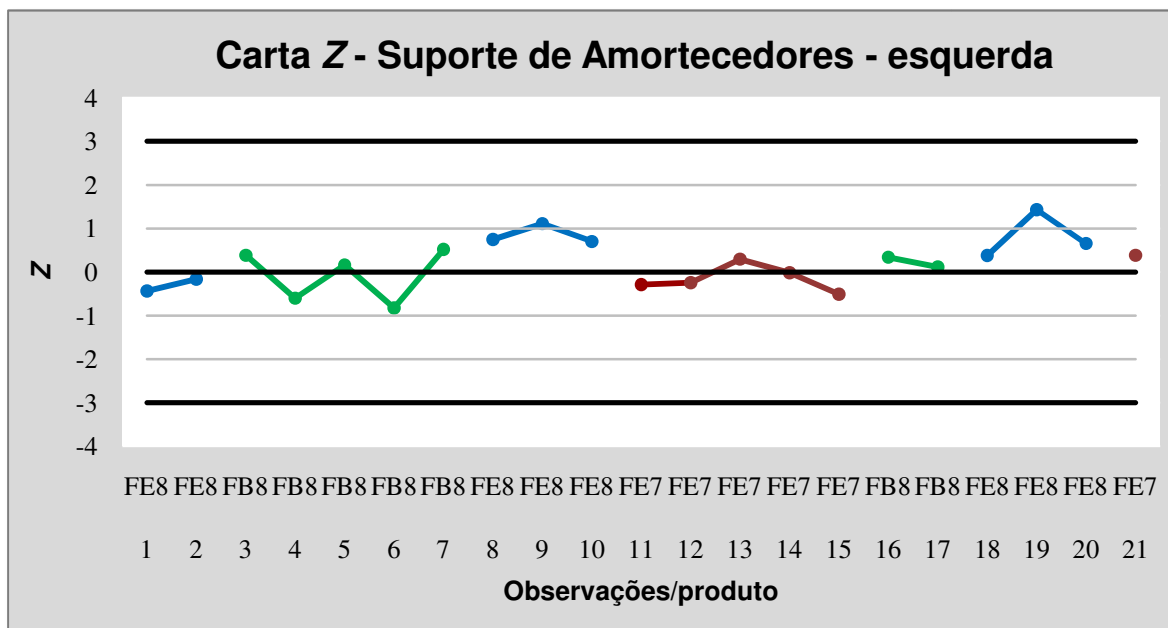


FIGURA 5.39 - CARTA Z PARA O SUPORTE DE AMORTECEDORES - ESQUERDA

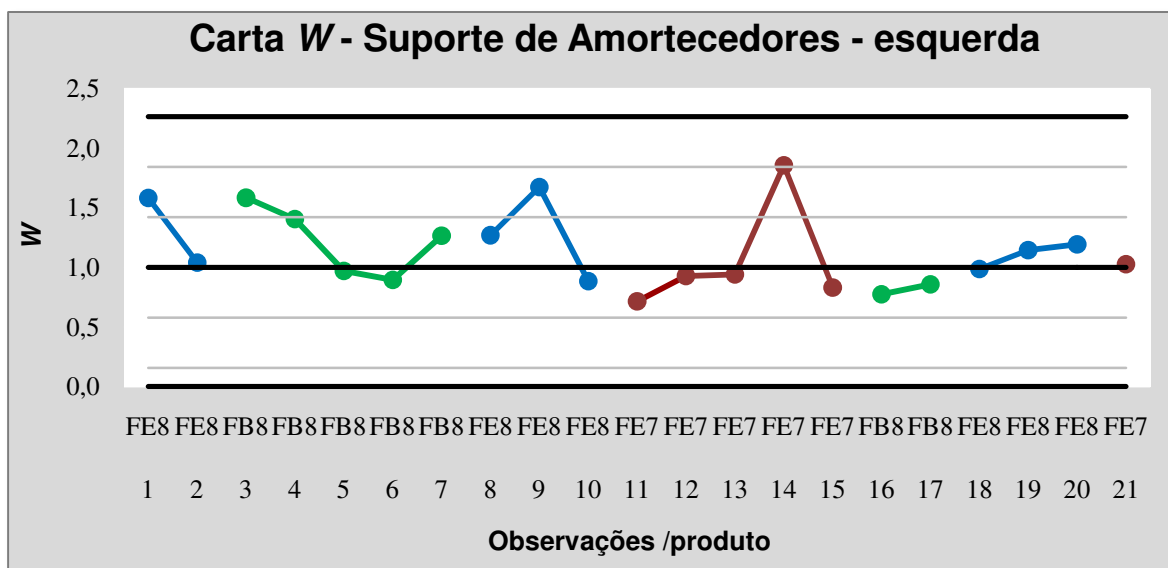


FIGURA 5.40 - CARTA W PARA O SUPORTE DE AMORTECEDORES - ESQUERDA

Pela observação das cartas verifica-se que não existe nenhuma causa especial, sendo que essas causas especiais devem ser verificadas em cada modelo individualmente. O mesmo poder-se-á dizer em relação às restantes cartas tratadas neste ponto, sendo que essas cartas encontram-se no anexo IV.1.5.

A análise da capacidade dos processos não se apresenta, pois para os modelos FE8 e FB8 verificou-se na Fase 1, que os dados não seguiam uma distribuição Normal. Como os índices de capacidade conhecidos para este tipo de cartas aplicam-se a dados Normais, foi decidido que o cálculo da capacidade para estas características fazer-se-ia periodicamente através do procedimento descrito na Fase 1 do SPC para as mesmas características.

É importante referir que tal como a verificação periódica da capacidade dos processos, também deve-se verificar com alguma periodicidade se os dados de cada processo alteram no que respeita à distribuição dos dados, de forma a não se retirarem conclusões erradas a respeito do processo.

A título de exemplo e para ilustrar o método de cálculo, são apresentadas as cartas  $Z$  para as características suporte de amortecedores esquerda (figura 5.42) e direita (figura 5.43), mas com o cálculo dos índices de capacidade para o modelo FE7, sendo que os índices de capacidade para cada instante  $r$  são obtidos a partir das equações 3.15 e 3.16.

É importante referir que no caso do modelo FE7 para o lado esquerdo  $m = 30$ , enquanto no lado direito  $m = 28$ , pois no suporte de amortecedores – direita eliminaram-se duas amostras na Fase 1 (ver tabela 5.10).

Os parâmetros  $\hat{\mu}_r$  e  $\hat{\sigma}_r$  obtêm-se respectivamente a partir das equações 3.21 e 3.22.

Porém há a registar que quando se está no primeiro instante da Fase 2 utiliza-se  $\bar{X}_{r-1} = \mu$ , assim como  $\bar{S}_{r-1} = \bar{S}$ .

Para além da representação no anexo IV.1.5 de todas as restantes cartas respeitantes a esta Fase 2, também são apresentadas as tabelas que serviram de base de cálculo para estas cartas.

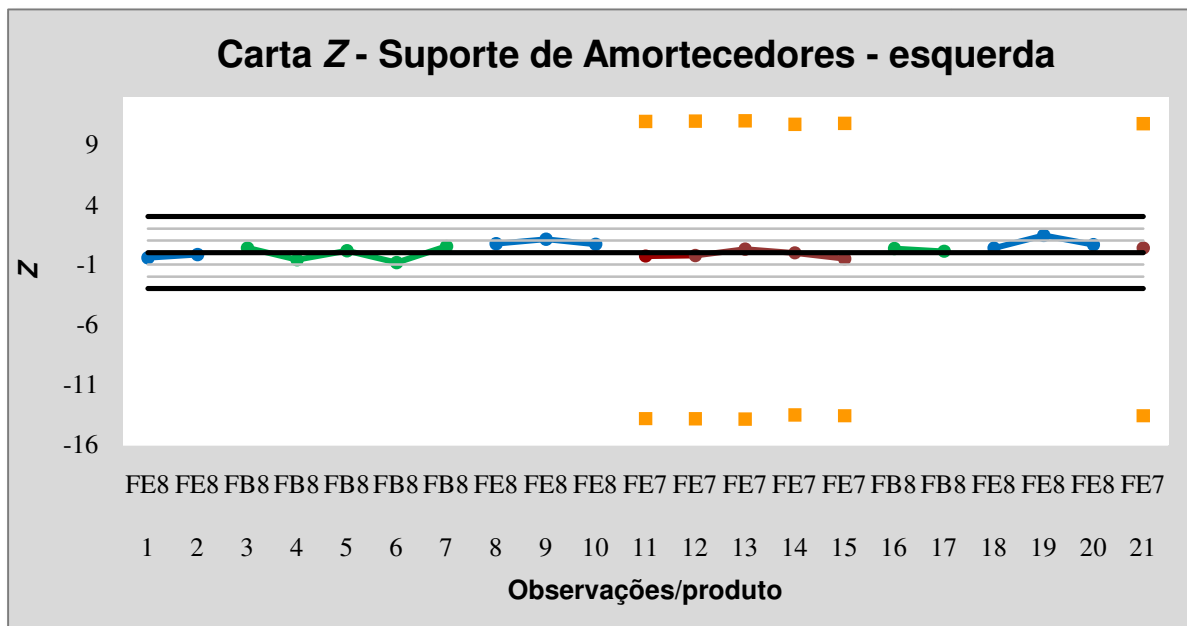


FIGURA 5.41 - CARTA  $Z$  DO SUPORTE DE AMORTECEDORES - ESQUERDA COM OS ÍNDICES DE CAPACIDADE PARA O MODELO FE7

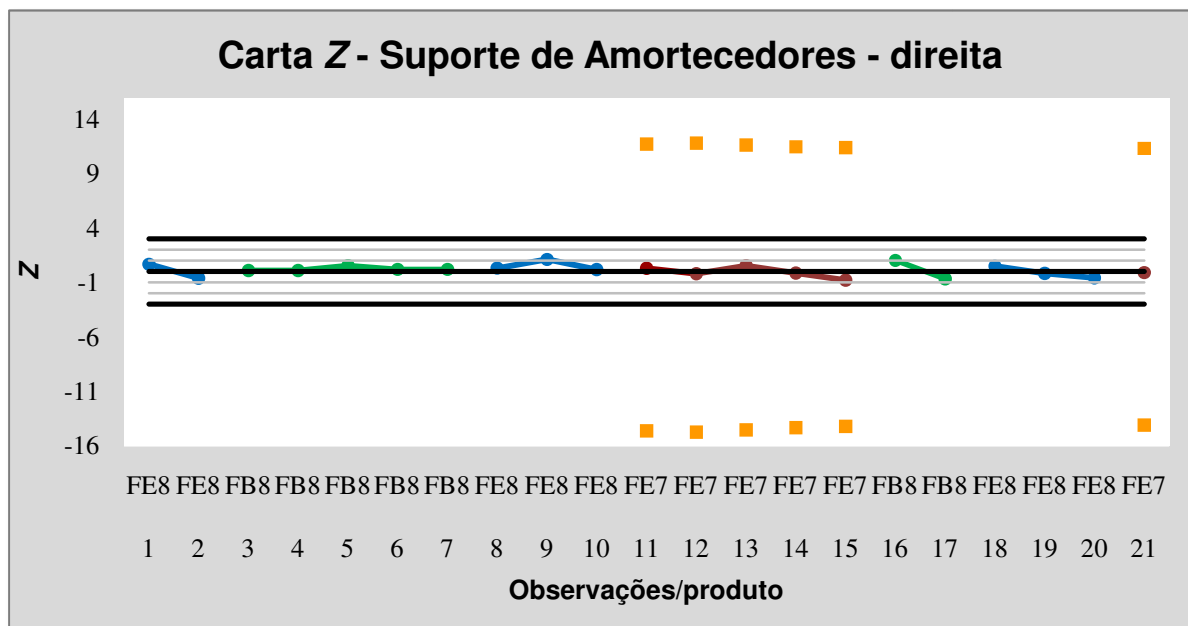


FIGURA 5.42 - CARTA Z DO SUPORTE DE AMORTECEDORES - DIREITA COM OS ÍNDICES DE CAPACIDADE PARA O MODELO FE7

Os índices de capacidade calculados traduzem um processo capaz e são representativos de um processo ligeiramente descentrado, estando o processo mais próximo do limite superior de especificação, pois  $|Z_s| < |Z_i|$ , como já se tinha verificado na Fase 1 do controlo estatístico.

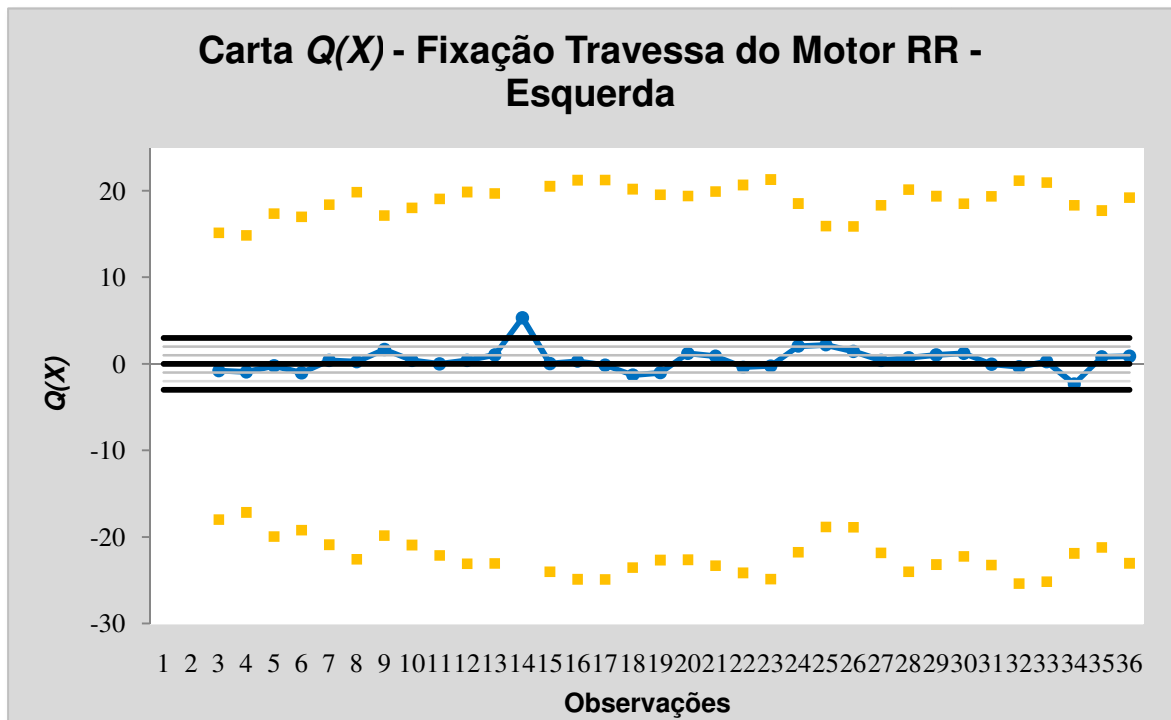
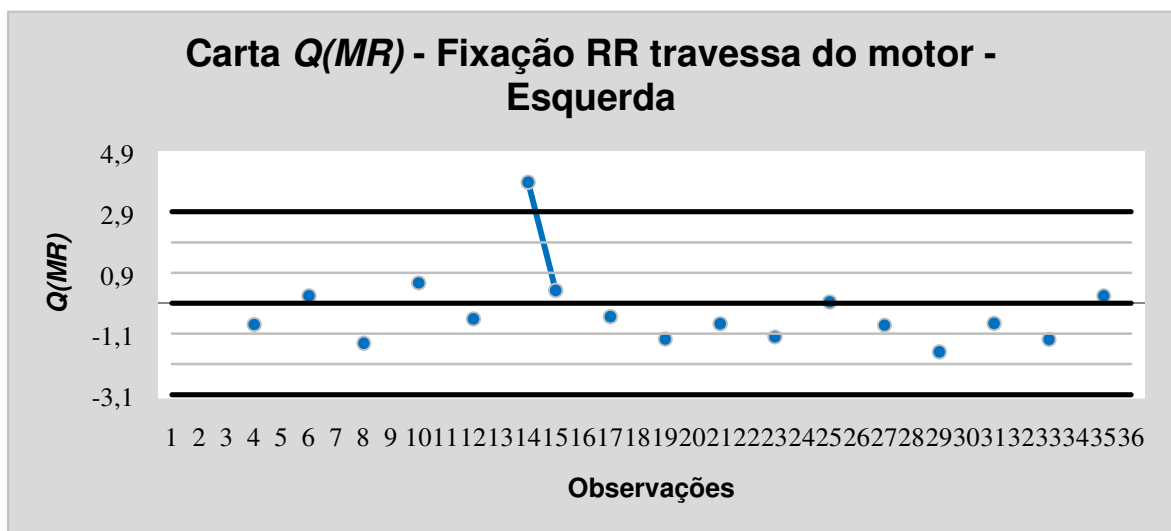
### 5.3.5.3 - Fixação FRT e Fixação RR da travessa do motor do modelo FE7

Tendo em conta que a travessa do motor para o modelo FE7 é apenas constituída por 2 parafusos com especificações diferentes, a obtenção do número mínimo de dados para a realização das cartas de Shewhart não pôde ser satisfeita dentro do prazo definido para o estágio. Posto isto, teve-se de proceder ao estudo da fixação FRT e fixação RR da travessa do motor do modelo FE7, através das cartas  $Q(X)$  e  $Q(MR)$ , procedendo-se à monitorização destes processos em simultâneo com o registo dos dados.

- Construção de cartas  $Q(X)$  e  $Q(MR)$ , para a fixação FRT e fixação RR da travessa do motor;
- Estudo da capacidade dos processos.

Apresentam-se nas figuras 5.43 e 5.44 respectivamente, as cartas  $Q(X)$  e  $Q(MR)$  da característica fixação RR esquerda da travessa do motor, encontrando-se as cartas das restantes características no anexo IV.2.

Nestas cartas, as estatísticas  $Q_r(X)_r$  e  $Q_r(MR)_r$  são determinadas respectivamente a partir das equações 3.27 e 3.28. Em relação aos índices de capacidade, são estimados a partir das equações 3.35 e 3.36.

FIGURA 5.43 - CARTA  $Q(X)$  PARA A FIXAÇÃO RR DA TRAVESSA DO MOTOR – ESQUERDAFIGURA 5.44 - CARTA  $Q(MR)$  PARA A FIXAÇÃO RR DA TRAVESSA DO MOTOR - ESQUERDA

### 5.3.5.3.1 - Verificação de padrões não aleatórios

Apenas se verificaram causas especiais de variação nas cartas correspondentes à fixação RR da travessa do motor. Estas causas especiais referem-se à regra 1 (um ponto fora dos do intervalo definido pelos limites de controlo) apresentada na tabela 2.3.

- Ponto 14 nas cartas  $Q(X)$  e  $Q(MR)$ , para a fixação RR da travessa do motor – esquerda.
- Ponto 31 na carta  $Q(X)$  para a fixação RR da travessa do motor – direita.

### 5.3.5.3.2 - Estudo da capacidade

No que respeita ao estudo da capacidade dos processos enunciados, os índices calculados revelam processos capazes.

Em termos de localização dos processos no intervalo de especificação, constata-se que os processos correspondentes à fixação RR da travessa do motor se encontram ligeiramente mais próximos do limite superior de especificação ( $|Q_s| < |Q_l|$ ). Em relação aos processos referentes à fixação FRT da travessa do motor, verifica-se igualmente que não se encontram centrados, pois o processo encontra-se mais próximo do limite superior de especificação.

Em geral os processos estudados na presente secção apresentam uma variabilidade baixa e relativamente constante.

É de realçar que a fixação RR da travessa do motor – direita (figura IV.3) apresenta uma diminuição de variabilidade, denotando uma tendência de a variabilidade estabilizar com o aumento do número de registos.

Nas figuras 5.45 e 5.46 são apresentadas graficamente, em conjunto, os índices de capacidade para a fixação RR da travessa do motor e para a fixação FRT da travessa do motor.

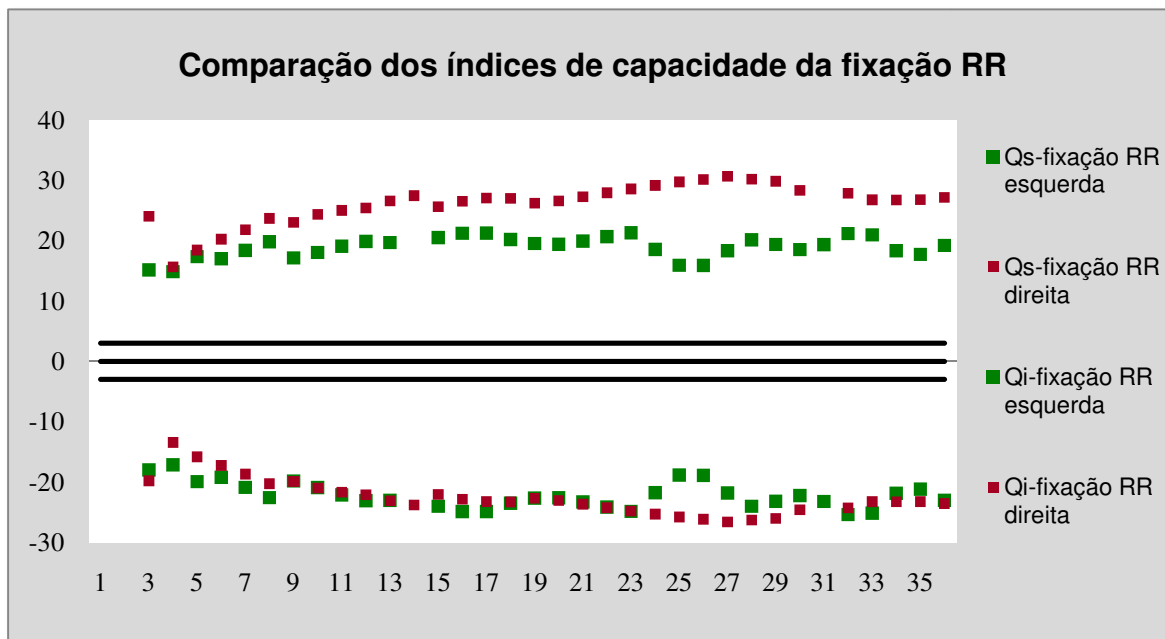


FIGURA 5.45 - COMPARAÇÃO DOS ÍNDICES DE CAPACIDADE DA FIXAÇÃO RR

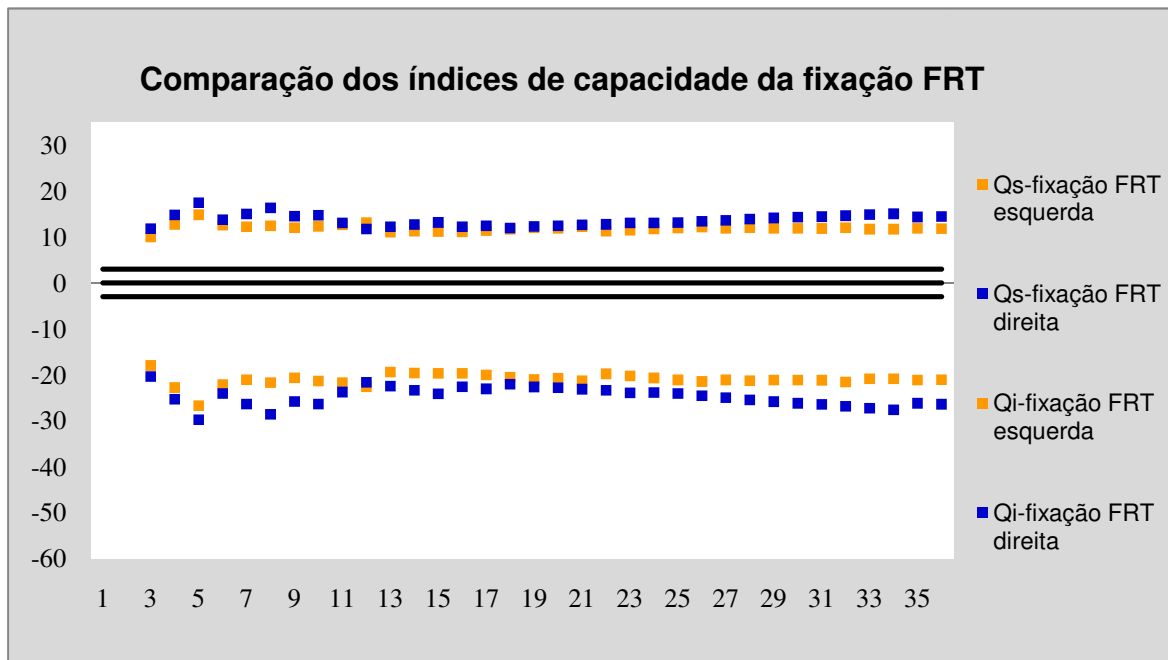


FIGURA 5.46 - COMPARAÇÃO DOS ÍNDICES DE CAPACIDADE DA FIXAÇÃO FRT

A partir da figura 5.45 verifica-se que de facto os processos das características associadas à fixação RR têm uma tendência ligeira de não se encontrarem centrados, apresentando-se mais próximos do limite superior de especificação. A figura 5.46 permite reforçar o que já foi referido relativamente à variabilidade e localização dos processos para as características da fixação FRT.

No que respeita à variabilidade, as figuras 5.45 e 5.46 vêm novamente demonstrar que a variabilidade é suficientemente constante, apresentando uma tendência natural para estabilizar com o aumento do número de observações.

### 5.3.4 - Conclusões para o estudo efectuado na zona de rebitagem

Tendo em consideração todas as características estudadas na rebitagem chega-se facilmente à conclusão que estamos perante processos com elevado grau de capacidade, apresentando uma grande eficiência e uma baixa variabilidade. Este facto surge essencialmente dos apertos serem dados com um tensor, cuja eficiência de aperto é automatizado.

Pode-se concluir que os apertos dados com tensores são bastante eficientes, sendo que as falhas que possam surgir nestes processos estão relacionados com a movimentação brusca do braço do operador que suporta o equipamento de aperto.

Posto isto, talvez o controlo estatístico para características relacionadas com apertos efectuados com tensores não seja necessário de forma permanente, uma vez que na MFTE existem muitos outros processos que poderão ser mais problemáticos e tendo em consideração que não é viável ter todos os processos sob estudos ininterruptos de controlo estatístico.

Uma medida para garantir a fiabilidade dos tensores é adequar planos de manutenção para estes equipamentos.

Sendo no âmbito de qualquer trabalho de campo a nível de engenharia identificar problemas e referir possíveis correcções ou melhorias há a registar que garantindo

uma correcta manutenção dos equipamentos poderão surgir problemas de outra ordem na realização da montagem de componentes nos chassis.

Estes problemas, que surgiram durante o trabalho de campo da presente dissertação, estão preponderantemente relacionados com enganos nos apertos efectuados e esquecimento de colocação de algum componente do chassis, pois os mais variados componentes variam de modelo para modelo.

A título de exemplo de causa de um possível engano é a ausência de um procedimento de montagem para os diversos componentes na linha de montagem, sendo que os desenhos existentes na linha para auxílio de montagem são da autoria do operador. Este facto é de extrema importância no caso do operador não poder comparecer no local de trabalho, podendo provocar paragens na linha para formação do operador substituto, situação insustentável em alturas de grandes volumes de produção.

## Capítulo 6 - Conclusões e Recomendações

---

O objectivo central da presente dissertação consistia na aplicação do Controlo Estatístico do Processo em alguns processos da MFTE. Para isso foi necessário em primeira instância uma investigação teórica dos diversos conceitos que serviram de suporte à aplicação prática do SPC.

A investigação teórica consistiu essencialmente em livros científicos de diversos autores de destaque no âmbito da gestão da qualidade e mais propriamente dito na temática do Controlo Estatístico do Processo. Esta investigação foi enriquecida com recursos a artigos científicos de diversos autores e/ou de também de diversas revistas e jornais com impacte na temática da qualidade.

Para consolidar os conceitos resultantes da investigação teórica aplicou-se esses conceitos às características seleccionadas para estudo na Mitsubishi Fuso Truck Europe (MFTE).

No entanto, a aplicação da teoria à prática foi dificultada pelo facto de a presente dissertação se basear num estágio com duração de tempo limitada, o que condicionou os tempos de intervenção nos processos. Adicionando a esta condicionante, o estágio ainda teve o contratempo de se inserir num período de falta de confiança no mercado, o que levou à redução de encomendas do produto Mitsubishi Canter, que por sua vez dificultou a recolha de dados.

### 6.1- Conclusões

#### 6.1.1 - Montagem das Portas

Tendo por base que o processo de montagem das portas era bastante problemático, foram atribuídos alguns pontos das portas para estudar as folgas e afloramentos (FE2, FE5, AF2 e AF5). Sendo assim, a implementação do controlo estatístico serviu não só para tomar conhecimento do estado do processo, como também para criar um método de controlo e acompanhamento do processo após as devidas medidas correctivas.

O processo de montagem das portas apresenta alguns factores problemáticos, resultantes em algumas reclamações ao longo da linha de produção. A nível estatístico nenhuma das características apresenta capacidade, porém deve-se dividir a análise da capacidade das características referentes aos afloramentos AF2, das restantes características estudadas.

As características AF2 Esquerda e AF2 Direita, apesar de apresentarem valores de  $C_p$  superiores a 1,33, os valores de  $C_{pk}$  são inferiores a 1,33, o que denota processos não centrados. Em relação às restantes características estudadas na montagem das portas, verificou-se que os respectivos índices  $C_p$  são inferiores a 1,33, sendo assim representativos de processos com elevada variabilidade, encontrando-se também não centrados ( $C_{pk} < 1,33$ ).

Perante o problemático processo de montagem das portas e como sinal de resposta às conclusões do estudo efectuado, a MFTE decidiu utilizar o seu novo aparelho de medição, o *Gap Gun*, com o objectivo de fazer novas e variadas medições, podendo assim avaliar se ao longo do processo produtivo as portas sofrem alterações nas

folgas e afloramentos, podendo-se mesmo vir a definir um *standard* de montagem das portas, inexistente no processo actual.

### 6.1.2 - Diâmetro de Rolha

A metodologia adoptada para o diâmetro de rolha não revelou que este seja um processo problemático para a MFTE, apresentando-se sob controlo estatístico e com capacidade.

Porém, dentro das diversas causas enunciadas para possíveis problemas inerentes ao processo, dever-se-á sempre ter em conta, se a frequência de amostragem traduz a realidade do processo, pois a frequência de amostragem poderá não ser igualmente representativa quando a taxa de produção é elevada ou baixa.

Portanto, tem todo o interesse o conhecimento do desgaste médio de uma pinça, para determinar qual a melhor frequência de amostragem, para depois então retirar as devidas e correctas ilações do processo em estudo. Para isso, será necessário estabelecer um plano de amostragem de teste, com uma frequência de amostragem superior ao actual, para definir, por exemplo, de quantas em quantas cabines se deve substituir ou afiar os eléctrodos.

### 6.1.3 - Binários de Aperto

Caso se pretenda continuar o controlo estatístico para características relacionadas com os tensores de aperto do posto F5 da linha da rebitagem, a metodologia a adoptar é semelhante à utilizada em 5.3.5.2 e 5.3.5.3.

Tendo por base o controlo estatístico e a análise de capacidade para as características seleccionadas, pode-se concluir que os apertos dados pelos tensores não são processos críticos e como tal são pouco relevantes para a implementação do controlo estatístico, uma vez que a MFTE tem outros processos que poderão ser consideravelmente mais problemáticos.

Todos os processos têm capacidade e com reduzida variabilidade, contudo apresentam uma tendência de se encontrarem a produzir mais perto do limite superior de especificação, e por este facto não se poderá considerar os referidos processos centrados.

Em suma, os binários de aperto dados com tensores apresentam uma grande eficiência, denotando processos capazes, pelo que são reduzidos os possíveis problemas resultantes directamente do aparafusamento propriamente dito.

Em termos de controlo estatístico e para continuar a aplicação do SPC, é de referir que pelo facto de terem surgido características cujos dados não apresentavam Normalidade, remete-se para a necessidade de periodicamente verificar se a distribuição dos dados se mantém, assim como se há alterações significativas nos valores dos parâmetros do processo.

## 6.2 - Sugestões para Trabalhos Futuros

Futuramente sugere-se que a Mitsubishi Fuso Truck Europe possa fazer uma selecção mais rigorosa e científica das características a estudar, seleccionando-as a partir, por exemplo, da aplicação de uma FMEA a cada processo considerado crítico.

No âmbito do controlo estatístico, tal como surgiram problemas de Normalidade nas características seleccionadas para a presente dissertação, é admissível a possibilidade de existirem características com dados auto-correlacionados, pelo que poder-se-á fazer então o ajustamento dos dados através de um modelo matemático (modelo ARIMA) e respectivo controlo através das cartas de controlo de resíduos.

A partir do momento em que houver características com elevado grau de eficiência, apresentando estabilidade dos processos e capacidade, e que tenham relevante grau de importância, para a empresa, é pertinente detectar rapidamente pequenas e/ou moderadas alterações nos parâmetros dos processos pelo que se recomendam, nestas situações, a utilização das cartas de controlo especiais *CUSUM* e *EWMA*. A utilização destas cartas permite aumentar consideravelmente a sensibilidade para detecção de causas especiais, sem incorrer num aumento de custos.

Uma outra área extremamente interessante dentro do SPC e que poder-se-á de certo abordar na MFTE diz respeito ao controlo estatístico simultâneo de características, referentes ao mesmo produto. Para realizar este estudo sugere-se a utilização do controlo estatístico multivariado, permitindo assim controlar simultaneamente diversas características do mesmo produto, assim como a correlação que possa existir entre elas.

## Bibliografia

---

- Andreev, A, Kanto, A e Malo, A (2005). Simple Approach for Distribution Selections in the Pearson System. *Helsinki School of Economics, Working Papers*.
- Bai, D. S. e Choi, I. S. (1995).  $\bar{X}$  and R Control Charts for Skewed Populations, *Journal of Quality Technology*, Vol. 27, No. 2.
- Bower, K. M. (2005). Capability Analysis with Non-Normal Data. *ASQ Six Sigma Forum*.
- Bower, K. M. (2005).  $C_{pk}$  vs.  $P_{pk}$ . *ASQ Six Sigma Forum*.
- Bowman, K. O. E Shenton, L. R. (1989).  $S_B$  and  $S_U$  Distributions Fitted by Percentiles: A General Criterion. *Commun. Statist – Simula.*, Vol 18, pp 1-13.
- Burr, I. W. (1976). *Statistical Quality Control Methods*, Marcel Dekker, Inc, New York.
- Chen, J. e Ding, C (2001). A new Process Capability Index for Non-Normal Distributions. *International Journal of Quality*, Vol 18 pp 762-770.
- Chou, Y-M. *et al.* (1994). On Using Percentiles to Fit Data by a Johnson Distribution. *Commun. Statists – Simula.*, Vol. 23, pp. 341-354.
- Chou, Y-M., Polansky, A. M. e Mason, R. L. (1998). Transforming Non-Normal Data to Normality in Statistical Process Control, *Journal of Quality Technology*, Vol. 30, No. 2.
- Del Castillo, E. (2002). *Statistical Process Adjustment for Quality Control*. John Wiley & Sons Inc., New York.
- Doty, L. A. (1996). *Statistical Process Control*. 2ª Edição, Industrial Press Inc., New York.
- Doty, L. A. (1997). *SPC for Short Run Manufacturing*. Hanser Gardner Publications, Cincinnati.
- Duncan, A. J. (1986). *Quality Control Industrial Statistics*, 5.ª Edição, Irwin, Homewood.
- Feigenbaum, A. V. (1991). *Total Quality Control*. 3ª Edição, McGraw-Hill International Editions, Singapore.
- Gomes, P. J. P. (2004). A Evolução do Conceito de Qualidade: dos bens manufacturados aos serviços de informação. *Cadernos BAD*.

- Gonzalez, P. U. e W., L (2009). Comparação dos índices de capacidade do processo para distribuições não-Normais. Página consultada em 20 de Agosto de 2009. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/gp/v16n1/v16n1a12.pdf>.
- Huggins, L. P. (1998). Total Quality Management and the Contributions of A. V. Feigenbaum. *Journal of Management History*, Vol. 4 pp 60-67.
- Juran, J. M. e Gryna, F. M. (1993). *Quality Control Handbook*. 3ª Edição, McGraw-Hill, New York.
- Kochan, A. (1990). SPC for Us. *The TQM Magazine*, Vol.2.
- Landesberg, P (1999). In the Beginning, There Were Deming and Juran. *The Journal for Quality & Participation*.
- Ledolter, J. e Burrill, C. W. (1999). *Statistical Quality Control: Strategies and Tools for Continual Improvement*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Liu, P-H e Chen, F-L. (2004). Process capability analysis of non-normal process data using the Burr XII distribution. Página consultada em 19 de Agosto de 2009. Disponível em <http://www.springerlink.com/content/t2772341257191w3/fulltext.pdf>.
- Luxmore, S. R. e Stendardi E. J. (1997). Implications of Total Quality Management for Agency Theory. *Management Research News*, Vol. 20, pp. 18-27.
- Mingoti, S. A. e Yassukawa, F. R. S. (2008). Uma Comparação de Gráficos de Controlo para a Média de Processos Auto-Correlacionados. *Revista Electrónica Sistemas & Gestão*, Vol. 4, pp. 55.73.
- Montgomery, D. C. (2001). *Introduction to Statistical Quality Control*. 4ª Edição, John Wiley & Sons Inc., New York.
- Moraes, C. F., Ferreira, J. R. e Balestrassi, P. P. (2006). Análise Crítica da Aplicação de Métodos Estatísticos em Processos definidos por Dados que não apresentam Normalidade. Página consultada a 19 de Agosto de 2009. Disponível em <http://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/viewFile/143/105>.
- Moreira Jr, Fernando e Echeveste, M. E. (2004). Uma Abordagem de Análise para o Controle Estatístico de Processo com dados Autocorrelacionados. *XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção – Florianópolis*. Página consultada em 10 de Agosto de 2009. Disponível em [http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2004\\_Enegep0202\\_1729.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2004_Enegep0202_1729.pdf).

- 
- Oliveira, A. L. M., Souza, C.C., Boehme, P. e Samohyl R.. A Normalização de Distribuições não-Normais através da Transformação de Box-Cox e alguns Comentários sobre a Avaliação de Qualidade. Página consultada a 18 de Agosto de 2009. Disponível em [http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1997\\_T4416.PDF](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1997_T4416.PDF).
  - Ott, E. R., Shilling, E. G. e Neubauer, D. V. (2005). *Process Quality Control: Troubleshooting ante Interpretation of Data*. 4ª Edição, American Society for Quality, Quality Press, Milwaukee.
  - Pearn, W. L., Chen, K. S. e Lin, G.H. (1999). A Generalization of Clements Method for Non-Normal Pearsonian Process with Asymmetric Tolerances. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol 16 pp 507-522.
  - Pereira, Z. P. e Requeijo, J. G. (2008). *Qualidade: Planeamento e Controlo Estatístico de Processos*. FCT – Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa e Prefácio - Edição de Livros e Revistas, Lda, Lisboa.
  - Pitt, Hy (1994). *SPC for the Rest of Us: A Personal Path to Statistical Process Control*. Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts.
  - Quesenberry, Charles P. (1997). *SPC Methods for Quality Improvement*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
  - Ramos, A. W.. Estudos de Capacidade para Dados não-Normais. Página consultada em 24 de Julho de 2009. Disponível em [http://portal.vanzolini-ead.org.br/siteBuilder/upload/br/site\\_141/arquivos/secao\\_488/Johnson.pdf](http://portal.vanzolini-ead.org.br/siteBuilder/upload/br/site_141/arquivos/secao_488/Johnson.pdf)
  - Raouf, A. e Ali, Z. (1992). On Developing Optimal Process Capability Index. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 9.
  - Schilling, E. G. e Nelson, P. R. (1976). The Effect of Non-Normality on the Control Limits of  $\bar{X}$  Charts. *Journal of Quality Technology*, Vol. 8, No. 4.
  - Shayib, M (1989). The Procedure for Selection of Transformations from The Johnson System. *Commun. Statist – Simula.*, Vol 18, pp 1457-1464.
  - Shewhart, W. A. (1931). *Economic Control of Quality of Manufactured Product*, D. Van Nostrand Company, Inc, New York.
  - Slifker, J. F. e Shapiro, S. S. (1980). The Johnson System: Selection and Parameter Estimation, *Technometrics*, Vol. 22, No. 2.
  - Spedding, T. A. e Rawlings, P. L. (1994). Non-Normality in Statistical Process Control Measurements. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 11(6), pp 27-37.

- Talha, M. (2004). Total Quality Management (TQM): an overview. *The Bottom Line: Managing Library Finances* Vol. 17 pp 15-19.
- Wise, S. A. e Fair, D. C. (1998). *Innovative Control Charting: Practical SPC Solutions for Today's Manufacturing Environment*. ASQ Quality Press, Milwaukee, Wisconsin.
- Wu, H-H, Swain, J. J., Farrington, P. A. e Messimer, S. L. (1999). Weighted Variance Capability Index for General Non-Normal Processes. *Quality and Reliability Engineering International*. Vol 15 pp 397-402.

## **ANEXOS**

## **Anexo I – Mitsubishi Fuso Truck Europe**

---

- Organigrama
- Modelos
- Vendas nos países europeus em 2008

I.1 – Organigrama

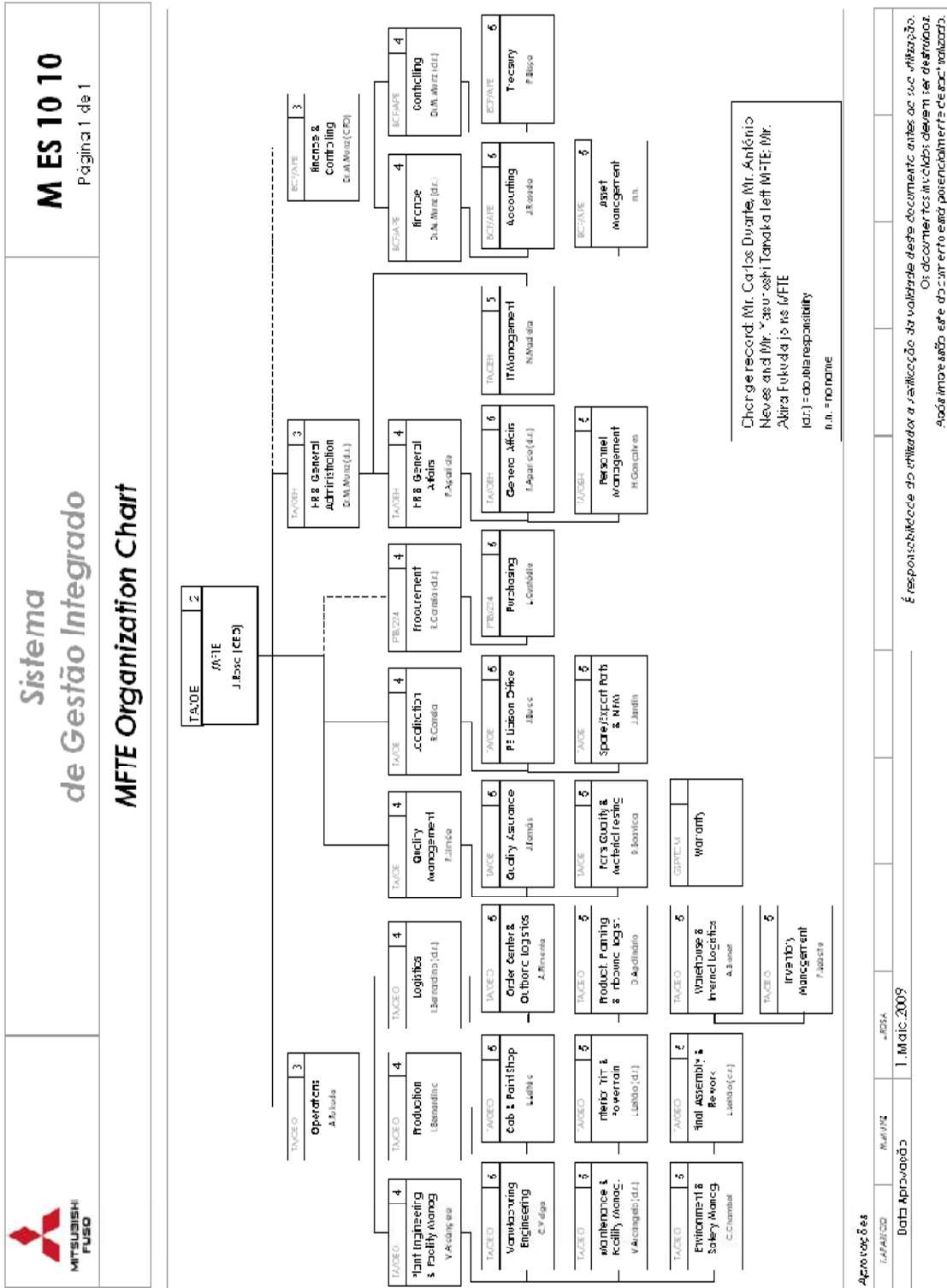


FIGURA I.1 - ORGANIGRAMA DA MFTE

## I.2 - Sistema de Codificação de cada Modelo

## VEHICLE MODEL CODING SYSTEM

PARA  
REFERÊNCIA

① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩  
F E 7 4 S B □ □ □ □

1	Basic vehicle type	F	Cab-over engine truck
2	Drive system and basic GVM	B	4 x 2, GVM 3.5 tons
		E	4 x 2, GVM 3.5 to 8.0 tons
3	Cab type	7	Standard width cab
		8	Wide cab
4	Vehicle variations, suspension	3	GVM 3.5 to under 6.0 tons, leaf spring
		4	GVM 3.5 to under 7.0 tons, leaf spring
		5	GVM 7.0 to under 8.0 tons, leaf spring
5	Engine	S	4P10T2, 4P10T3
6	Wheelbase	B	FB, FE 2500 mm
		C	FE 2750 mm
		D	FB, FE 2950 mm
		E	FB, FE 3350 mm
		G	FB, FE 3850 mm
		H	FE 4200 mm
		J	FE 4470 mm
7	Chassis arrangement for use	None	Standard use
		B	Wide frame
8	Rear tyre arrangement, payload	4	Rear double GVM 3.5 to under 6.0 tons
		6	Rear double GVM 6.0 to under 8.0 tons
9	Vehicle specification	S	Except crew cab, turbocharger
		W	Crew cab
10	Steering position	L	Left-hand drive vehicle
		R	Right-hand drive vehicle

FIGURA I.2 - SISTEMA DE CODIFICAÇÃO DO MODELO DO VEÍCULO

I.3 – Vendas nos Países Europeus em 2008

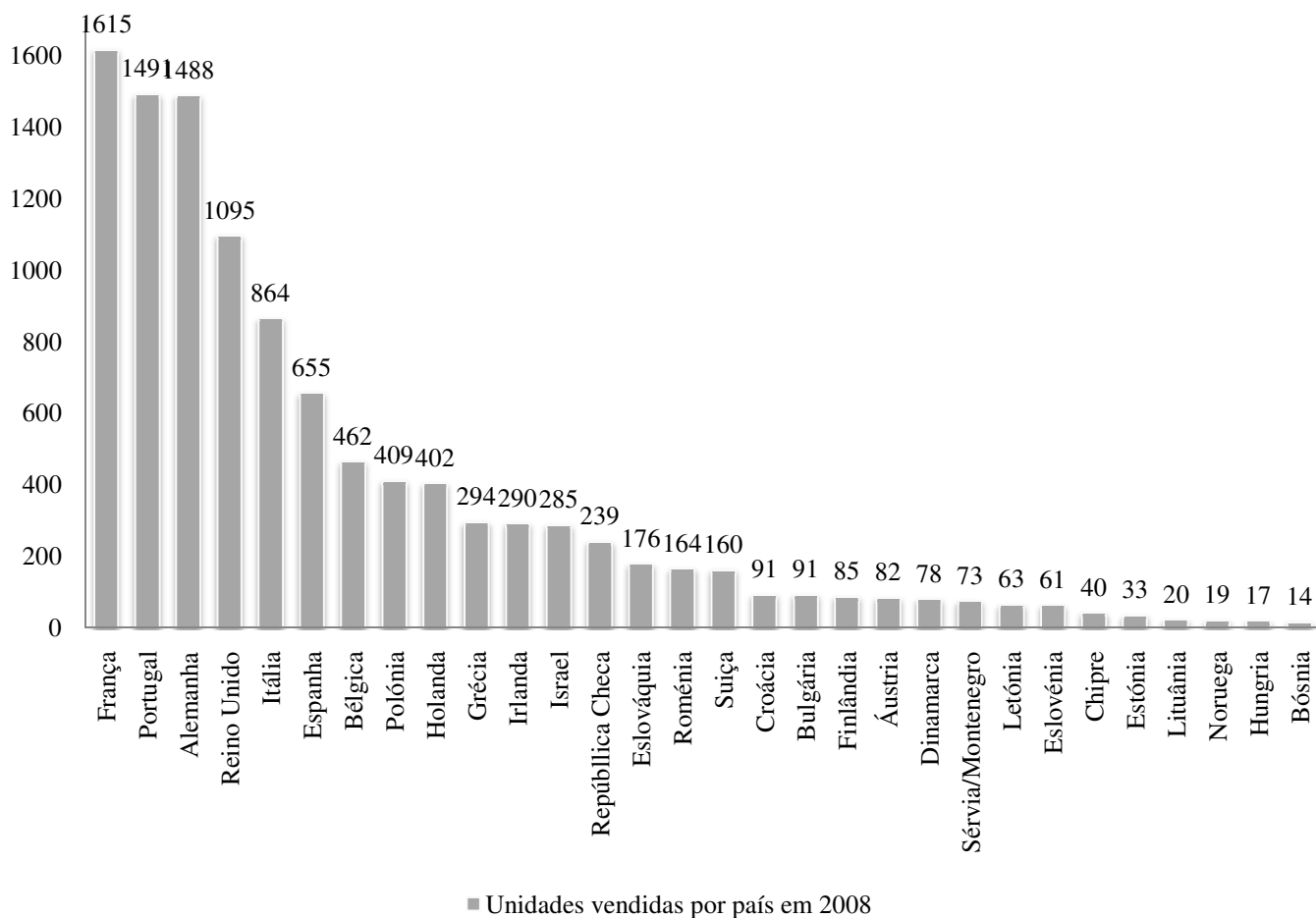


FIGURA I.3 – VENDAS NO ANO DE 2008

## Anexo II - Montagem das Portas

---

- Dados das folgas da montagem das portas
- Dados dos afloramentos da montagem das portas
- Cartas das características seleccionadas na montagem das portas
- Histogramas - característica  $X$  na montagem das portas
- Dados transformados da característica AF2 Esquerda
- Tabelas auxiliares à construção das cartas  $Q(X)$  e  $Q(MR)$  para a característica AF5

## II.1 - Dados das Folgas da Montagem das Portas

Nº	Data	FE2		FE5	
		Esquerda	Direita	Esquerda	Direita
1	13-11-2008	4,8	5,5	6,3	7,1
2	13-11-2008	4	5,3	5,5	6,4
3	13-11-2008	4,8	4,4	6,1	7,4
4	14-11-2008	5,4	5,2	5,8	5,8
5	14-11-2008	3,5	5	7	4,2
6	14-11-2008	4,8	5,5	4,6	4,4
7	19-11-2008	4,4	5,2	5	5,4
8	19-11-2008	4,5	5,6	5,3	5,4
9	19-11-2008	5,1	5,3	5,9	4,8
10	20-11-2008	4,8	4,6	6,3	5,7
11	20-11-2008	5,5	4,4	4,7	5,6
12	20-11-2008	4,5	3,9	5,3	6,1
13	21-11-2008	4,6	3,9	4,6	6,4
14	03-12-2008	4,1	4,7	6,1	6,4
15	04-12-2008	3,6	3,6	6,9	6
16	04-12-2008	5,8	3,9	4,9	5,8
17	04-12-2008	4,1	4,9	6	5,6
18	05-12-2008	3,4	4,1	6,7	7,4
19	10-12-2008	5,2	4,9	5,4	5,8
20	10-12-2008	4,8	5,4	6,5	6,4
21	07-01-2009	4,8	4,2	5,8	6
22	08-01-2009	4,8	4,8	5,8	5,9
23	12-01-2009	4,6	3,4	6,5	7,5
24	13-01-2009	5	4,7	6,7	6,4
25	13-01-2009	3,4	4,9	6,9	6,9
26	14-01-2009	5,1	4,1	6,6	6,8
27	15-01-2009	4,5	4,6	7,1	6,4
28	19-01-2009	4,8	3,8	6,4	7,2
29	19-01-2009	4,7	5,3	6,6	6,3
30	20-01-2009	4,1	4,6	6,6	5,6
31	20-01-2009	4,4	5,1	6	6,6
32	21-01-2009	5,2	5,1	6,1	6,2
33	22-01-2009	4,7	3,6	6	7,3
34	22-01-2009	4,2	5,2	6,5	6,8
35	26-01-2009	4,4	4,9	7	5,5
36	26-01-2009	4,8	5,5	6,3	6,8
37	28-01-2009	5,1	5,7	5,8	6,8
38	29-01-2009	4,5	4,6	5,6	6,3
39	09-02-2009	5,6	4,7	5,8	5,7
40	10-02-2009	4,7	5,1	5,8	5,8
41	11-02-2009	4,4	3,5	6,8	7,5
42	11-02-2009	4,8	3,6	5,9	7,3
43	25-02-2009	4,9	4,9	5,6	6,5
44	25-02-2009	4,1	4,7	5,5	5,9
45	26-02-2009	4,4	5,1	6,1	6,3
46	26-02-2009	4	4,2	6,7	7
47	27-02-2009	4	4,8	5,3	6,3
48	06-03-2009	4,6	4,6	5,9	5,9
49	09-03-2009	4,2	5,1	6,9	6,9
50	19-03-2009	4,4	4,2	6,8	7,9

TABELA II. 1 - DADOS DAS FOLGAS (13/11 A 19/03)

Nº	Data	FE2		FE5	
		Esquerda	Direita	Esquerda	Direita
51	20-03-2009	3,8	3,9	6,2	7,3
52	20-03-2009	3,2	4,5	6,5	6,5
53	21-03-2009	5,2	4,2	6,2	7,6
54	24-03-2009	4,2	3,8	5,9	7,4
55	30-03-2009	4,2	4,5	6,2	7,2
56	14-04-2009	4,6	4,7	6	6,1
57	15-04-2009	4,1	4	6,5	6,8
58	15-04-2009	4,9	4,8	5,9	6,9
59	16-04-2009	4,7	5,5	6,4	6,7
60	21-04-2009	4,1	4,7	6,6	7,3
61	21-04-2009	4,2	4,4	6,2	6,3
62	22-04-2009	4,4	4,6	6	6,9
63	22-04-2009	4,1	3,8	6,9	6,7
64	24-04-2009	4,3	4,4	6,3	6
65	27-04-2009	4,5	4,6	7,4	6,5
66	27-04-2009	4,3	5	6,3	6,2
67	28-04-2009	4	5	6,1	6,8
68	28-04-2009	4,2	3,9	6,4	7,1
69	29-04-2009	4,4	4,5	6,8	6,5
70	29-04-2009	3,9	3,9	6,3	6,4
71	04-05-2009	4,3	4,2	6,1	6,7
72	05-05-2009	4,6	4,4	6,5	6,9
73	06-05-2009	3,6	4,7	6,5	5,5
74	08-05-2009	3,6	4,6	6,2	6,8
75	12-05-2009	4,6	4,5	6,6	7
76	14-05-2009	4,4	4,9	5,8	6
77	15-05-2009	4,9	4	5,8	6,8
78	15-05-2009	4	3,9	6,2	6,8
79	18-05-2009	3,6	4,9	6,7	6,3
80	18-05-2009	4,9	4,4	6,0	6,6
81	19-05-2009	3,5	5,7	6,3	6,1
82	28-05-2009	3,8	4,4	6,5	6,2
83	29-05-2009	3,4	4,5	7,2	6,3
84	01-06-2009	4,7	3,9	6,1	6,7
85	01-06-2009	4,3	4,6	6,3	6,6
86	02-06-2009	4,3	5,1	5,8	5,7
87	03-06-2009	5,2	3,1	6,4	7,1
88	03-06-2009	4,9	3,9	5,9	6,4
89	04-06-2009	4	4,3	5,9	7,1
90	04-06-2009	3,4	3,3	6,6	7,8
91	05-06-2009	5	4,1	5,8	6,3
92	15-06-2009	5,8	3,6	5,7	6,1
93	17-06-2009	4,9	3,4	5	7,8
94	17-06-2009	4,4	3,5	5,8	7
95	18-06-2009	5	3,8	5,5	7,5
96	18-06-2009	6	3,3	5,3	7,2
97	19-06-2009	5	4,1	5,6	7,2
98	22-06-2009	5,8	5,5	5,7	4,7
99	23-06-2009	5,5	3,5	5,5	6,6
100	24-06-2009	3,7	4,4	5,4	5,3

TABELA II. 2 - DADOS DAS FOLGAS (20/03 A 24/06)

## II.2 - Dados dos Afloramentos da Montagem das Portas

Nº	Data	AF2		AF5	
		Esquerda	Direita	Esquerda	Direita
1	13-11-2008	-2,9	-2,8	0	0
2	13-11-2008	-3,4	-2,9	-1	0
3	13-11-2008	-3,5	-2	0	-2
4	14-11-2008	-3,1	-2	2	-1
5	14-11-2008	-3	-2,8	1	-2
6	14-11-2008	-2,6	-0,4	-2	-2
7	19-11-2008	-3,6	-3	-1	-2
8	19-11-2008	-3	-2,1	0	0
9	19-11-2008	-1,4	-3,4	0	-2
10	20-11-2008	-2,2	-2,1	-2	-1
11	20-11-2008	-1,4	-3,5	-2	-2
12	20-11-2008	-2,5	-3,8	-2	-2
13	21-11-2008	-3,3	-2,6	-2	-2
14	03-12-2008	-3,2	-1	-1	0
15	04-12-2008	-2,3	-1,4	-2	0
16	04-12-2008	-2,3	-3	1	-2
17	04-12-2008	-3,9	-1,7	-1	0
18	05-12-2008	-2,4	-2,5	-2	-1
19	10-12-2008	-0,3	-1,3	1	-2
20	10-12-2008	-1	-1,9	2	1
21	07-01-2009	-1,7	-3,5	1	-2
22	08-01-2009	-2	-3,4	0	-1
23	12-01-2009	-0,7	-3,1	0	-2
24	13-01-2009	-1,1	-2	1	-1
25	13-01-2009	-3,6	-2,1	1	0
26	14-01-2009	-0,8	-3,6	1	0
27	15-01-2009	-0,7	-3,1	0	0
28	19-01-2009	-2,1	-3,9	1	0
29	19-01-2009	-0,7	-2,3	1	-1
30	20-01-2009	-2,6	-3,3	0	-1
31	20-01-2009	-1,6	-0,4	0	0
32	21-01-2009	-0,4	-2,6	1	0
33	22-01-2009	-1,3	-4	1	-1
34	22-01-2009	-1,7	-0,8	1	0
35	26-01-2009	-2,3	-1,8	1	-1
36	26-01-2009	-1,2	-1,5	2	2
37	28-01-2009	-1,1	-1,5	1	2
38	29-01-2009	-2,7	-3	1	-2
39	09-02-2009	-1,2	-2,6	0	-2
40	10-02-2009	-2,5	-2,9	1	0
41	11-02-2009	-0,3	-2,5	-1	-2
42	11-02-2009	-1,4	-3,7	1	2
43	25-02-2009	-2,5	-1,1	0	-2
44	25-02-2009	-2,6	-1,8	0	-2
45	26-02-2009	-2,8	-2,4	1	0
46	26-02-2009	-2,2	-2,7	1	-1
47	27-02-2009	-3,1	-2,2	-1	-1
48	06-03-2009	-1,3	-2,2	-1	-1
49	09-03-2009	-2,3	-0,6	1	1
50	19-03-2009	-0,3	-2,3	0	1

TABELA II. 3 - DADOS DOS AFLORAMENTOS (13/11 A 19/03)

Nº	Data	AF2		AF5	
		Esquerda	Direita	Esquerda	Direita
51	20-03-2009	-1,3	-2,5	0	1
52	20-03-2009	-1,8	-2,3	-1	0
53	21-03-2009	-0,1	-2,1	1	-1
54	24-03-2009	-1,5	-3	1	-1
55	30-03-2009	-1	-1,5	-2	1
56	14-04-2009	-1,5	-3,5	1	1
57	15-04-2009	-1	-2,1	1	-2
58	15-04-2009	-1,1	-1,9	0	0
59	16-04-2009	-0,2	-0,6	0	2
60	21-04-2009	-2,3	-0,5	0	2
61	21-04-2009	-0,9	-2,8	-2	-2
62	22-04-2009	-2,2	-2,2	-2	0
63	22-04-2009	-1,1	-3	1	-2
64	24-04-2009	-1	-1,3	-2	-3
65	27-04-2009	0,1	-2,1	2,3	-1,3
66	27-04-2009	-1,1	-1,3	-0,3	-1,6
67	28-04-2009	-1,2	-1,2	-0,3	-1,9
68	28-04-2009	-0,5	-3,3	-1,8	-1,5
69	29-04-2009	0	-2	-2	-1,8
70	29-04-2009	-2,1	-4,3	-0,3	1,1
71	04-05-2009	-0,8	-2,4	-1	-1,1
72	05-05-2009	-0,4	-2,1	1,9	-1
73	06-05-2009	-2,2	-1,1	-2	-3,2
74	08-05-2009	-1	-1,2	0,3	1
75	12-05-2009	0	-1,4	-1	1,3
76	14-05-2009	-1	-2,8	-0,3	-2,8
77	15-05-2009	-0,7	-3,5	-4,2	-3,5
78	15-05-2009	-1,6	-2,9	-2,1	-2,9
79	18-05-2009	-2,2	-3	-1,3	-3
80	18-05-2009	-0,2	-2,0	-2,8	-5,0
81	19-05-2009	-2,7	1,0	-3,5	-4,3
82	28-05-2009	-2,1	-1	-1,5	-2,8
83	29-05-2009	-2,5	-1,9	-2,9	-3,8
84	01-06-2009	-1,2	-1,6	-1,5	-4,2
85	01-06-2009	-0,5	-1,2	-2,8	-3,6
86	02-06-2009	-1,2	-0,1	-1	-3,3
87	03-06-2009	0,3	-2,4	-2,5	-5,1
88	03-06-2009	-0,2	-1,9	-1,6	-2,8
89	04-06-2009	-2,7	-1,2	-3	-2,2
90	04-06-2009	-1,3	-2	-2,8	-3,9
91	05-06-2009	-0,7	-2,1	0,5	-3,8
92	15-06-2009	0,4	-1,3	-2,3	-2,3
93	17-06-2009	-1	-1,7	-2,5	-2,6
94	17-06-2009	-1,6	-2,6	-3,8	-4
95	18-06-2009	-0,7	-1,4	0,3	-2,6
96	18-06-2009	0,4	-2,9	1,5	-5,5
97	19-06-2009	-1,2	-2	-1,4	-3,2
98	22-06-2009	1,5	-1,5	-2	-2,8
99	23-06-2009	0	-2,1	-1,5	-4,3
100	24-06-2009	-3	-3,6	-3,3	-3,6

TABELA II. 4 - DADOS DOS AFLORAMENTOS (20/03 A 24/06)

II.3 - Cartas das Características Seleccionadas na Montagem das Portas

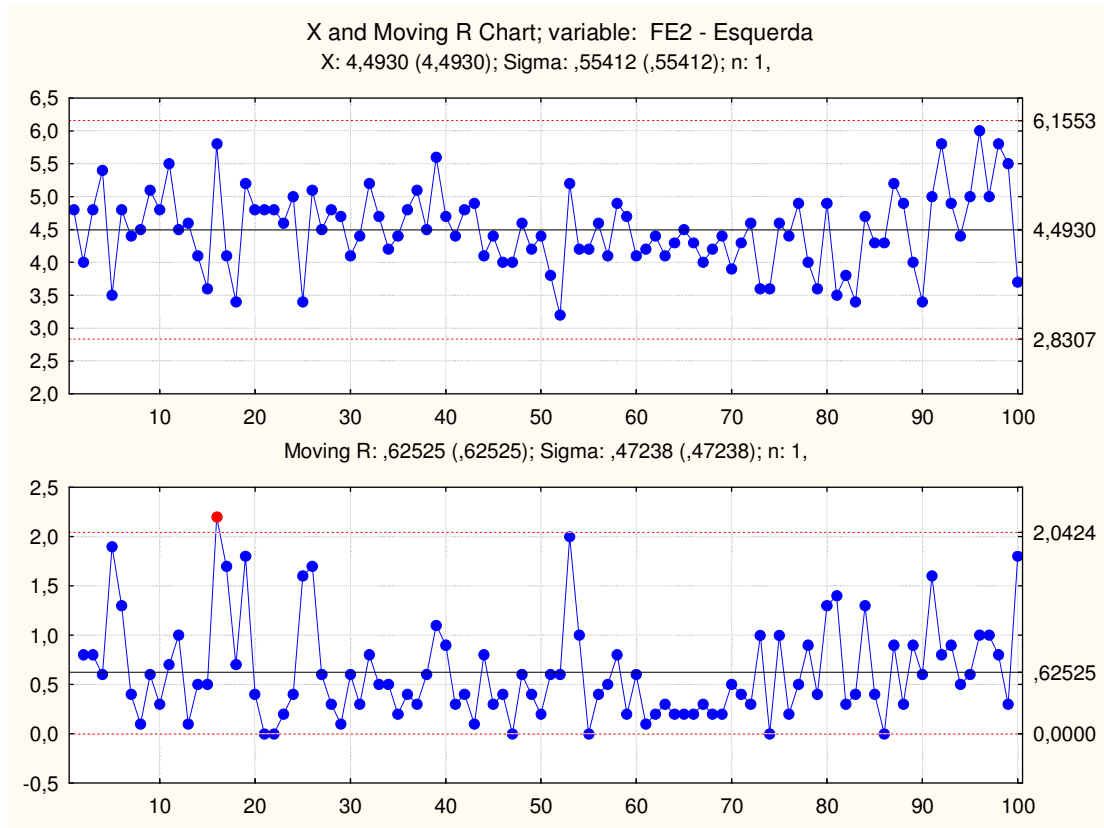


FIGURA II. 1 - CARTAS X E MR PARA A CARACTERÍSTICA FE2 – ESQUERDA

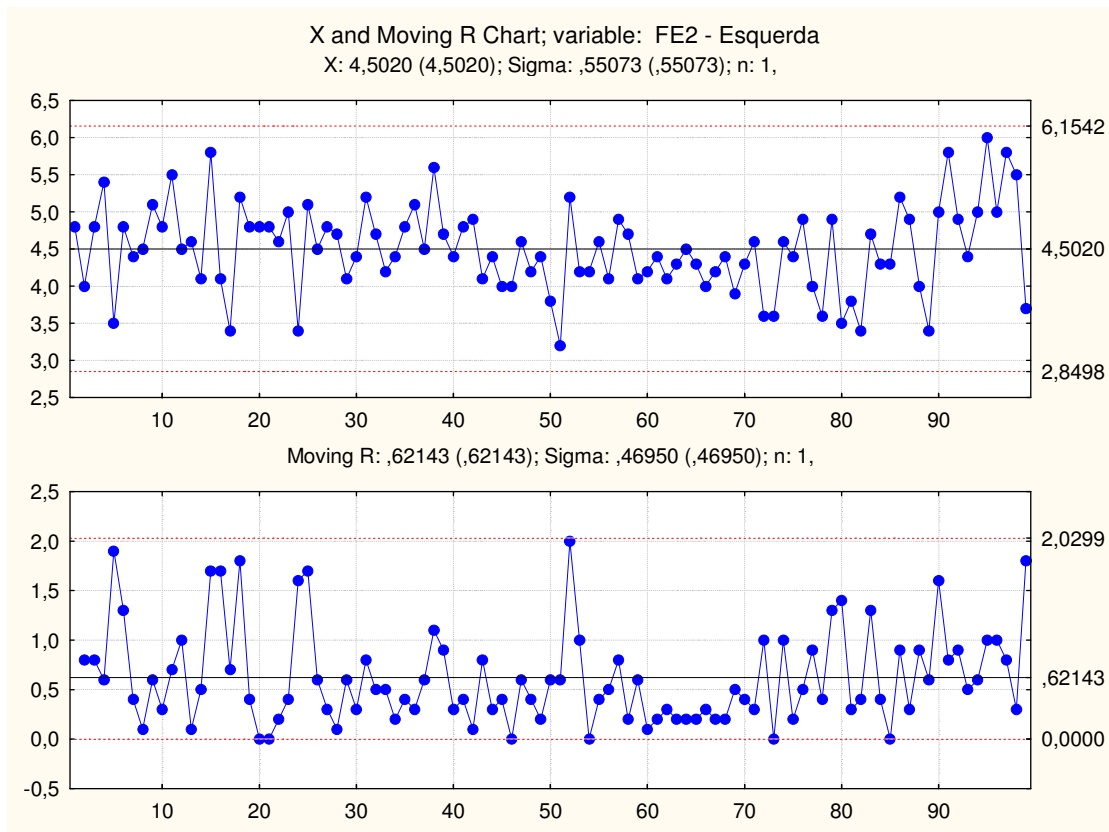


FIGURA II. 2 - CARTAS REVISTAS X E MR PARA A CARACTERÍSTICA FE2 - ESQUERDA

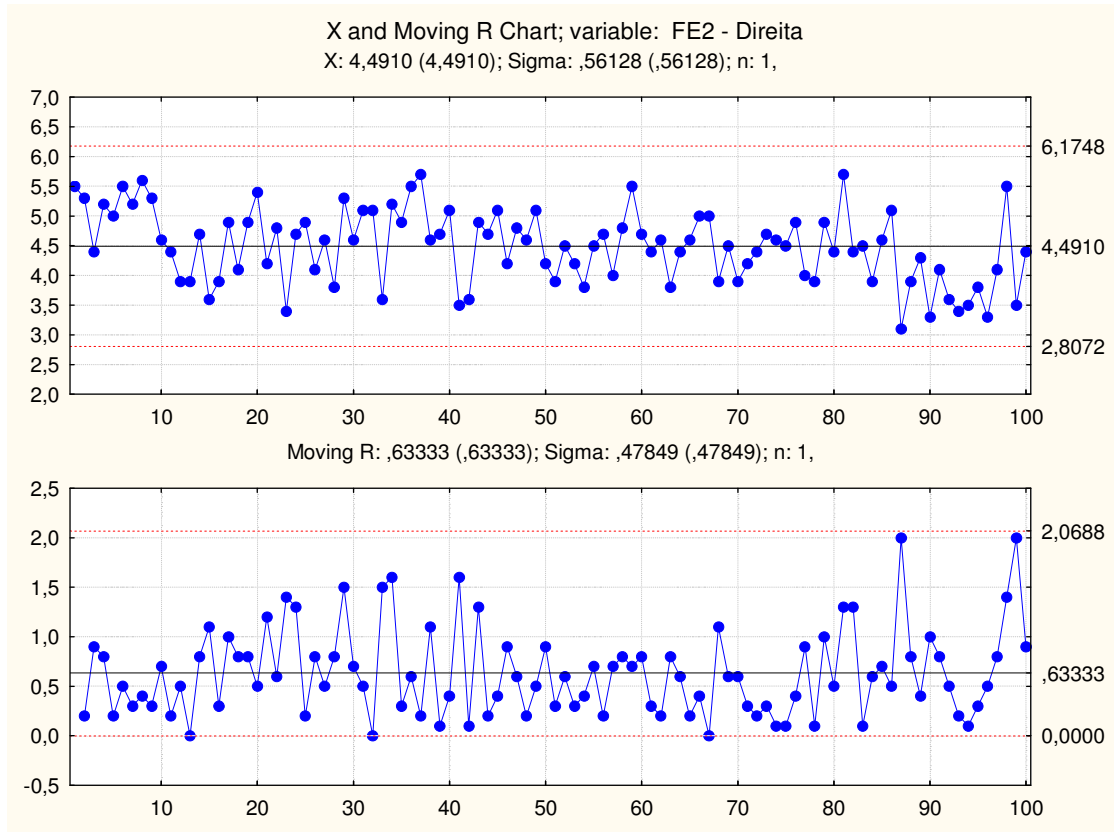


FIGURA II. 3 - CARTAS X E MR PARA A CARACTERÍSTICA FE2 - DIREITA

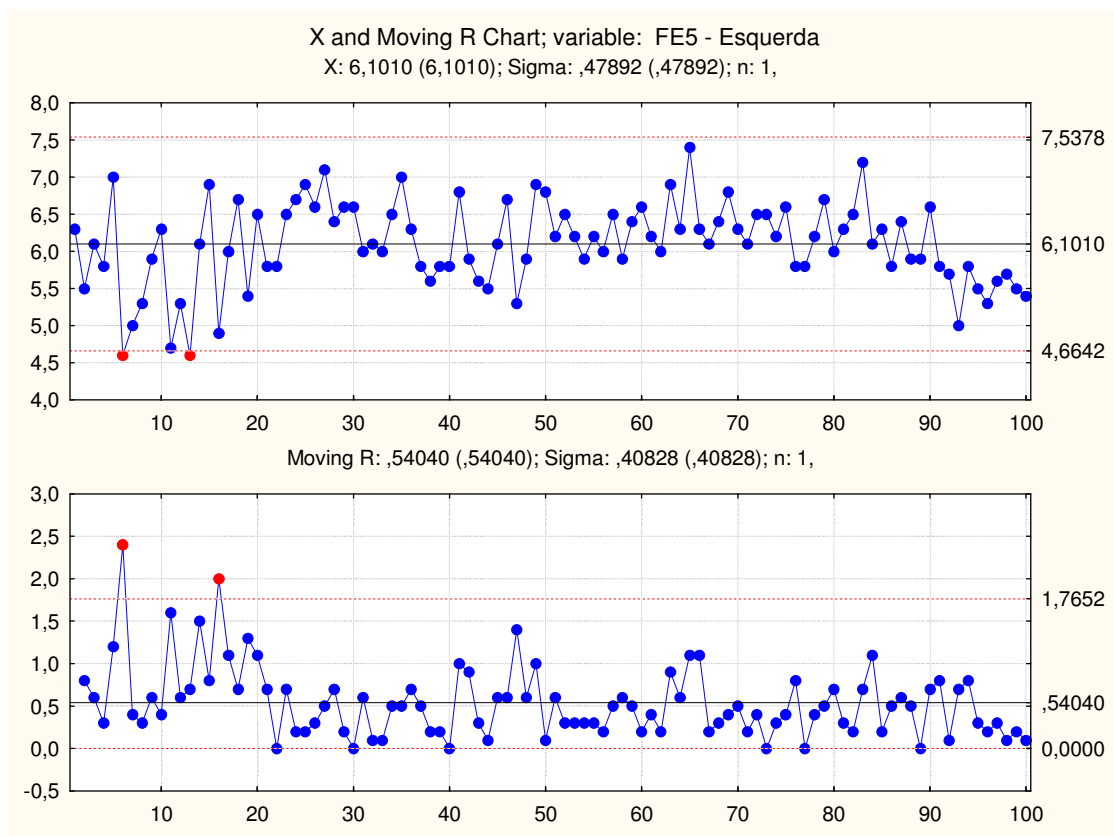


FIGURA II. 4 - CARTAS X E MR PARA A CARACTERÍSTICA FE5 - ESQUERDA

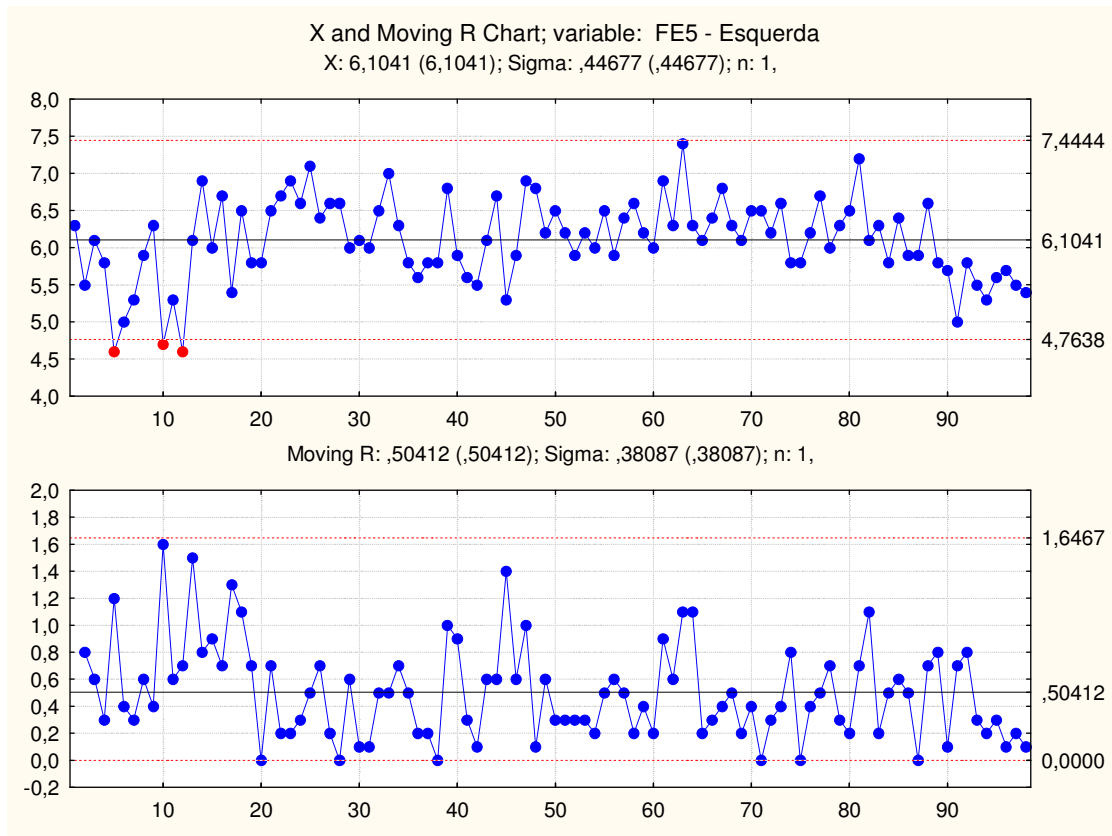


FIGURA II. 5 - CARTAS REVISTAS X E MR PARA A CARACTERÍSTICA FE5 - ESQUERDA

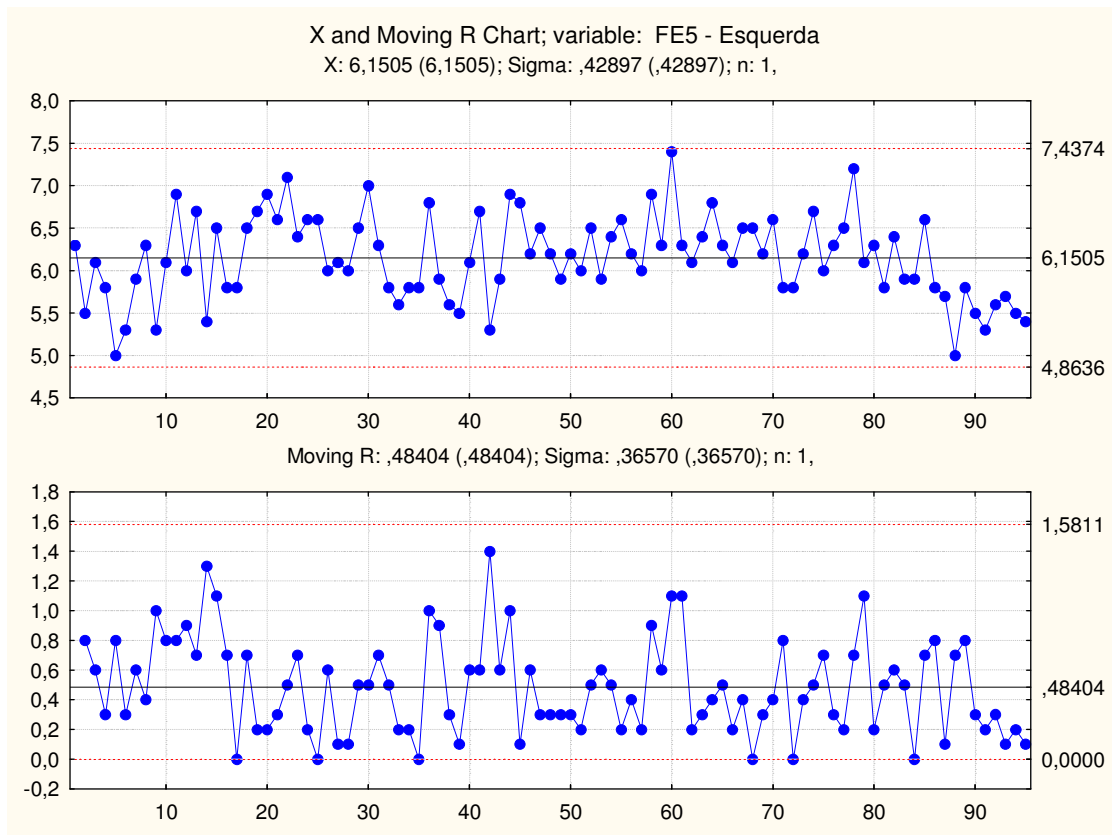


FIGURA II. 6 - SEGUNDAS CARTAS REVISTAS X E MR PARA A CARACTERÍSTICA FE5 - ESQUERDA

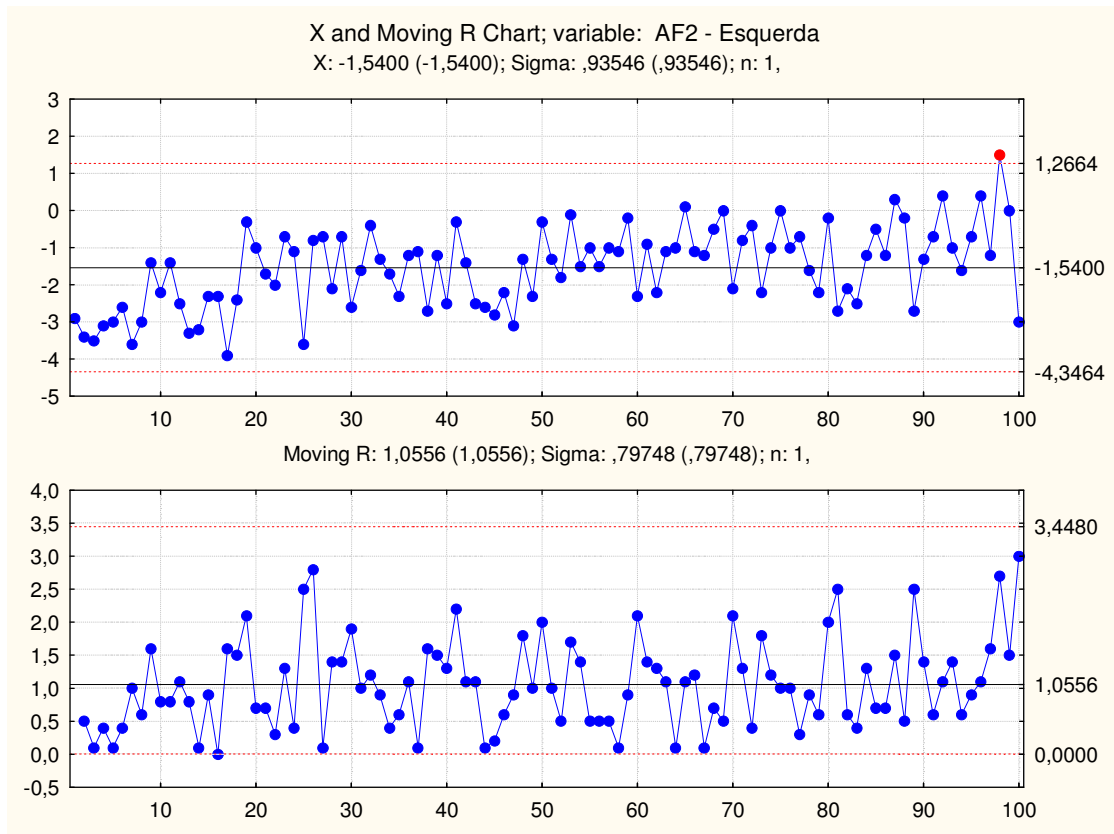


FIGURA II. 7 - CARTAS X E MR PARA A CARACTERÍSTICA AF2 – ESQUERDA

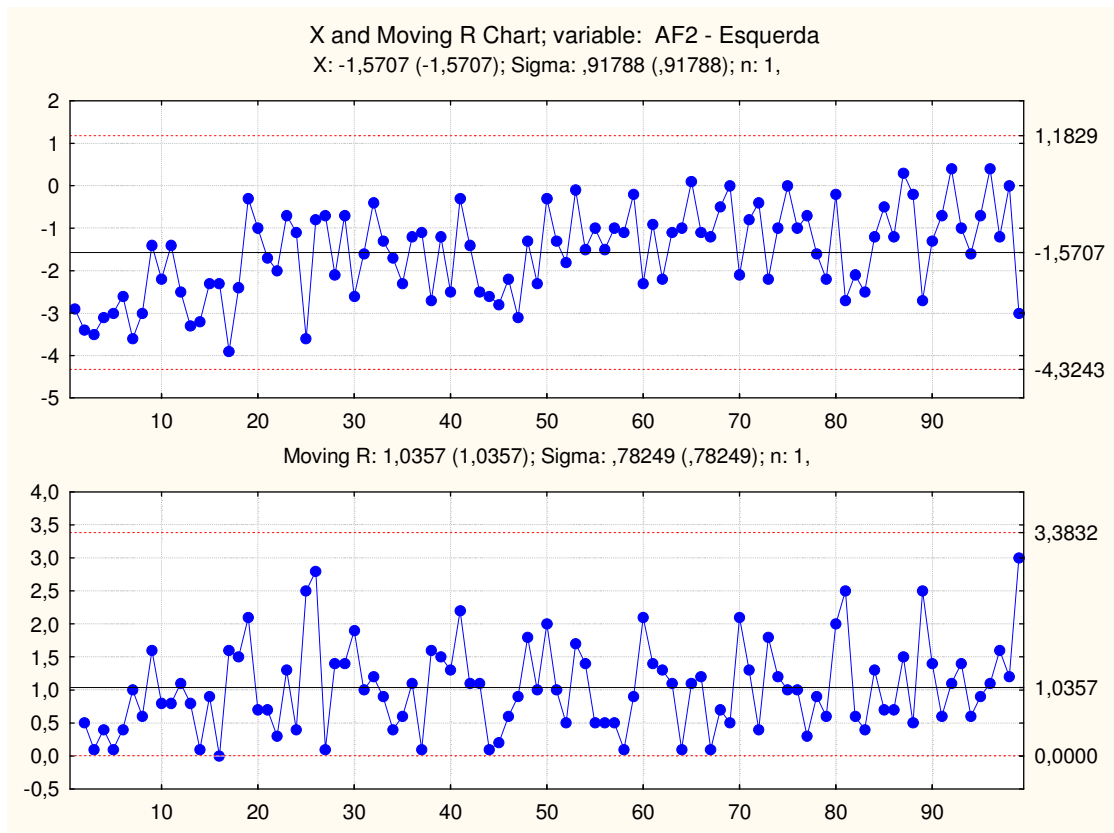


FIGURA II. 8 - CARTAS REVISTAS X E MR PARA A CARACTERÍSTICA AF2 - ESQUERDA

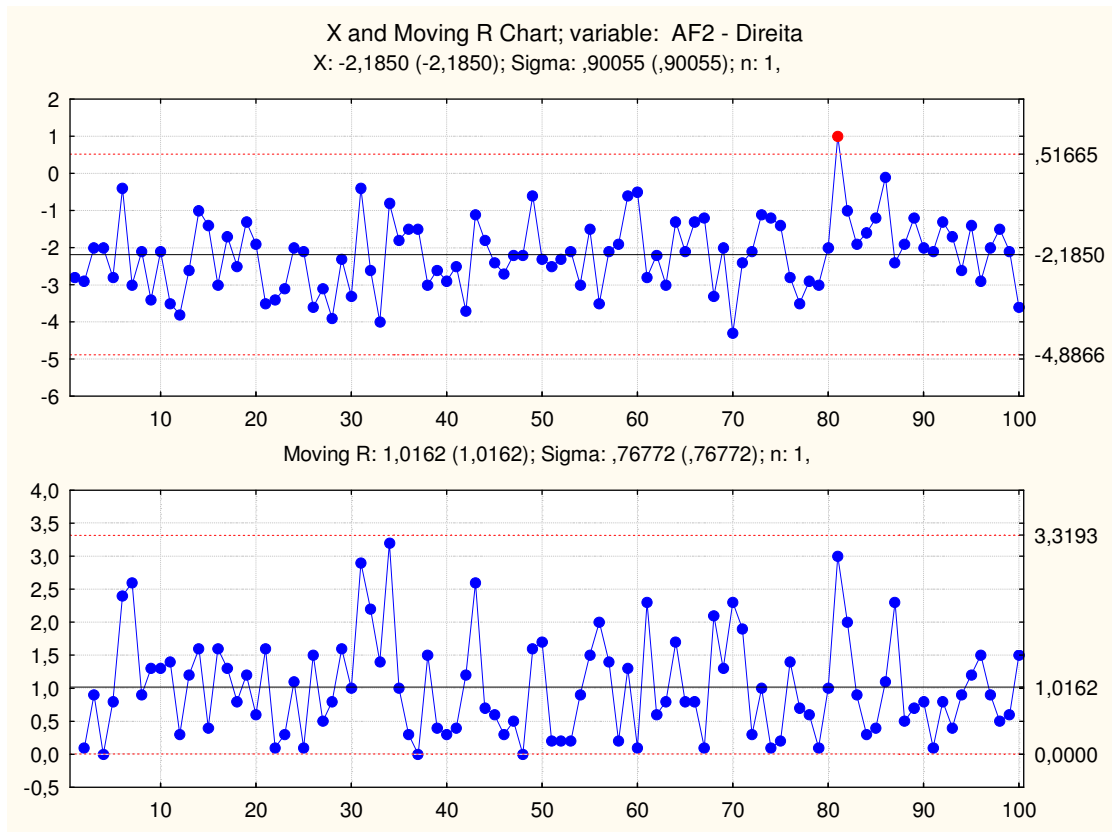


FIGURA II. 9 - CARTAS X E MR PARA A CARACTERÍSTICA AF2 - DIREITA

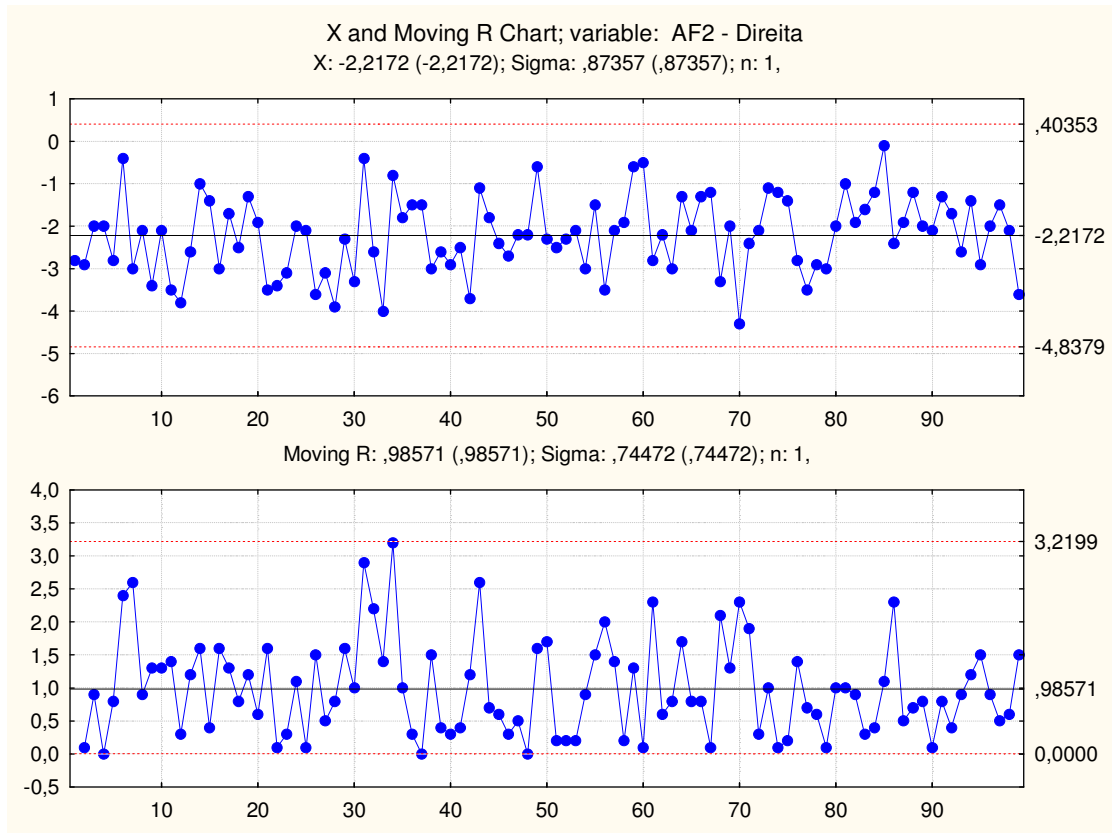


FIGURA II. 10 - CARTAS REVISTAS X E MR PARA A CARACTERÍSTICA AF2 - DIREITA

## II.4 – Verificação da Normalidade das Características Seleccionadas na Montagem das portas

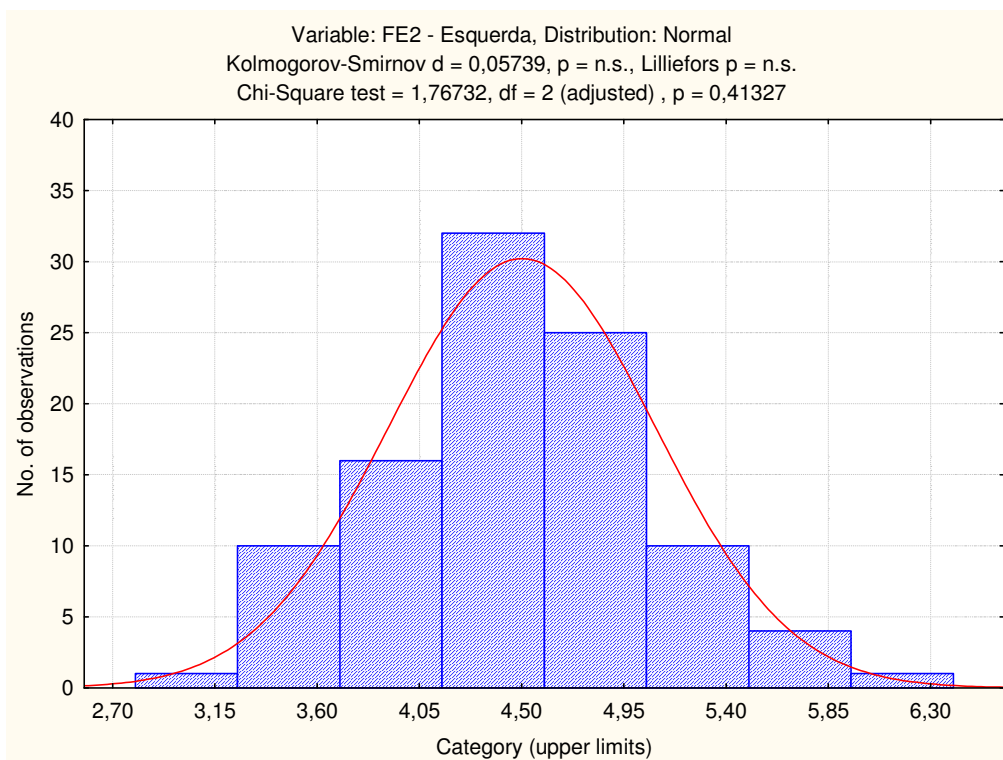


FIGURA II. 11 - VERIFICAÇÃO DA NORMALIDADE DOS DADOS PARA A CARACTERÍSTICA FE2 – ESQUERDA

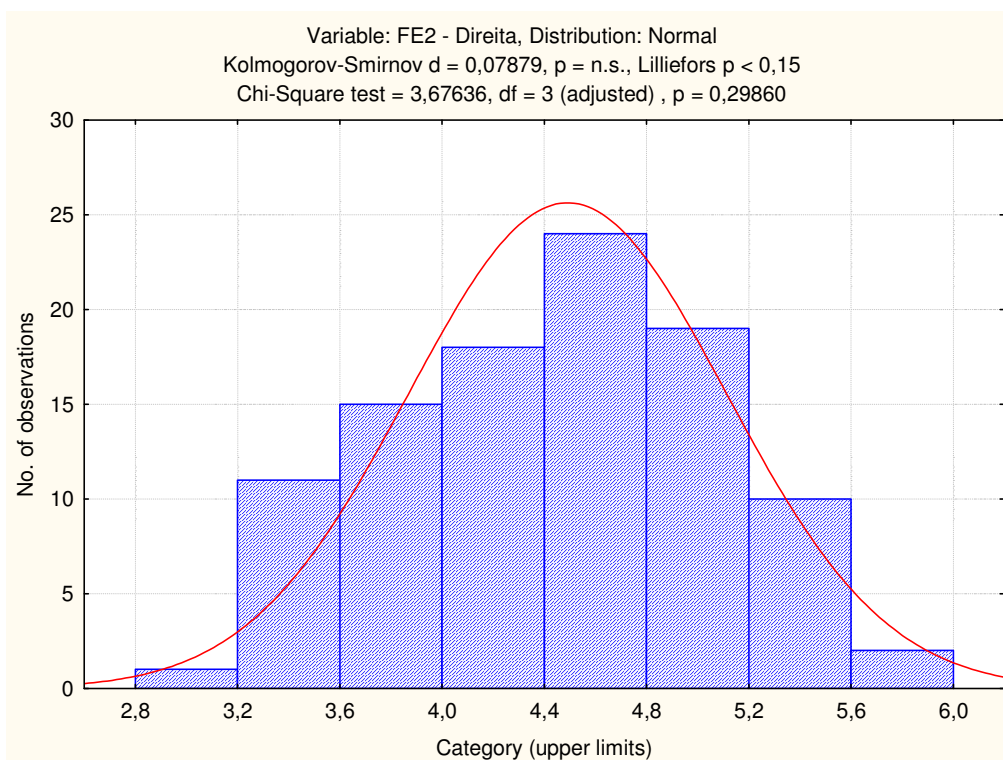


FIGURA II. 12 - VERIFICAÇÃO DA NORMALIDADE DOS DADOS PARA A CARACTERÍSTICA FE2 - DIREITA

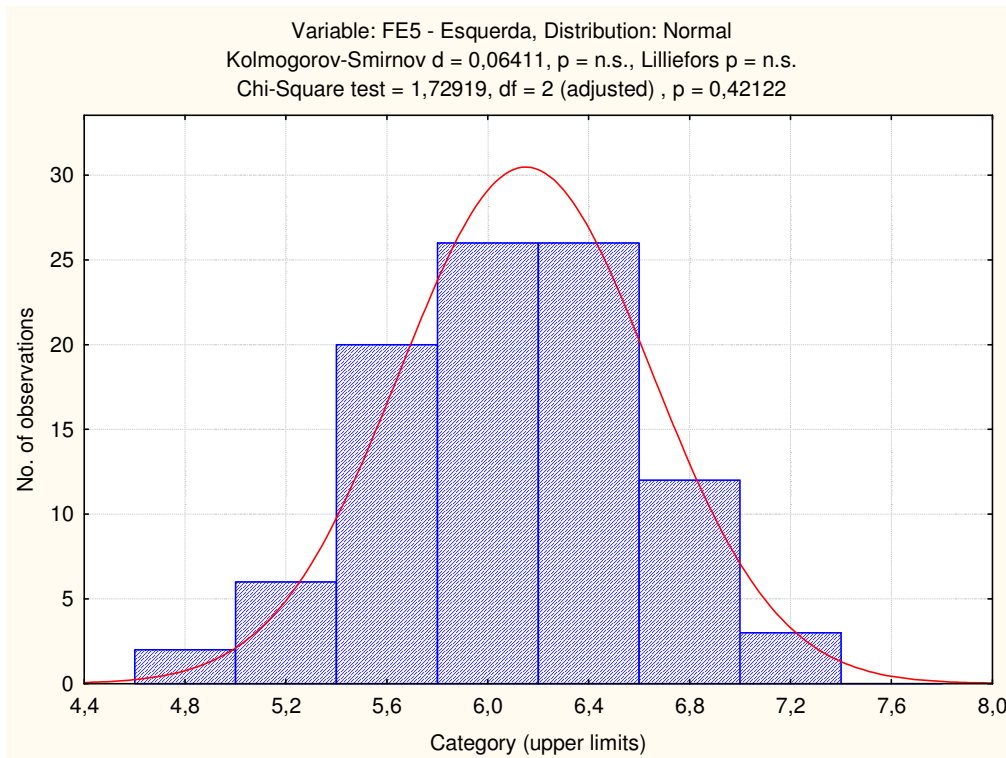


FIGURA II. 13 - VERIFICAÇÃO DA NORMALIDADE DOS DADOS PARA A CARACTERÍSTICA FE5 - ESQUERDA

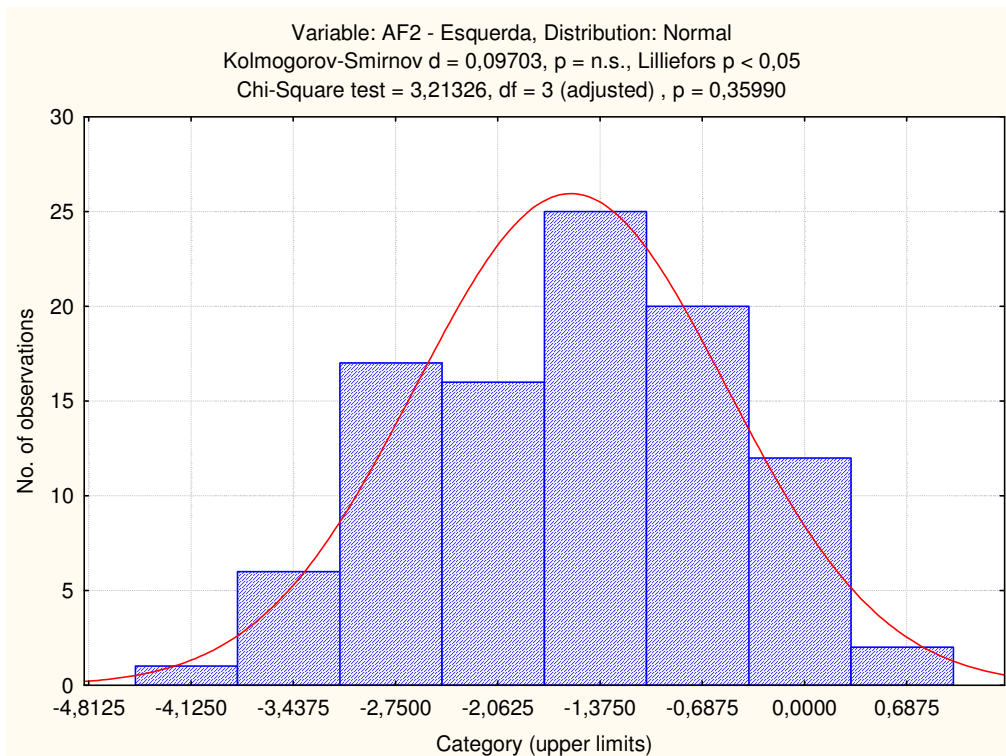


FIGURA II. 14 - VERIFICAÇÃO DA NORMALIDADE DOS DADOS PARA A CARACTERÍSTICA AF2 - ESQUERDA

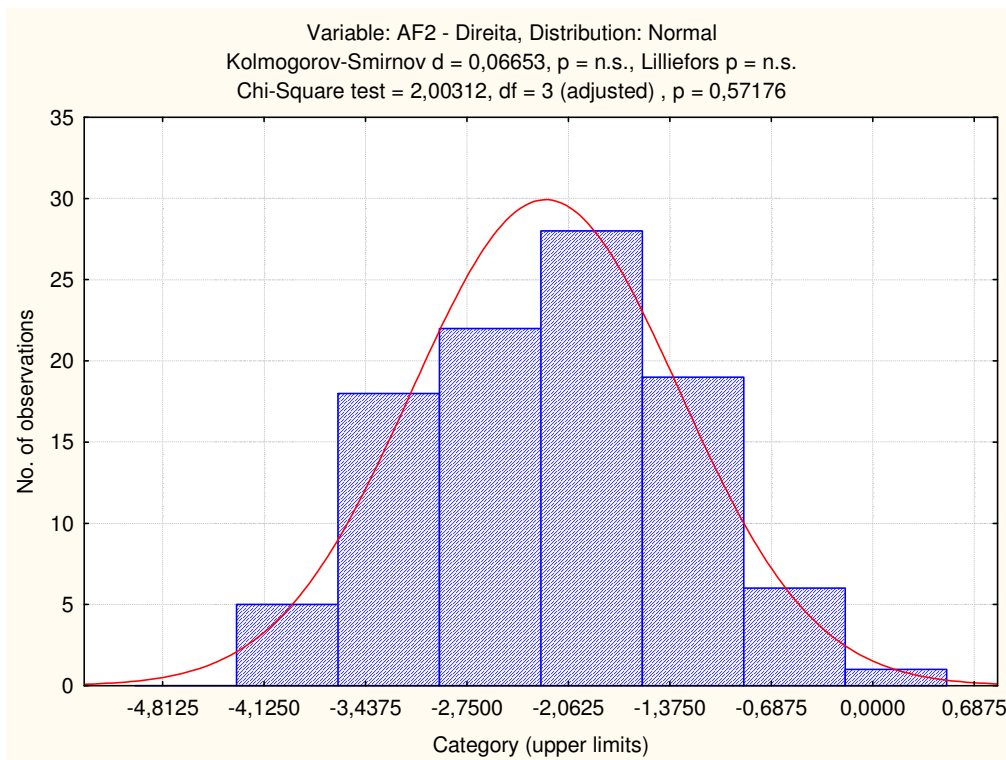


FIGURA II. 15 - VERIFICAÇÃO DA NORMALIDADE DOS DADOS PARA A CARACTERÍSTICA AF2 - DIREITA

## II.5 - Dados transformados da característica AF2 Esquerda

Nº	Data	X	Z <sub>t1</sub>	Z <sub>t2</sub>	Nº	Data	Data	X	Z <sub>t1</sub>
1	13-11-2008	-2,9	-1,113	-1,189	51	20-03-2009	-1,3	0,274	0,284
2	13-11-2008	-3,4	-1,758	-1,859	52	20-03-2009	-1,8	-0,129	-0,143
3	13-11-2008	-3,5	-1,927	-2,031	53	21-03-2009	-0,1	1,438	1,477
4	14-11-2008	-3,1	-1,342	-1,429	54	24-03-2009	-1,5	0,112	0,113
5	14-11-2008	-3,0	-1,224	-1,305	55	30-03-2009	-1	0,524	0,548
6	14-11-2008	-2,6	-0,812	-0,870	56	14-04-2009	-1,5	0,112	0,113
7	19-11-2008	-3,6	-2,122	-2,224	57	15-04-2009	-1	0,524	0,548
8	19-11-2008	-3,0	-1,224	-1,305	58	15-04-2009	-1,1	0,439	0,459
9	19-11-2008	-1,4	0,193	0,199	59	16-04-2009	-0,2	1,314	1,355
10	20-11-2008	-2,2	-0,457	-0,492	60	21-04-2009	-2,3	-0,542	-0,583
11	20-11-2008	-1,4	0,193	0,199	61	21-04-2009	-0,9	0,611	0,638
12	20-11-2008	-2,5	-0,719	-0,772	62	22-04-2009	-2,2	-0,457	-0,492
13	21-11-2008	-3,3	-1,606	-1,703	63	22-04-2009	-1,1	0,439	0,459
14	03-12-2008	-3,2	-1,468	-1,561	64	24-04-2009	-1	0,524	0,548
15	04-12-2008	-2,3	-0,542	-0,583	65	27-04-2009	0,1	1,719	1,747
16	04-12-2008	-2,3	-0,542	-0,583	66	27-04-2009	-1,1	0,439	0,459
17	04-12-2008	-3,9	-3,012		67	28-04-2009	-1,2	0,356	0,371
18	05-12-2008	-2,4	-0,630	-0,676	68	28-04-2009	-0,5	0,985	1,024
19	10-12-2008	-0,3	1,198	1,239	69	29-04-2009	0	1,572	1,607
20	10-12-2008	-1,0	0,524	0,548	70	29-04-2009	-2,1	-0,373	-0,403
21	07-01-2009	-1,7	-0,048	-0,057	71	04-05-2009	-0,8	0,700	0,731
22	08-01-2009	-2,0	-0,291	-0,315	72	05-05-2009	-0,4	1,089	1,129
23	12-01-2009	-0,7	0,791	0,826	73	06-05-2009	-2,2	-0,457	-0,492
24	13-01-2009	-1,1	0,439	0,459	74	08-05-2009	-1	0,524	0,548
25	13-01-2009	-3,6	-2,122	-2,224	75	12-05-2009	0	1,572	1,607
26	14-01-2009	-0,8	0,700	0,731	76	14-05-2009	-1	0,524	0,548
27	15-01-2009	-0,7	0,791	0,826	77	15-05-2009	-0,7	0,791	0,826
28	19-01-2009	-2,1	-0,373	-0,403	78	15-05-2009	-1,6	0,032	0,028
29	19-01-2009	-0,7	0,791	0,826	79	18-05-2009	-2,2	-0,457	-0,492
30	20-01-2009	-2,6	-0,812	-0,870	80	18-05-2009	-0,2	1,314	1,355
31	20-01-2009	-1,6	0,032	0,028	81	19-05-2009	-2,7	-0,908	-0,972
32	21-01-2009	-0,4	1,089	1,129	82	28-05-2009	-2,1	-0,373	-0,403
33	22-01-2009	-1,3	0,274	0,284	83	29-05-2009	-2,5	-0,719	-0,772
34	22-01-2009	-1,7	-0,048	-0,057	84	01-06-2009	-1,2	0,356	0,371
35	26-01-2009	-2,3	-0,542	-0,583	85	01-06-2009	-0,5	0,985	1,024
36	26-01-2009	-1,2	0,356	0,371	86	02-06-2009	-1,2	0,356	0,371
37	28-01-2009	-1,1	0,439	0,459	87	03-06-2009	0,3	2,070	2,068
38	29-01-2009	-2,7	-0,908	-0,972	88	03-06-2009	-0,2	1,314	1,355
39	09-02-2009	-1,2	0,356	0,371	89	04-06-2009	-2,7	-0,908	-0,972
40	10-02-2009	-2,5	-0,719	-0,772	90	04-06-2009	-1,3	0,274	0,284
41	11-02-2009	-0,3	1,198	1,239	91	05-06-2009	-0,7	0,791	0,826
42	11-02-2009	-1,4	0,193	0,199	92	15-06-2009	0,4	2,288	2,258
43	25-02-2009	-2,5	-0,719	-0,772	93	17-06-2009	-1	0,524	0,548
44	25-02-2009	-2,6	-0,812	-0,870	94	17-06-2009	-1,6	0,032	0,028
45	26-02-2009	-2,8	-1,008	-1,078	95	18-06-2009	-0,7	0,791	0,826
46	26-02-2009	-2,2	-0,457	-0,492	96	18-06-2009	0,4	2,288	2,258
47	27-02-2009	-3,1	-1,342	-1,429	97	19-06-2009	-1,2	0,356	0,371
48	06-03-2009	-1,3	0,274	0,284	98	22-06-2009	1,5		1,607
49	09-03-2009	-2,3	-0,542	-0,583	99	23-06-2009	0	1,572	-1,305
50	19-03-2009	-0,3	1,198	1,239	100	24-06-2009	-3	-1,224	

TABELA II. 5 – DADOS TRANSFORMADOS DA CARACTERÍSTICA AF2

II.6 - Tabelas auxiliares à construção das cartas  $Q(X)$  para a característica AF5

## AF5 Esquerda

Nº	r	Data	$X_r$	MR	$\bar{X}$	$S_r$	$Q_i$	$Q_s$	$Q_r(X_r)$	LIC	LC	LSC
1	1	27-04-2009	2,3		2,300					-3	0	3
2	2	27-04-2009	-0,3	2,6	1,000	1,838				-3	0	3
3	3	28-04-2009	-0,3	0	0,567	1,501	-2,915	0,404	-0,431	-3	0	3
4	1	28-04-2009	-1,8		-1,800					-3	0	3
5	2	29-04-2009	-2	0,2	-1,900	0,141				-3	0	3
6	3	29-04-2009	-0,3	1,7	-1,367	0,929	-3,323	-0,083	1,821	-3	0	3
7	1	04-05-2009	-1		-1,100					-3	0	3
8	2	05-05-2009	1,9	2,9	0,450	2,051				-3	0	3
9	3	06-05-2009	-2	3,9	-0,367	2,026	-1,853	0,257	-0,662	-3	0	3
10	1	08-05-2009	0,3		0,300					-3	0	3
11	2	12-05-2009	-1	1,3	-0,350	0,919				-3	0	3
12	3	14-05-2009	-0,3	0,7	-0,333	0,651	-5,803	0,086	0,035	-3	0	3
13	1	15-05-2009	-4,2		-4,200					-3	0	3
14	2	15-05-2009	-2,1	2,1	-3,150	1,485				-3	0	3
15	3	18-05-2009	-1,3	0,8	-2,533	1,498	-1,542	-0,748	0,683	-3	0	3
16	1	18-05-2009	-2,8		-2,800					-3	0	3
17	2	19-05-2009	-3,5	0,7	-3,150	0,495				-3	0	3
18	3	28-05-2009	-1,5	2	-2,600	1,015	-2,232	-0,539	1,216	-3	0	3
19	1	29-05-2009	-2,9		-2,900					-3	0	3
20	2	01-06-2009	-1,5	1,4	-2,200	0,990				-3	0	3
21	3	01-06-2009	-2,8	1,3	-2,400	0,781	-3,071	-0,343	-0,375	-3	0	3

TABELA II. 6 - TABELAS AUXILIARES PARA A CONSTRUÇÃO DA CARTA  $Q(X)$  DA CARACTERÍSTICA AF5 ESQUERDA

## AF5 Direita

Nº	r	Data	$X_r$	MR	$\bar{X}$	$S_r$	$Q_i$	$Q_s$	$Q_r(X_r)$	LIC	LC	LSC
1	1	27-04-2009	-1,3		-1,300					-3	0	3
2	2	27-04-2009	-1,6	0,3	-1,450	0,212				-3	0	3
3	3	28-04-2009	-1,9	0,3	-1,600	0,300	-9,773	-0,046	-0,967	-3	0	3
4	1	28-04-2009	-1,5		-1,500					-3	0	3
5	2	29-04-2009	-1,8	0,3	-1,650	0,212				-3	0	3
6	3	29-04-2009	1,1	2,9	-0,733	1,595	-2,200	0,091	1,881	-3	0	3
7	1	04-05-2009	-1,1		-1,614					-3	0	3
8	2	05-05-2009	-1	0,1	-1,050	0,071				-3	0	3
9	3	06-05-2009	-3,2	2,2	-1,767	1,242	-2,271	-0,254	-2,232	-3	0	3
10	1	08-05-2009	1		1,000					-3	0	3
11	2	12-05-2009	1,3	0,3	1,150	0,212				-3	0	3
12	3	14-05-2009	-2,8	4,1	-0,167	2,285	-1,701	0,368	-2,035	-3	0	3
13	1	15-05-2009	-3,5		-3,500					-3	0	3
14	2	15-05-2009	-2,9	0,6	-3,200	0,424				-3	0	3
15	3	18-05-2009	-3	0,1	-3,133	0,321	-5,942	-0,270	0,297	-3	0	3
16	1	18-05-2009	-5,0		-5,000					-3	0	3
17	2	19-05-2009	-4,3	0,7	-4,650	0,495				-3	0	3
18	3	28-05-2009	-2,8	1,5	-4,033	1,124	-1,166	-1,956	1,277	-3	0	3
19	1	29-05-2009	-3,8		-3,800					-3	0	3
20	2	01-06-2009	-4,2	0,4	-4,000	0,283				-3	0	3
21	3	01-06-2009	-3,6	0,6	-3,867	0,306	-4,653	-0,463	0,748	-3	0	3

TABELA II. 7 - TABELAS AUXILIARES PARA A CONSTRUÇÃO DA CARTA  $Q(X)$  DA CARACTERÍSTICA AF5 DIREITA

### **Anexo III - Soldadura por Pontos da Pinça UC-C0106**

---

- Dados
- Tabelas auxiliares à construção das cartas  $Q(X)$  e  $Q(MR)$  para o diâmetro de rolha
- Folha de Operações para a pinça UC-C0106

## III.1 – Dados

Nº	Data	Diâmetro de Rolha	Nº	Data	Diâmetro de Rolha
1	11-10-2007	6,1	51	26-05-2008	6
2	15-10-2007	6,3	52	29-05-2008	5,6
3	19-10-2007	5,9	53	02-06-2008	6,9
4	12-11-2007	6,9	54	06-06-2008	5,9
5	16-11-2007	5,1	55	11-06-2008	5,6
6	19-11-2007	6,8	56	16-06-2008	6,3
7	22-11-2007	7,2	57	20-06-2008	5,3
8	26-11-2007	5,4	58	23-06-2008	5
9	03-12-2007	6,8	59	26-06-2008	6,1
10	10-12-2007	6,1	60	30-06-2008	5,5
11	14-12-2007	5	61	04-07-2008	5,9
12	17-12-2007	5,2	62	07-07-2008	6
13	19-12-2007	5,2	63	10-07-2008	5,5
14	02-01-2008	5,7	64	14-07-2008	5,3
15	07-01-2008	5,7	65	02-09-2008	5,8
16	10-01-2008	6,1	66	08-09-2008	6,1
17	14-01-2008	5,8	67	11-09-2008	5,6
18	17-01-2008	6	68	15-09-2008	5,5
19	21-01-2008	6,1	69	19-09-2008	5,8
20	24-01-2008	6,1	70	22-09-2008	5,8
21	28-01-2008	5,4	71	26-09-2008	5,5
22	31-01-2008	6	72	01-10-2008	5,8
23	06-02-2008	5,8	73	03-10-2008	5,5
24	12-02-2008	6	74	06-10-2008	6,9
25	15-02-2008	6,5	75	10-10-2008	6
26	18-02-2008	5,5	76	13-10-2008	5,9
27	22-02-2008	6,5	77	16-10-2008	5,9
28	25-02-2008	5,5	78	23-10-2008	5,8
29	03-04-2008	6,6	79	27-10-2008	5,6
30	07-04-2008	6,7	80	03-11-2008	5,8
31	10-04-2008	5,5	81	10-11-2008	6,5
32	13-04-2008	5,4	82	13-11-2008	5,8
33	17-04-2008	6,2	83	17-11-2008	6,2
34	20-04-2008	5,6	84	20-11-2008	5,2
35	25-04-2008	5,5	85	04-12-2008	5,6
36	28-04-2008	6,1	86	09-12-2008	6
37	01-04-2008	6	87	15-12-2008	6
38	04-04-2008	6	88	08-01-2009	5,6
39	07-04-2008	6,6	89	12-01-2009	5,1
40	10-04-2008	6,2	90	15-01-2009	5,9
41	14-04-2008	5,8	91	19-01-2009	5,6
42	21-04-2008	6,8	92	22-01-2009	6,3
43	24-04-2008	6	93	26-01-2009	5,4
44	28-04-2008	7	94	29-01-2009	5,8
45	30-04-2008	5,8	95	10-02-2009	6,9
46	05-05-2008	6,8	96	18-02-2009	5,2
47	09-05-2008	6,5	97	26-02-2009	5,9
48	12-05-2008	6	98	09-03-2009	5,9
49	15-05-2008	6	99	19-03-2009	6,1
50	19-05-2008	5,8	100	23-03-2009	6,2

TABELA III. 1 - DADOS DO DIÂMETRO DE ROLHA

### III.2 – Tabelas auxiliares à construção das cartas $Q(X)$ e $Q(MR)$ para o diâmetro de rolha

$$LIC_{Q(X)} = LIC_{Q(MR)} = -3$$

$$LC_{Q(X)} = LC_{Q(MR)} = 0$$

$$LSC_{Q(X)} = LSC_{Q(MR)} = 3$$

$$LIE = 98 \text{ N.m}$$

$$LSE = 117,6 \text{ N.m}$$

#### Carta $Q(X)$

Nº	r	Data	Diâmetro de Rolha	MR	$\bar{X}_r$	$S_r$	$Q_r(X)_r$	$Q_i$
1	1	14-04-2009	5,89		5,890			
2	2	21-04-2009	5,29	0,60	5,590	0,424		
3	3	23-04-2009	6,90	1,61	6,027	0,814	-0,841	1,174
4	1	27-04-2009	5,02		5,020			
5	2	04-05-2009	6,19	1,17	5,605	0,827		
6	3	06-05-2009	6,10	0,09	5,770	0,651	-6,139	0,371
7	4	11-05-2009	6,35	0,25	5,915	0,606	-6,904	0,642
8	5	12-05-2009	5,85	0,50	5,902	0,525	-8,039	-0,088
9	6	18-05-2009	6,76	0,91	6,045	0,586	-7,441	1,253
10	7	25-05-2009	7,17	0,41	6,206	0,683	-6,589	1,492
11	8	01-06-2009	6,62	0,55	6,258	0,649	-7,023	0,537
12	9	05-06-2009	6,85	0,23	6,323	0,639	-7,215	0,810
13	10	15-06-2009	5,76	1,09	6,267	0,628	-7,298	-0,794
14	11	19-06-2009	6,25	0,49	6,265	0,596	-7,712	-0,025
15	12	22-06-2009	6,21	0,04	6,261	0,568	-8,098	-0,087
16	13	29-06-2009	5,71	0,50	6,218	0,565	-8,103	-0,893
17	14	06-07-2009	5,97	0,26	6,201	0,547	-8,361	-0,413

TABELA III. 2 - TABELA AUXILIAR PARA CONSTRUÇÃO DA CARTA  $Q(X)$ 

#### Carta $Q(MR)$

Nº	r	Data	Diâmetro de Rolha	MR	$Q_r(MR)_r$
1	1	14-04-2009	5,89		
2	2	21-04-2009	5,29	0,6	
3	3	23-04-2009	6,90	1,61	
4	1	27-04-2009	5,02		
5	2	04-05-2009	6,19	1,17	
6	3	06-05-2009	6,1	0,09	
7	4	11-05-2009	6,35	0,25	-1,1076
8	5	12-05-2009	5,85	0,5	
9	6	18-05-2009	6,76	0,91	0,26732
10	7	25-05-2009	7,17	0,41	
11	8	01-06-2009	6,62	0,55	-0,1796
12	9	05-06-2009	6,85	0,23	
13	10	15-06-2009	5,7	1,15	0,75843
14	11	19-06-2009	6,25	0,55	
15	12	22-06-2009	6,21	0,04	-1,8192
16	13	29-06-2009	5,71	0,5	
17	14	06-07-2009	5,97	0,26	-0,6986

TABELA III. 3 - TABELA AUXILIAR PARA CONSTRUÇÃO DA CARTA  $Q(MR)$

III.3 – Folha de Operações para a pinça UC-C0106


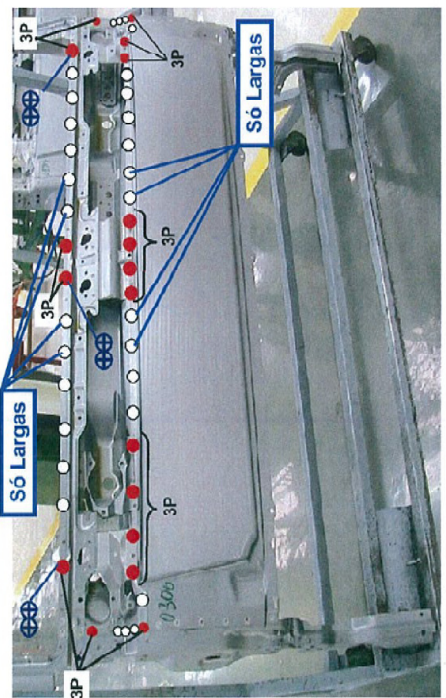
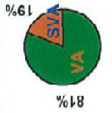
		<p style="text-align: center;"><b>FOLHA DE OPERAÇÕES</b></p>		<p style="text-align: center; color: red; border: 1px solid red; padding: 5px;">PARA REFERENCIA</p>		<input checked="" type="checkbox"/> Cab. Simp. <input checked="" type="checkbox"/> RHD <input checked="" type="checkbox"/> LHD		OP. Nº <p style="font-size: 24pt; font-weight: bold; text-align: center;">168</p>	
						<input checked="" type="checkbox"/> Cab. Dup. <input checked="" type="checkbox"/> RHD <input checked="" type="checkbox"/> LHD		1/1	
Legenda:    Solda 3 Chapas - 3P <input checked="" type="checkbox"/> Sequência de montagem - <input checked="" type="checkbox"/> Documentos de Referência: MC777901-010/011/013/020/021/022 Solcatura a Controlar: - <input checked="" type="checkbox"/> Sequência de operação - <input checked="" type="checkbox"/> Peças - <input type="checkbox"/> Folha de Parametros Timer: 2934				Descrição Básica, em Sequência 168 Soldar Frente no carro de apoio ① 168.1 - Seleccionar Pinça UC-C0106 ② 168.2 - Soldar 40 ou 48 Pontos (STD ou Wide) com a frente no carro de apoio ③ 168.3 - Arunhar Pinça UC-C0106 ④ Teste Purceira *1 ⑤ Auto Controlo *2 ⑥ Afilar e Substituir Electrodo *3		Tp (*)    VA/SVA    Qualidade 162    132    30 4    X 132    X 7    X 5    X    IO PR 30 12 3    X    PC 20 11    X    IO PR 30 10			
ALTERAÇÃO Rev.:    Data: ED: PLMR; Outra:		Observações: - Para os Modelos W/RHD a montagem é simétrica aos modelos W/LHD *1 - De acordo com o PC/rl. ▶ Frequência 2x dia cada ponto assinalado *2 - 100% Frequência / visual *3 - Cada 4 viaturas ou ( ± ) 200 pontos efectuados		EPI: 		Data de Efect: 2009.03.31 APROVAÇÃO Manuf. Eng.    Production			

FIGURA III. 1 - FOLHA DE OPERAÇÕES DA PINÇA UC-1010

## Anexo IV - Rebitagem

---

- Fixação da Travessa do Motor (modelos FB8 e FE8) e Suporte de Amortecedores (modelos FB8, FE8 e FE7)
  - Dados para a Fase 1
  - Cartas da Fase 1
  - Verificação da Normalidade das cartas  $S_i$
  - Verificação da Normalidade dos dados individuais
  
  - Dados para a Fase 2
  - Cartas Fase 2
  
- Fixação da Travessa do Motor (modelo FE7)
  - Dados
  - Cartas  $Q$

#### IV.1 - Fixação da Travessa do Motor (modelos FB8 e FE8) e Suporte de Amortecedores (modelos FB8, FE8 e FE7) – Fase 1

##### IV.1.1 - Dados

##### Fixação da Travessa do Motor – Esquerda (Modelo FB8)

Fixação Travessa Motor - Esquerda (FB8)				Fixação Travessa Motor - Esquerda (FB8)					
Nº	Data	Binários (N.m)			Nº	Data	Binários (N.m)		
1	21-04-2009	109,3	108,8	109,5	21	04-06-2009	108,4	108,6	109,3
		109,4	109,5	109,4			109,4	109,3	108,9
2	21-04-2009	108,7	108,8	109,1	22	04-06-2009	108,8	108,3	108,5
		109,1	110,2	108,5			109,6	109,6	109
3	21-04-2009	108,3	107,7	106,6	23	04-06-2009	109,5	108,5	108,9
		108,5	109,5	110,1			109,3	109,7	109,3
4	21-04-2009	108,4	109,2	108,3	24	04-06-2009	108,4	108,9	107,9
		109,2	109,2	107,8			109,5	108,3	110,3
5	21-04-2009	108,7	109,2	109,7	25	04-06-2009	109,6	108,2	108,8
		109	109,2	108,5			108,8	108,5	109,7
6	21-04-2009	108,1	109,5	108,3	26	17-06-2009	109,3	108,3	109,3
		109,6	109,1	108,1			109,4	110	109,7
7	22-04-2009	108,8	109,1	108,8	27	17-06-2009	109,5	108,5	109
		109,9	109,7	109,3			109,2	108,3	109,3
8	22-04-2009	108,6	109,4	109,4	28	17-06-2009	108,4	109,1	109,4
		108,8	110,3	110,3			109,8	108,3	110,1
9	22-04-2009	108,4	109	108,7	29	17-06-2009	109,2	109,3	107,8
		109	108,1	108,3			109,3	109	109,3
10	22-04-2009	109,3	108,3	108,3	30	17-06-2009	109,3	108,9	108,3
		108,8	108,7	108,9			110	108,7	107,8
11	22-04-2009	108,8	108,9	108,6	31	17-06-2009	108,5	108,3	109,1
		109,5	108,9	108,1			108,2	108,8	107,8
12	22-04-2009	109,1	109,3	110	32	17-06-2009	109	107,8	108,4
		109,4	109,8	108,3			109,3	108,2	109,5
13	23-05-2009	108,3	108,4	108,8	33	17-06-2009	109	108,3	108,4
		109,6	108,7	109,1			109,3	112	108,8
14	23-05-2009	108,4	109,1	109,2	34	17-06-2009	108,6	107,8	109,7
		109,3	108,7	109,1			109,7	108,8	108,2
15	23-05-2009	109	108,8	109,8	35	17-06-2009	109,7	109,1	109,3
		109,3	109,2	109,6			109,3	109,1	109,4
16	23-05-2009	108,6	109	108,3	36	18-06-2009	108,4	109,2	108,6
		108,6	108,9	109,3			109,6	110	108,7
17	23-05-2009	107,9	110,4	109,9	37	18-06-2009	109,7	108,8	109,7
		109,5	109,3	108,8			108,6	110,1	108,1
18	23-05-2009	109,3	108,3	108,9	38	18-06-2009	109,1	108,8	108,5
		108,8	108,9	108,8			109,6	108,4	108,9
19	04-06-2009	108,3	108,5	108,4	39	18-06-2009	109,3	108,7	108,7
		108,6	109,8	110,1			109,5	108,6	108,7
20	04-06-2009	108,9	108,4	109,3	40	19-06-2009	110,1	108,6	108,8
		108,3	108,6	108,2			108	109,2	109,8

TABELA IV. 1 - FIXAÇÃO DA TRAVESSA DO MOTOR – ESQUERDA (MODELO FB8)

## Fixação da Travessa do Motor – Direita (Modelo FB8)

Fixação Travessa Motor - Direita (FB8)				Fixação Travessa Motor - Direita (FB8)					
Nº	Data	Binários (N.m)			Nº	Data	Binários (N.m)		
1	21-04-2009	108,3	109,2	109,0	21	04-06-2009	109,1	108,8	108,6
		109,0	110,0	110,3			107,5	108,5	109
2	21-04-2009	108,6	108,3	108,5	22	04-06-2009	108,7	109,7	109,6
		110,0	108,5	109,1			109	108,5	108,5
3	21-04-2009	109,1	107,6	108,8	23	04-06-2009	109	109,1	109,3
		108,6	109,4	110,2			109,1	109,2	109,4
4	21-04-2009	108,3	109,3	108,6	24	04-06-2009	109,7	109,2	109,2
		109,1	108,7	109,3			109,1	108,9	110,9
5	21-04-2009	108,4	108,1	108,7	25	04-06-2009	109,2	108,1	109,6
		109,9	109,4	108,5			110	109	108,1
6	21-04-2009	108,8	108,5	109,4	26	17-06-2009	109,3	110,1	109,3
		108,3	107,9	109,6			109,6	108,8	109,1
7	22-04-2009	108,4	109,5	109,7	27	17-06-2009	108,6	109,5	109,7
		109,4	109,7	109,7			108,1	108,5	109,4
8	22-04-2009	108,8	109,2	108,3	28	17-06-2009	110	107,5	109,7
		109,7	108,6	108,3			107,9	109,6	109,4
9	22-04-2009	109,1	109	109,2	29	17-06-2009	108,5	109,8	108,3
		108,4	109,8	109,1			109,1	110	109,6
10	22-04-2009	109,5	109,3	109,5	30	17-06-2009	109,5	109,3	109,6
		109,1	109,2	109,1			107,8	109,1	110,1
11	22-04-2009	109,6	109,3	109,3	31	17-06-2009	108,7	108,5	108,6
		110,3	108,5	109,7			108,3	109,9	109,1
12	22-04-2009	107,9	109,6	109,4	32	17-06-2009	109,1	108,8	109
		109,3	109,2	109			108,6	109,6	109,6
13	23-05-2009	109,1	109,7	109,7	33	17-06-2009	110,3	110,3	108,7
		109,1	109,7	109,5			109,6	108,8	108,7
14	23-05-2009	110,1	109,4	109,2	34	17-06-2009	108,5	109,6	109,3
		108,6	109,5	109,9			109,4	108,5	108,3
15	23-05-2009	108,6	108,9	108,5	35	17-06-2009	108,6	108,5	109,2
		110,1	109,6	109,6			109,3	109	109,3
16	23-05-2009	108,7	108,5	109,5	36	18-06-2009	108,4	109,1	109
		108,2	109,3	108,8			108,5	108,7	108,7
17	23-05-2009	107,9	109,1	109,1	37	18-06-2009	108,6	109,2	109,5
		109,1	109,4	110,4			110,4	108,9	109,2
18	23-05-2009	108,5	109,6	109,1	38	18-06-2009	109,7	108,8	108,9
		109,2	108	109,2			108,9	109	108,1
19	04-06-2009	109,2	108,2	109,3	39	18-06-2009	108,9	108,9	108,6
		110	108,5	108,9			108,3	109	108,9
20	04-06-2009	108,3	108,6	109,1	40	19-06-2009	109,2	109,4	110,9
		110,3	108,2	109,1			108,3	109,4	108,5

Tabela IV. 2 - Fixação da Travessa do Motor – Direita (Modelo FB8)

## Fixação da Travessa do Motor – Esquerda (Modelo FE8)

Fixação Travessa Motor - Esquerda (FE8)				Fixação Travessa Motor - Esquerda (FE8)					
Nº	Data	Binários (N.m)			Nº	Data	Binários (N.m)		
1	21-04-2009	109,6	108,6	108,3	21	04-05-2009	108,7	108,9	108,7
		108,4	108,3	109,0			109,9	109,6	108,2
2	22-04-2009	108,1	109,0	109,7	22	25-05-2009	108,7	109,7	108,1
		109,8	109,8	108,3			108,3	108,6	109,1
3	22-04-2009	109,3	108,9	109,5	23	25-05-2009	108,7	108,1	108,9
		109,0	109,6	109,9			108,2	109,8	108,6
4	22-04-2009	108,5	109,4	109,0	24	25-05-2009	108,3	109,3	108,8
		109,8	108,8	109,9			109,5	108,6	109,3
5	23-04-2009	108,9	109	108,8	25	25-05-2009	108,4	109,4	109,1
		109,9	108,1	109,7			109	108,7	109,8
6	23-04-2009	108,6	109,8	109,1	26	25-05-2009	108,7	109,4	108,2
		107,9	108,2	109,6			108,9	109,3	109,8
7	23-04-2009	109	108,9	108,9	27	25-05-2009	107,8	109,3	108,5
		108,7	109,5	109			108,2	108,3	110,3
8	28-04-2009	108,8	109,3	109,7	28	26-05-2009	108,3	108,7	109,3
		108,8	108,3	108,6			109,3	109,9	109
9	28-04-2009	109,4	109,4	108,9	29	26-05-2009	109,8	108,6	108
		110,3	108,6	108,8			108,3	110,3	108,4
10	28-04-2009	108,3	109,2	108,3	30	26-05-2009	108,4	108,5	108
		108,8	108,3	109,1			109,3	108,7	109,7
11	28-04-2009	108,3	109,3	109,3	31	26-05-2009	109,5	108,2	109,5
		109,3	108	108,9			109,1	109	110,1
12	30-04-2009	108,8	108,2	110,3	32	26-05-2009	108,2	110,3	108,9
		108,6	108,3	109,3			108,7	108,7	109,4
13	30-04-2009	109,3	109,6	109	33	26-05-2009	109,1	108,9	109,3
		108,7	108,8	108,7			109,1	108,6	109
14	30-04-2009	108,4	109,1	109,8	34	26-05-2009	108,3	108,8	108,8
		109,9	108,7	109,6			108,9	108,8	109,2
15	30-04-2009	109,8	108,4	109,5	35	27-05-2009	108,5	109,3	108,1
		108,9	109,1	110,2			108,5	108,8	108,3
16	30-04-2009	108,2	108,5	109,1	36	27-05-2009	109,1	108,3	109,2
		109,5	108,7	108,5			109,3	108,4	108,9
17	04-05-2009	109,7	108,6	109,5	37	27-05-2009	108,7	107,9	108,9
		108,6	109,1	109,3			108,5	109,2	108,9
18	04-05-2009	108,9	107,8	108	38	27-05-2009	110,8	109,3	108,9
		108,3	109,7	108,5			108,8	108,8	109,3
19	04-05-2009	108,7	109,7	109	39	27-05-2009	108,8	108,8	109,8
		108,8	108,5	109,5			107,8	108,9	109,5
20	04-05-2009	108,8	108,6	107,7	40	28-05-2009	109,3	108,6	108,2
		109,5	108,7	110,3			109,5	108,3	109,1

TABELA IV. 3 - FIXAÇÃO DA TRAVESSA DO MOTOR – ESQUERDA (MODELO FE8)

## Fixação da Travessa do Motor – Direita (Modelo FE8)

Fixação Travessa Motor - Direita (FE8)				Fixação Travessa Motor - Direita (FE8)					
Nº	Data	Binários (N.m)			Nº	Data	Binários (N.m)		
1	21-04-2009	108,9	109,1	108,1	21	04-05-2009	109,6	108,9	110,3
		109,3	108,8	109,1			109,4	109,1	109,5
2	22-04-2009	108,7	108,1	109,1	22	25-05-2009	108,9	108,5	108,8
		109,1	109,1	109,3			108,7	108,6	109,1
3	22-04-2009	110,1	109,3	109,6	23	25-05-2009	109,1	109,2	108,4
		109,6	108,9	109,0			110,1	109,1	109,4
4	22-04-2009	110,0	109,5	108,6	24	25-05-2009	109,7	109,3	109,8
		109,5	108,6	108,9			109,1	108,9	109,9
5	23-04-2009	109,9	109,3	109,3	25	25-05-2009	110,3	108,6	109,7
		109,7	110,5	108,8			108	109,2	108,9
6	23-04-2009	109,6	109,4	108,9	26	25-05-2009	110,1	108,6	108,6
		108,8	110,6	110,2			108,1	110	108,8
7	23-04-2009	108,9	109,8	109,1	27	25-05-2009	109,2	108,1	109,5
		108,8	109,1	109,7			108,2	110,7	109,1
8	28-04-2009	109,9	109,7	110	28	26-05-2009	109,4	109,5	108,5
		109,4	109,7	109,9			108,4	110,9	109,1
9	28-04-2009	108,9	109,8	108,7	29	26-05-2009	109,3	109,2	108,5
		108,6	110,5	109			111,7	109,5	109,3
10	28-04-2009	109	109,6	108,8	30	26-05-2009	108,8	109,2	109,3
		109,2	109	109,3			108,5	109,5	109,5
11	28-04-2009	109,2	109,2	109,3	31	26-05-2009	109,1	109,3	109,5
		109,4	110,3	110,3			109,9	109,5	109
12	30-04-2009	108	109,7	110	32	26-05-2009	108,7	108,8	109,1
		109,3	109,1	108,8			108,2	110,9	110,8
13	30-04-2009	109	110,2	108,7	33	26-05-2009	108,6	108,5	109,4
		108,1	108,9	110			108,1	110	110,2
14	30-04-2009	109,4	109,3	109,1	34	26-05-2009	109,2	109,7	109
		109,1	109,9	109,5			109,5	108,8	108,7
15	30-04-2009	109,5	108,8	109,1	35	27-05-2009	109,1	108,8	109,2
		108,8	108,4	109,7			108,5	109,4	108,5
16	30-04-2009	108,1	108,8	108,5	36	27-05-2009	109,3	108,7	109,2
		108,5	109,3	109,3			108,7	109,6	108,9
17	04-05-2009	109,5	110	109,2	37	27-05-2009	109	108,9	108,7
		108,5	108,9	108,2			108,6	109,4	109,7
18	04-05-2009	108,9	108,6	109,5	38	27-05-2009	108,4	109,6	108,9
		109,5	108,9	108,7			109,7	109,4	109,7
19	04-05-2009	110,1	108,5	109,4	39	27-05-2009	108,6	108,9	109
		109,3	109,5	109,4			108,8	109,4	109,1
20	04-05-2009	110	109,1	109,7	40	28-05-2009	109,1	109,2	109,1
		108,6	108,9	109,3			109,2	109,4	110

TABELA IV. 4 - FIXAÇÃO DA TRAVESSA DO MOTOR – DIREITA (MODELO FE8)

## Suporte de Amortecedores (Modelo FB8)

Suportes de Amortecedores - Esquerda (FB8)						Suportes de Amortecedores - Direita (FB8)					
Nº	Data	Binários (N.m)				Nº	Data	Binários (N.m)			
1	21-04-2009	108,6	108,5	110,3	109,4	1	21-04-2009	109,1	109,5	108,6	109
2	21-04-2009	110,3	108,8	108,8	109,3	2	21-04-2009	108,8	109,8	108,4	109,1
3	21-04-2009	108,3	108,8	109,6	109,8	3	21-04-2009	109	108,6	109,2	108,9
4	21-04-2009	109,3	108,9	110,1	109,1	4	21-04-2009	109,9	109,7	108,5	109,7
5	21-04-2009	108,2	109,4	109,3	109,9	5	21-04-2009	108,4	108,5	109,3	108,9
6	21-04-2009	108,8	108,6	108,4	108,8	6	21-04-2009	109,8	109,4	109,1	109,6
7	22-04-2009	108,5	109,8	108,7	108,3	7	22-04-2009	109,8	108,6	109,4	108,5
8	22-04-2009	108,8	110	108,6	108,4	8	22-04-2009	109,1	109,7	109,6	109,6
9	22-04-2009	108,5	109,8	110	109,3	9	22-04-2009	109,2	108,7	108,7	109,7
10	22-04-2009	109,8	109,8	109	109,2	10	22-04-2009	109,7	109,1	108,3	108,7
11	22-04-2009	108,2	109,3	108,7	109,4	11	22-04-2009	109,2	109,1	109,1	109,3
12	22-04-2009	108,3	108,8	109	109,5	12	22-04-2009	109,2	109	108,8	109,6
13	23-04-2009	108,8	108,6	108,8	110,3	13	23-04-2009	108,9	109,2	108,5	109,7
14	23-04-2009	109,4	109,4	108,8	109,7	14	23-04-2009	108,7	110	109,7	109,3
15	23-04-2009	108,9	109	109,3	108,5	15	23-04-2009	108,2	108,4	109,3	109,1
16	23-04-2009	108,6	108,7	109,3	108,4	16	23-04-2009	108,8	109,4	108,5	110,1
17	23-04-2009	108,4	108,7	108,8	109,3	17	23-04-2009	109,2	109,4	109	109,9
18	23-04-2009	108,5	108,9	109,7	108,8	18	23-04-2009	110	109,4	109,2	109,3
19	04-06-2009	108,8	108,3	108,5	108,7	19	04-06-2009	109	109,1	109,1	108,1
20	04-06-2009	109,6	109,4	108,8	109,4	20	04-06-2009	108,5	109,1	108,5	109,7
21	04-06-2009	108,6	108,4	108,6	109,3	21	04-06-2009	108,8	109,1	108,6	108,9
22	04-06-2009	109,9	109,1	108,3	109,7	22	04-06-2009	109,2	109,1	109	109,2
23	04-06-2009	108,9	108,5	109,5	109,1	23	04-06-2009	109,5	108,7	109	108,5
24	04-06-2009	108,5	107,9	109	109,3	24	04-06-2009	109,5	109,7	109,1	109,5
25	04-06-2009	108,8	108,3	108,6	109,2	25	04-06-2009	108,1	109,1	109,5	108,9
26	17-06-2009	108,9	109,1	109,3	110,1	26	17-06-2009	109	109,3	108,4	110,1
27	17-06-2009	109,6	109	108,5	108,4	27	17-06-2009	109,7	108,5	109,5	108,4
28	17-06-2009	109,5	108,9	108,8	110,3	28	17-06-2009	109,2	108,7	108,3	109,4
29	17-06-2009	108,8	109,9	109,3	109,4	29	17-06-2009	108,2	109,1	108,6	108,6
30	17-06-2009	108,9	107,5	109,1	110,3	30	17-06-2009	110	108,3	110,4	109,1
31	17-06-2009	108,7	109,5	109	108,8	31	17-06-2009	108,5	109	109,3	110,4
32	17-06-2009	108,7	109,4	108,3	108,2	32	17-06-2009	110,3	109,2	108,7	108,2
33	17-06-2009	109,4	108,8	109,7	108,8	33	17-06-2009	108,6	110,6	108,4	109
34	17-06-2009	108,3	109,1	108,8	109,1	34	17-06-2009	110,4	109,4	109,7	108,1
35	17-06-2009	108,8	110	107,9	108,3	35	17-06-2009	108,5	110,2	109,6	108,4
36	18-06-2009	108,9	109,9	109,1	108,8	36	18-06-2009	108,5	108,4	109,1	109,3
37	18-06-2009	108,9	110	108,4	108,7	37	18-06-2009	108,6	108,7	109,1	108,9
38	18-06-2009	109,8	108,5	108,1	109,5	38	18-06-2009	108,9	109,1	109,1	109,8
39	18-06-2009	108,4	109,5	108,3	108,3	39	18-06-2009	108,7	109	109	109,4
40	19-06-2009	109	108,8	107,8	109,4	40	19-06-2009	109,3	109,7	108,1	107,9

TABELA IV. 5 - SUPORTE DE AMORTECEDORES (MODELO FB8)

## Suporte de Amortecedores (Modelo FE8)

Suportes de Amortecedores - Esquerda (FE8)						Suportes de Amortecedores - Direita (FE8)					
Nº	Data	Binários (N.m)				Nº	Data	Binários (N.m)			
1	21-04-2009	108,8	109,4	108,4	109,3	1	21-04-2009	108,8	109,2	109,1	110,4
2	22-04-2009	107,8	108,6	108,2	109,7	2	22-04-2009	108,8	109,1	108,2	109,6
3	22-04-2009	109,3	108,7	108,2	109,8	3	22-04-2009	108,7	109,1	110,3	109
4	22-04-2009	109,5	108,2	109,9	108,2	4	22-04-2009	108,5	109	109,2	109,7
5	23-04-2009	109,4	108,9	108,8	109,6	5	23-04-2009	109,3	109,2	109,1	109,2
6	23-04-2009	109,9	108,6	109,3	108,9	6	23-04-2009	108,9	108,8	109,7	109,6
7	23-04-2009	110	108,2	108,7	108,8	7	23-04-2009	109	109,4	110,1	109,3
8	28-04-2009	108,5	109,6	108,3	108,5	8	28-04-2009	109,7	109	109,4	109,6
9	28-04-2009	108,8	109,5	109,1	109,3	9	28-04-2009	108,8	109	108,6	108,9
10	28-04-2009	109,3	108,7	108,8	109,3	10	28-04-2009	108,7	112	108,6	108,7
11	28-04-2009	108,7	109,6	109,2	112	11	28-04-2009	109,9	108,7	110,3	109,4
12	30-04-2009	108	109,2	108	108,9	12	30-04-2009	107,9	108,6	108,8	109
13	30-04-2009	109,1	109,4	108,4	108,3	13	30-04-2009	108	108,7	109,3	110,3
14	30-04-2009	108,8	109,3	109,3	108,7	14	30-04-2009	109,9	108,9	109,1	108,1
15	30-04-2009	109,2	108,4	108,8	108,8	15	30-04-2009	109,1	109	108,8	108,4
16	30-04-2009	109,8	109	108,8	109,1	16	30-04-2009	108,6	108,3	108,3	108,6
17	04-05-2009	109	108,5	110,1	108,6	17	04-05-2009	108,8	108,8	108,8	109,2
18	04-05-2009	109,3	108,2	109	109,7	18	04-05-2009	108,5	109,2	109,9	109
19	04-05-2009	108	108,8	108,6	109,4	19	04-05-2009	110,4	108,8	108,9	107,3
20	04-05-2009	108,8	108,3	109,3	109	20	04-05-2009	109,8	109,1	109,1	108,5
21	04-05-2009	109	109,6	108,8	108,3	21	04-05-2009	109,7	109,8	108,9	109
22	25-05-2009	108,4	108,3	108,9	108,2	22	25-05-2009	109,2	108,7	110,1	108,7
23	25-05-2009	109,6	109,9	108,8	108,4	23	25-05-2009	109	108,7	109	109
24	25-05-2009	109,3	108,7	108,1	110,1	24	25-05-2009	108,7	110,2	109,4	110,1
25	25-05-2009	109	109,8	108,1	109,5	25	25-05-2009	109,6	109,4	108,5	110,3
26	25-05-2009	108,5	108,4	109,1	108,5	26	25-05-2009	109,6	109,1	108,5	108,9
27	25-05-2009	109,1	108,5	110	109,7	27	25-05-2009	109	108,1	107,8	108,5
28	26-05-2009	109,5	108,5	108,2	109,3	28	26-05-2009	109,6	110,1	107,3	108,8
29	26-05-2009	108,6	109,7	109,3	109,5	29	26-05-2009	109	109,7	109,7	108,5
30	26-05-2009	108,3	107,8	109,6	109,4	30	26-05-2009	108,5	109,5	109,7	109,7
31	26-05-2009	108,9	109,3	108,3	108,1	31	26-05-2009	109,4	108,1	109,9	108,5
32	26-05-2009	109	108,3	109,2	109	32	26-05-2009	110,5	109,7	109,1	109,5
33	26-05-2009	109	109,4	109,2	108,7	33	26-05-2009	108,8	108,6	107,7	108,6
34	26-05-2009	108,8	109,1	108,4	109,6	34	26-05-2009	108,7	109,5	108,6	109,3
35	27-05-2009	108,9	109,1	109	108,6	35	27-05-2009	108,4	109,4	109,7	110,5
36	27-05-2009	108,5	107,8	108,9	108,9	36	27-05-2009	109,4	109,4	109,1	108,5
37	27-05-2009	109,9	108,7	108,6	107,9	37	27-05-2009	108,9	109,1	108,6	109,6
38	27-05-2009	108	108,4	108,3	108,4	38	27-05-2009	109,5	108,4	109,8	109,8
39	27-05-2009	109,3	108,7	108,8	107,8	39	27-05-2009	110,1	108,5	108,1	108,3
40	28-05-2009	109,9	108	108,9	108,8	40	28-05-2009	109,1	109,3	109,6	108,9

TABELA IV. 6 - SUPORTE DE AMORTECEDORES (MODELO FE8)

## Suporte de Amortecedores (Modelo FE7)

Suportes de Amortecedores - Esquerda (FE7)						Suportes de Amortecedores - Direita (FE7)					
Nº	Data	Binários (N.m)				Nº	Data	Binários (N.m)			
1	29-04-2009	109,4	108,7	108,8	109,5	1	29-04-2009	108,8	109,6	109	108,8
2	29-04-2009	109,9	108,7	109,7	109,9	2	29-04-2009	108,6	112,7	108,5	110,9
3	29-04-2009	108,8	108,1	108,2	108,4	3	29-04-2009	110,3	109	108,3	109,3
4	29-04-2009	108,9	109,1	109,1	108,6	4	29-04-2009	109	108,4	108,8	109,3
5	29-04-2009	108,8	110,3	109,8	108,7	5	29-04-2009	108,4	110,1	109,9	108,8
6	29-04-2009	109,1	109	109,2	108,7	6	29-04-2009	110,1	109	108,3	109,3
7	29-04-2009	108,3	109,8	109,5	109,6	7	29-04-2009	108,7	109,2	108,5	109,3
8	29-04-2009	108,7	109,1	109,4	108,7	8	29-04-2009	109,3	108,8	108,9	109,8
9	29-04-2009	108	109,6	109	109,7	9	29-04-2009	109,7	108,9	108,3	108,4
10	29-04-2009	108,8	108,5	108,7	108,4	10	29-04-2009	108,9	109,1	109,2	107,7
11	11-05-2009	108,9	110,6	109,5	108,8	11	11-05-2009	109,7	109,9	109,4	108
12	11-05-2009	109,3	110,1	108,7	108,3	12	11-05-2009	109,6	109,8	109,1	108,5
13	11-05-2009	109,8	109,1	108,8	108,7	13	11-05-2009	109,7	108,9	108,9	109,3
14	11-05-2009	109	108,2	109,1	109,2	14	11-05-2009	108,1	109,6	108,6	108,3
15	11-05-2009	108,8	109,6	108,5	109,3	15	11-05-2009	107,9	109,2	109,2	108,7
16	11-05-2009	109,8	109,2	109,3	108,4	16	11-05-2009	109,8	109,5	109,7	109
17	11-05-2009	109,9	109,2	107,6	109,8	17	11-05-2009	109,9	109,1	108,1	108,6
18	11-05-2009	110,3	109,5	110,3	108,6	18	11-05-2009	110	109,7	109,3	108,4
19	12-05-2009	109	109,3	109,2	109,8	19	12-05-2009	110,3	108,1	109,4	108,5
20	12-05-2009	109,8	108,6	108,3	108,1	20	12-05-2009	108,7	109,4	109,2	108,9
21	12-05-2009	109,9	109,1	109,3	109,8	21	12-05-2009	109,6	108,3	108,7	108,8
22	12-05-2009	108,7	108,9	109	109,1	22	12-05-2009	108,8	110,8	108,8	109,9
23	12-05-2009	107,9	109,1	109,3	110	23	12-05-2009	108,9	108,7	107,7	109,3
24	12-05-2009	109,1	108,3	109,9	108,9	24	12-05-2009	108,5	108,2	109,2	108
25	12-05-2009	108	109,2	109,5	108,7	25	12-05-2009	108,5	109,9	108,3	109,4
26	12-05-2009	108,9	108,4	107,9	109,3	26	12-05-2009	109,1	110,5	108,5	109,1
27	28-05-2009	108,5	108,4	108,4	109,1	27	28-05-2009	109,1	108,7	109,8	109,7
28	28-05-2009	108,8	109	108,8	109,3	28	28-05-2009	108,2	108,9	109	108,8
29	23-06-2009	109,3	110,3	108,2	108,8	29	23-06-2009	109,1	109,4	109	109,4
30	23-06-2009	108,6	108,3	109,7	110	30	23-06-2009	110	109,3	109,3	108,4

TABELA IV. 7 - SUPORTE DE AMORTECEDORES (MODELO FE7)

IV.1.2 - Cartas da Fase 1

Fixação da Travessa do Motor

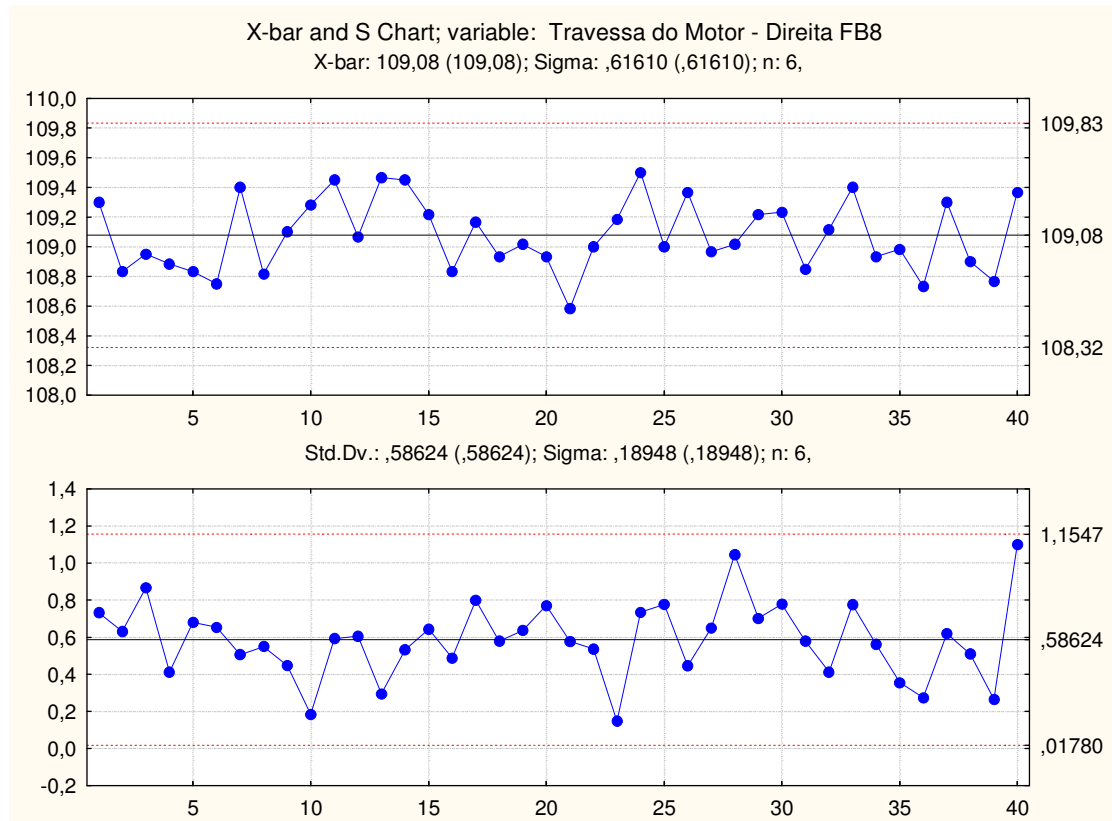


FIGURA IV. 1 – CARTAS  $\bar{X}$  E S PARA A FIXAÇÃO DA TRAVESSA DO MOTOR – DIREITA DO MODELO FB8

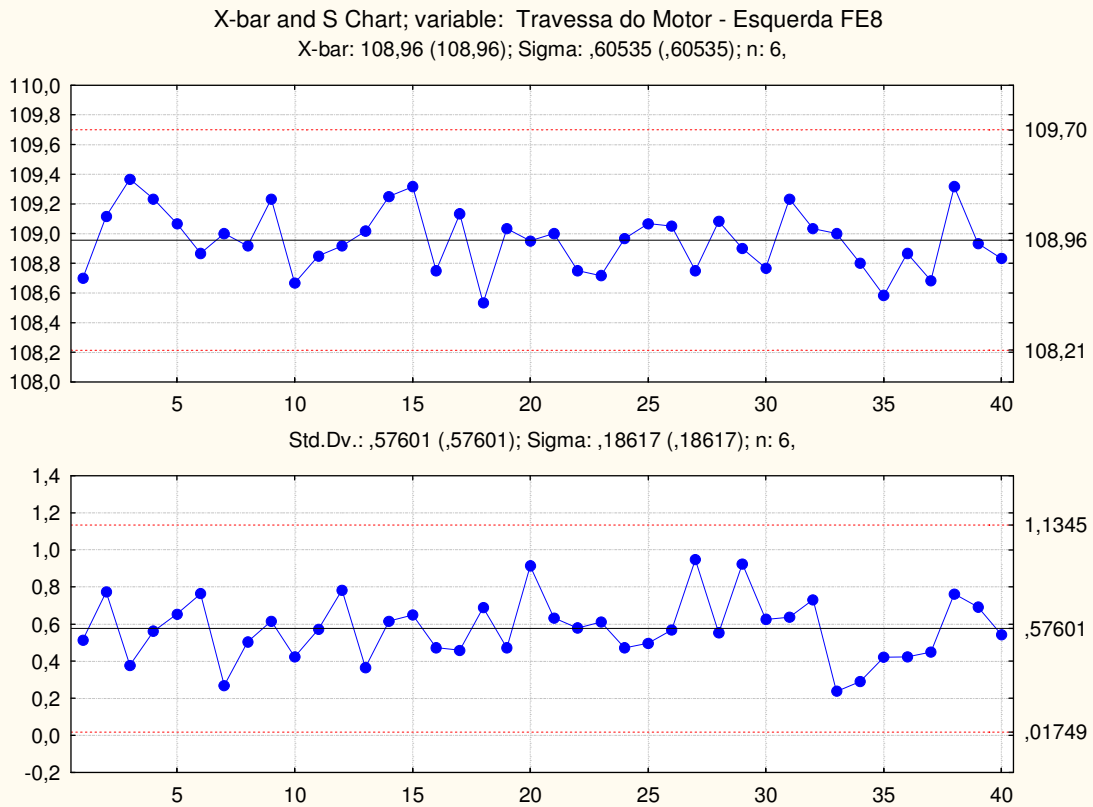


FIGURA IV. 2 - CARTAS  $\bar{X}$  E S PARA A FIXAÇÃO DA TRAVESSA DO MOTOR – ESQUERDA DO MODELO FE8

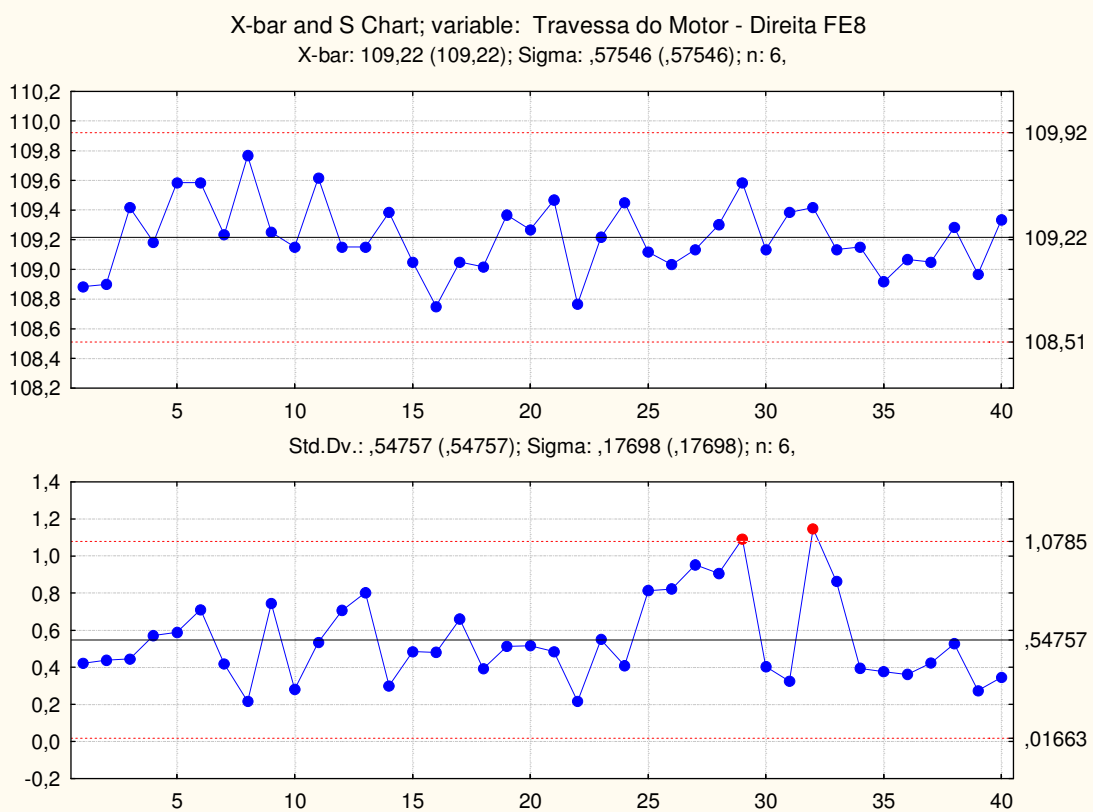


FIGURA IV. 3 - CARTAS  $\bar{X}$  E S PARA A FIXAÇÃO DA TRAVESSA DO MOTOR – DIREITA DO MODELO FE8

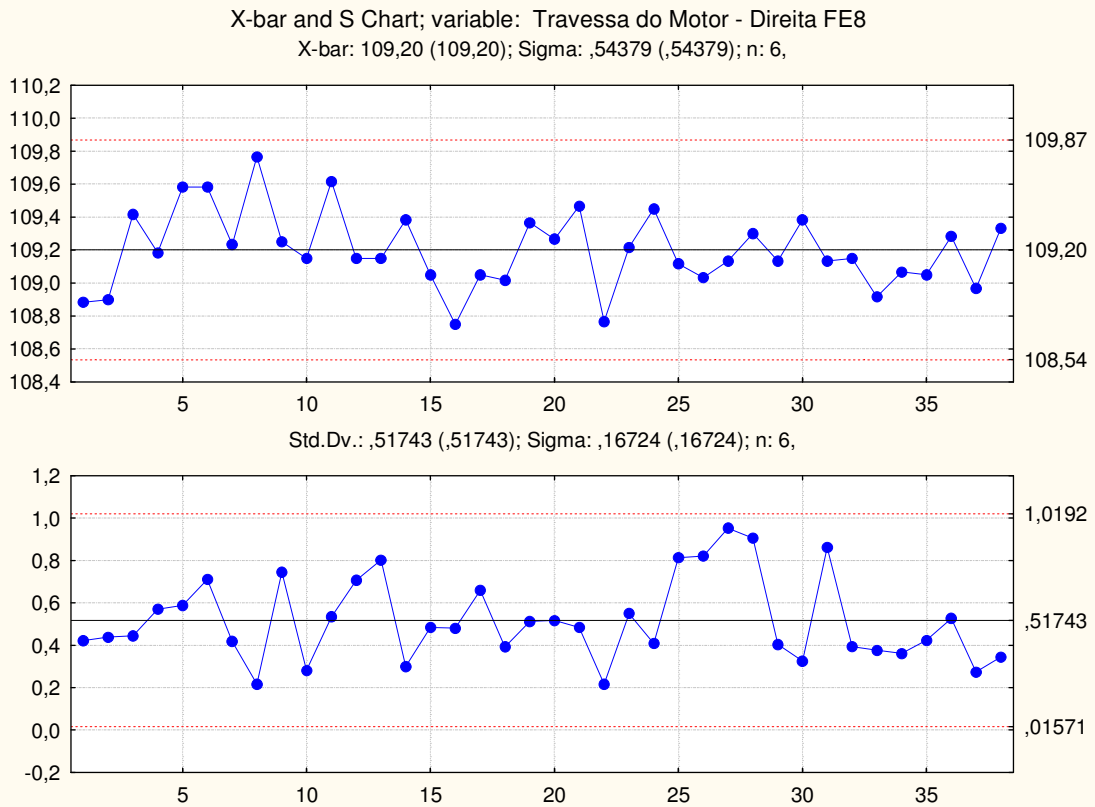


FIGURA IV. 4 – CARTAS REVISTAS  $\bar{X}$  E S PARA A FIXAÇÃO DA TRAVESSA DO MOTOR – DIREITA DO MODELO FE8

### Suporte de Amortecedores

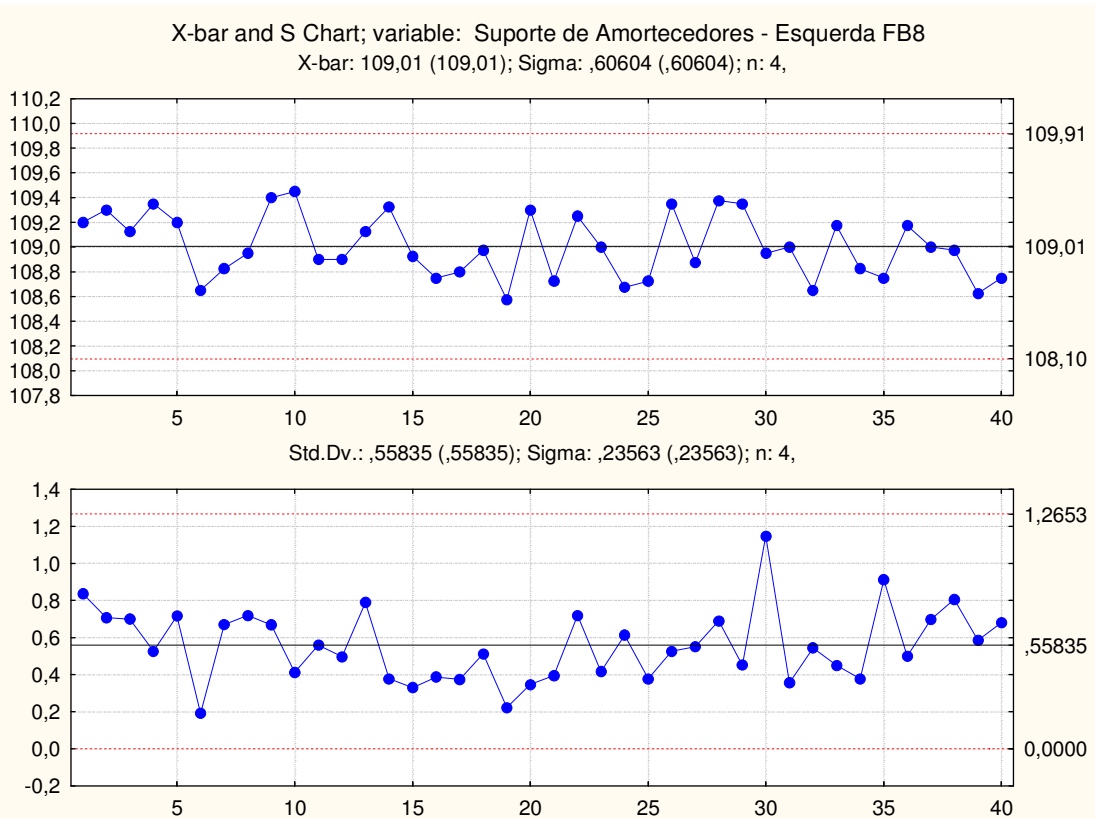


FIGURA IV. 5 - CARTAS  $\bar{X}$  E S PARA O SUPORTE DE AMORTECEDORES – ESQUERDA DO MODELO FB8

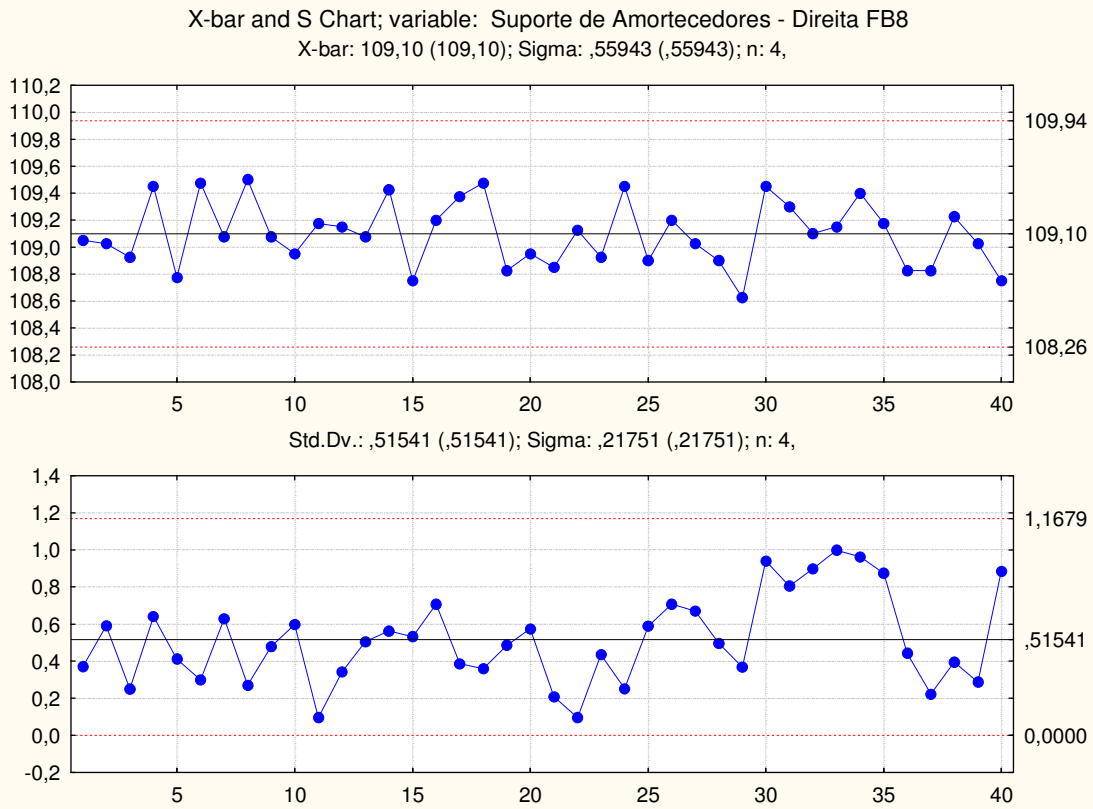


FIGURA IV. 6 - CARTAS  $\bar{X}$  E S PARA O SUPORTE DE AMORTECEDORES – DIREITA DO MODELO FB8

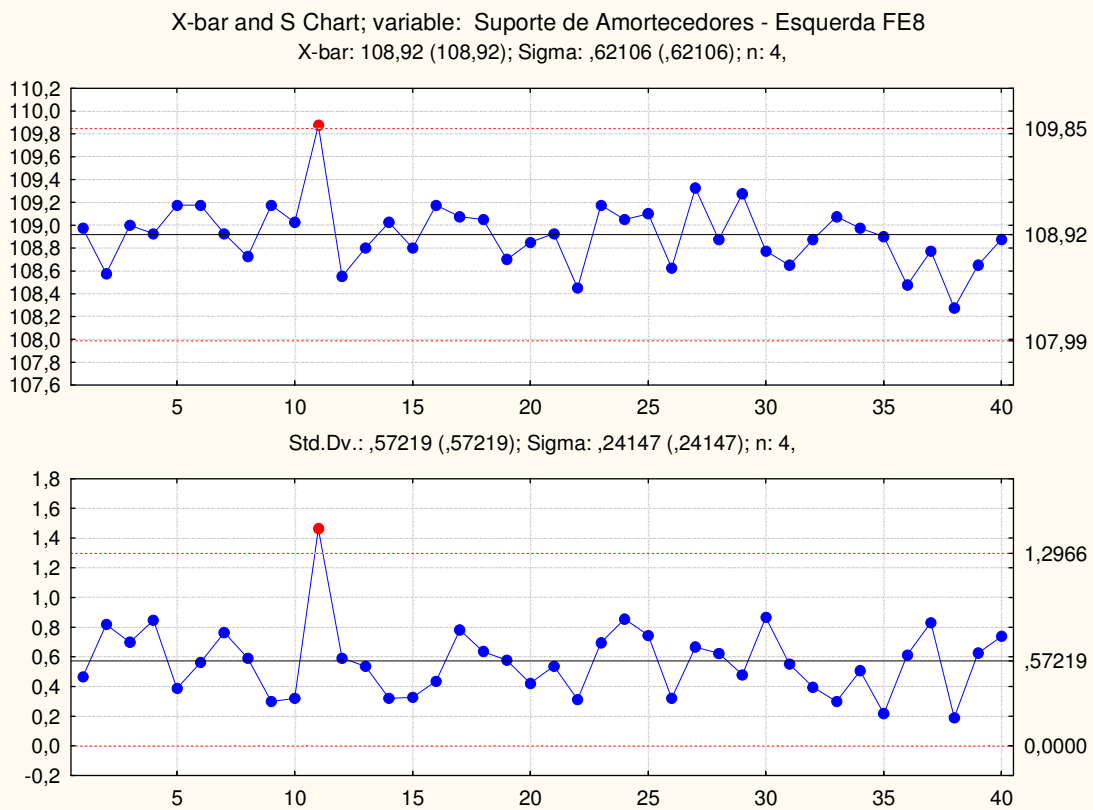


FIGURA IV. 7 - CARTAS  $\bar{X}$  E S PARA O SUPORTE DE AMORTECEDORES – ESQUERDA DO MODELO FE8

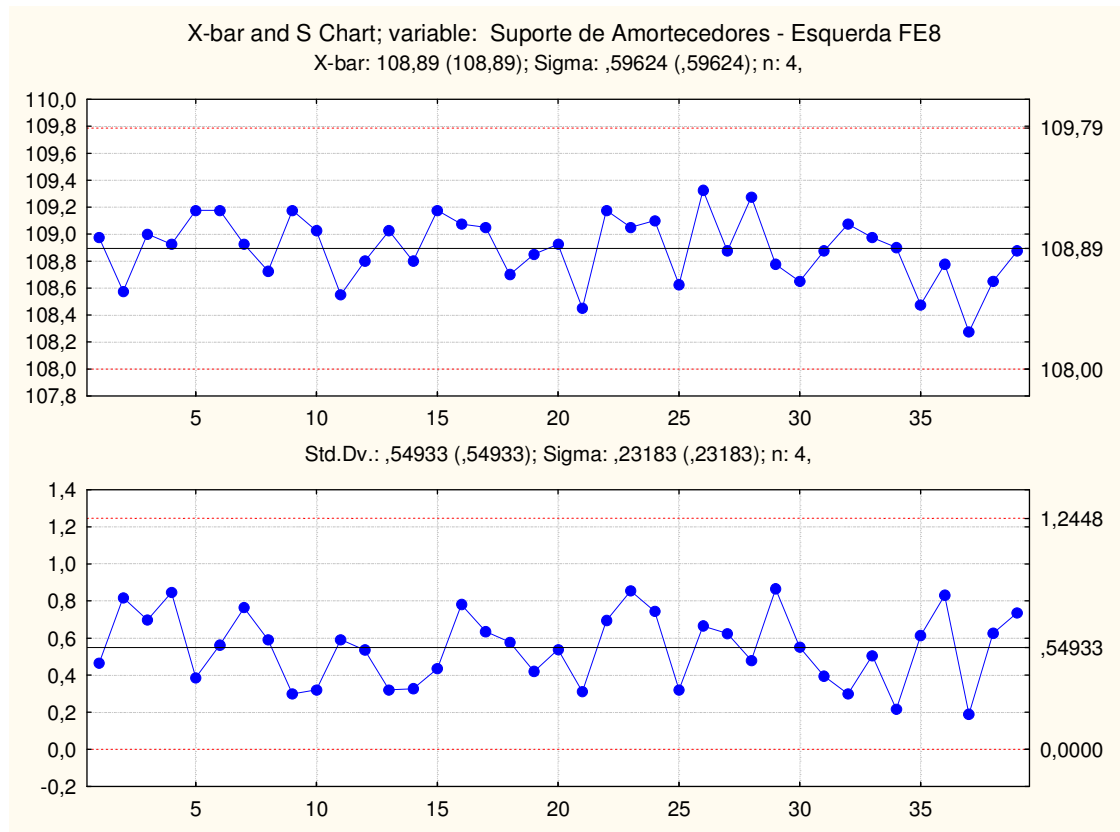


FIGURA IV. 8 – CARTAS REVISTAS  $\bar{X}$  E S PARA O SUPORTE DE AMORTECEDORES – ESQUERDA DO MODELO FE8

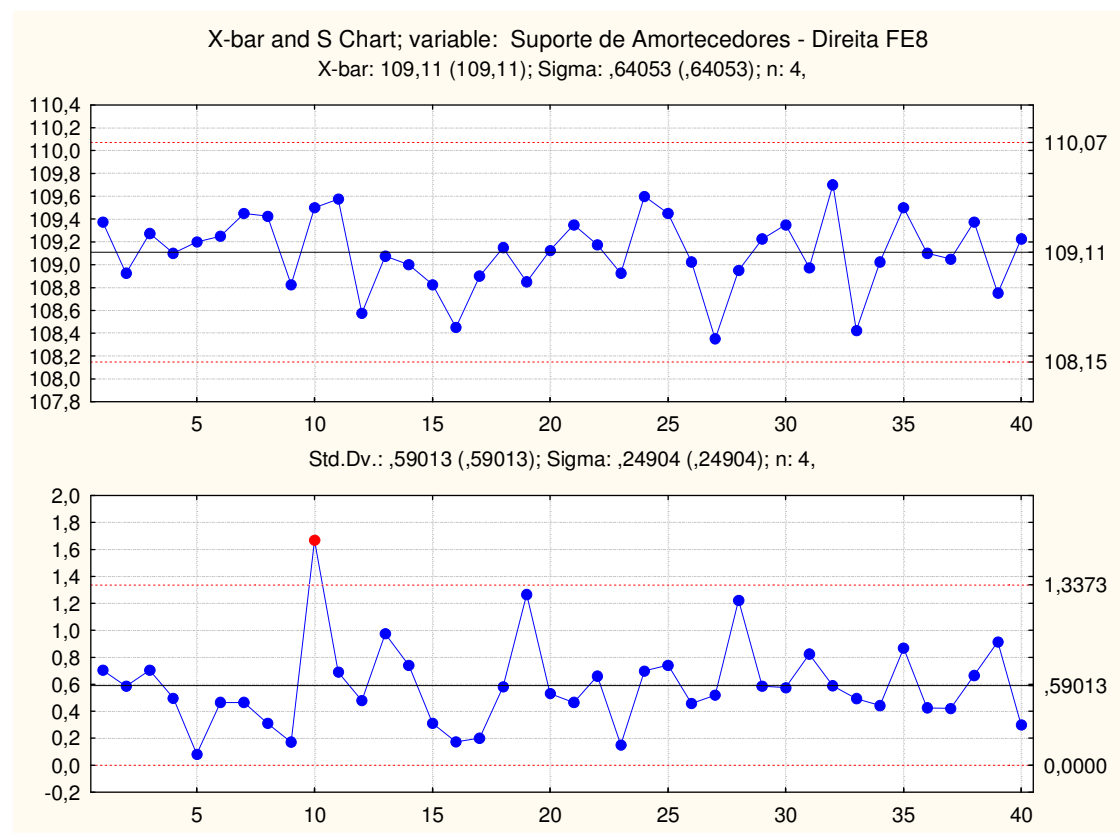


FIGURA IV. 9 - CARTAS  $\bar{X}$  E S PARA O SUPORTE DE AMORTECEDORES – DIREITA DO MODELO FE8

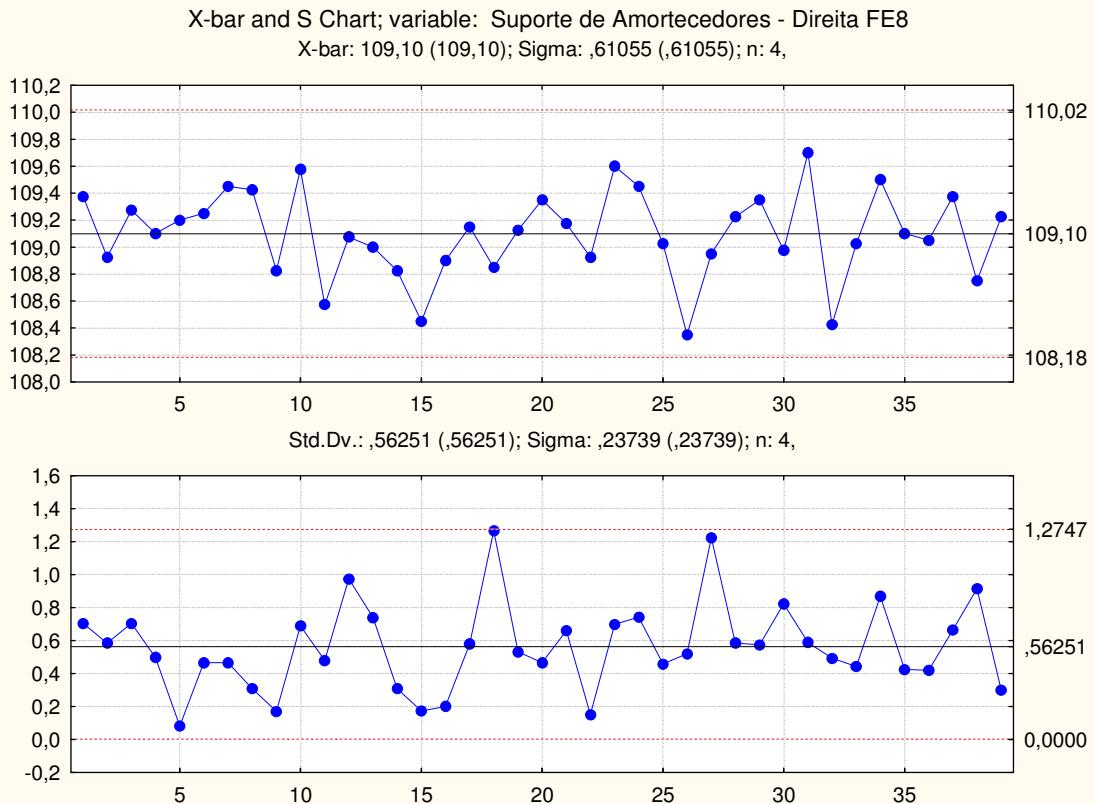


FIGURA IV. 10 – CARTAS REVISTAS  $\bar{X}$  E S PARA O SUPORTE DE AMORTECEDORES – DIREITA DO MODELO FE8

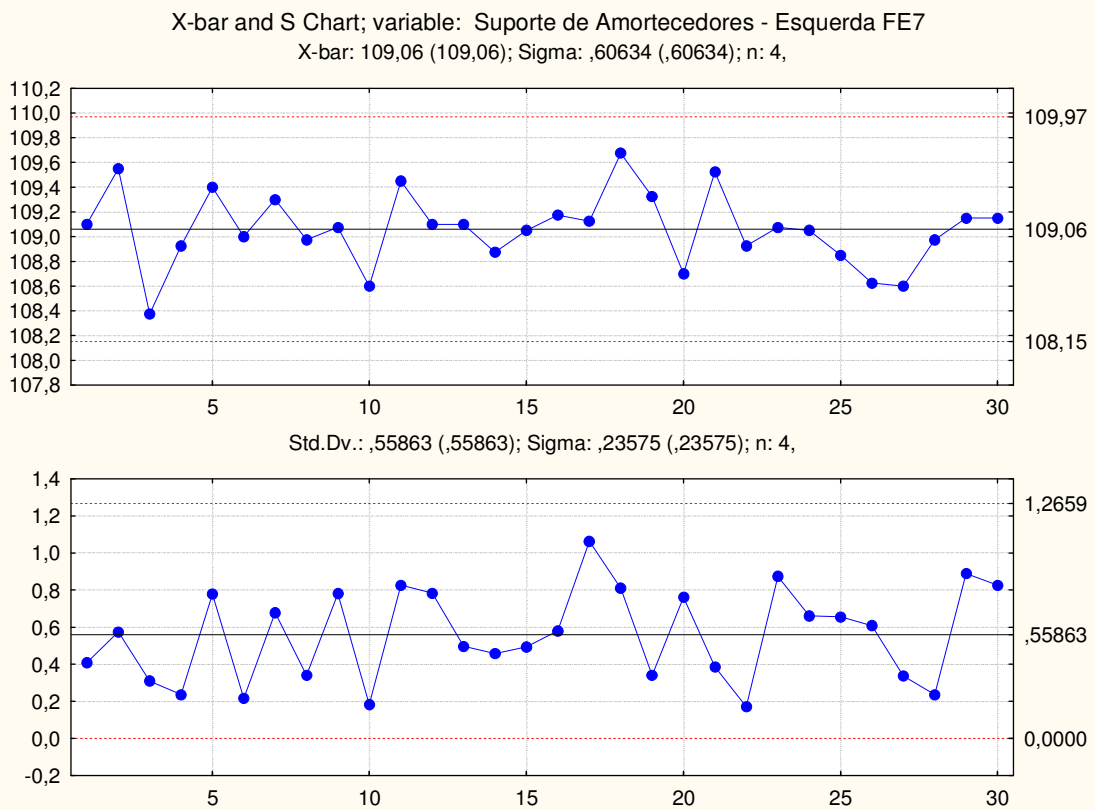


FIGURA IV. 11 - CARTAS  $\bar{X}$  E S PARA O SUPORTE DE AMORTECEDORES – ESQUERDA DO MODELO FE7

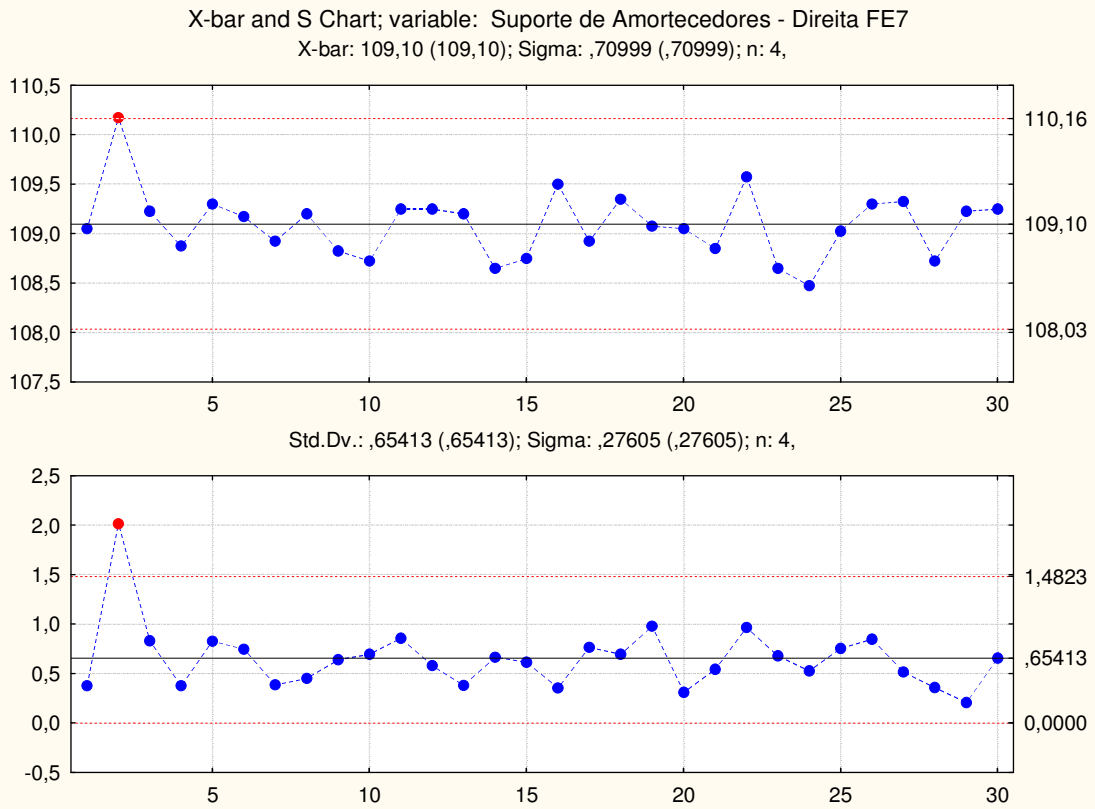


FIGURA IV. 12 - CARTAS  $\bar{X}$  E S PARA O SUPORTE DE AMORTECEDORES – DIREITA DO MODELO FE7

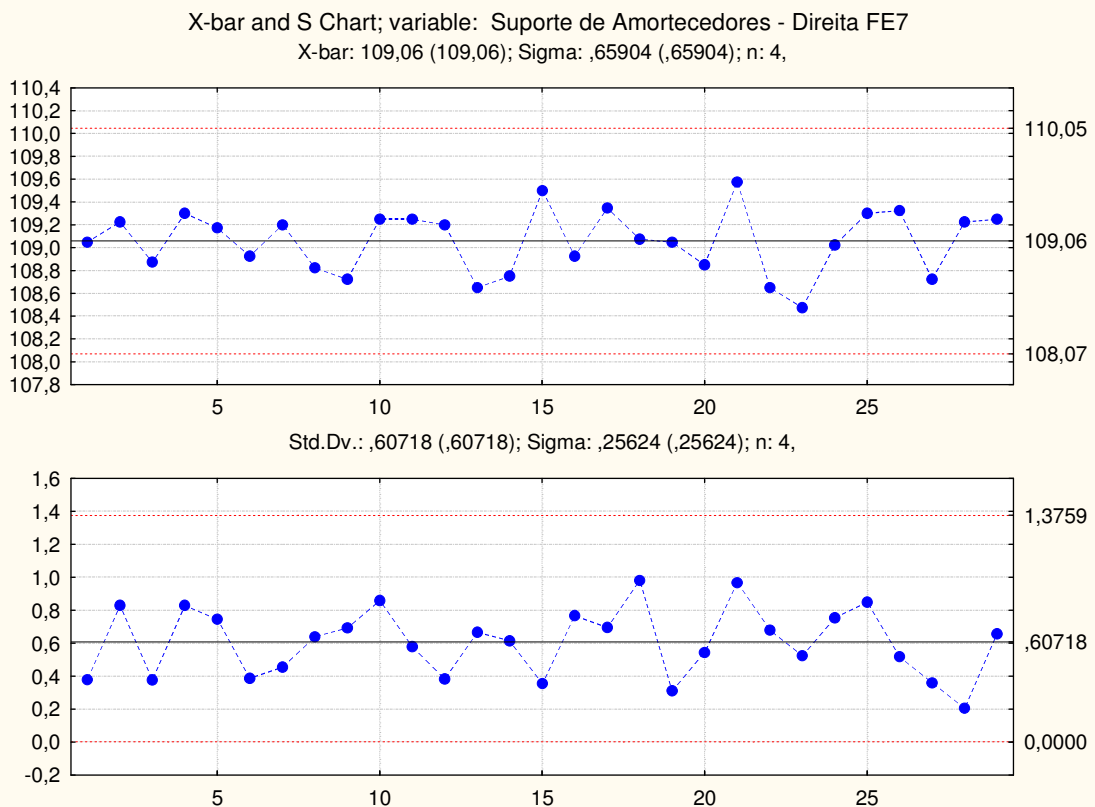


FIGURA IV. 13 – CARTAS REVISITAS  $\bar{X}$  E S PARA O SUPORTE DE AMORTECEDORES – DIREITA DO MODELO FE7

IV.1.3 - Verificação da Normalidade dos Dados Individuais

Fixação da travessa do motor

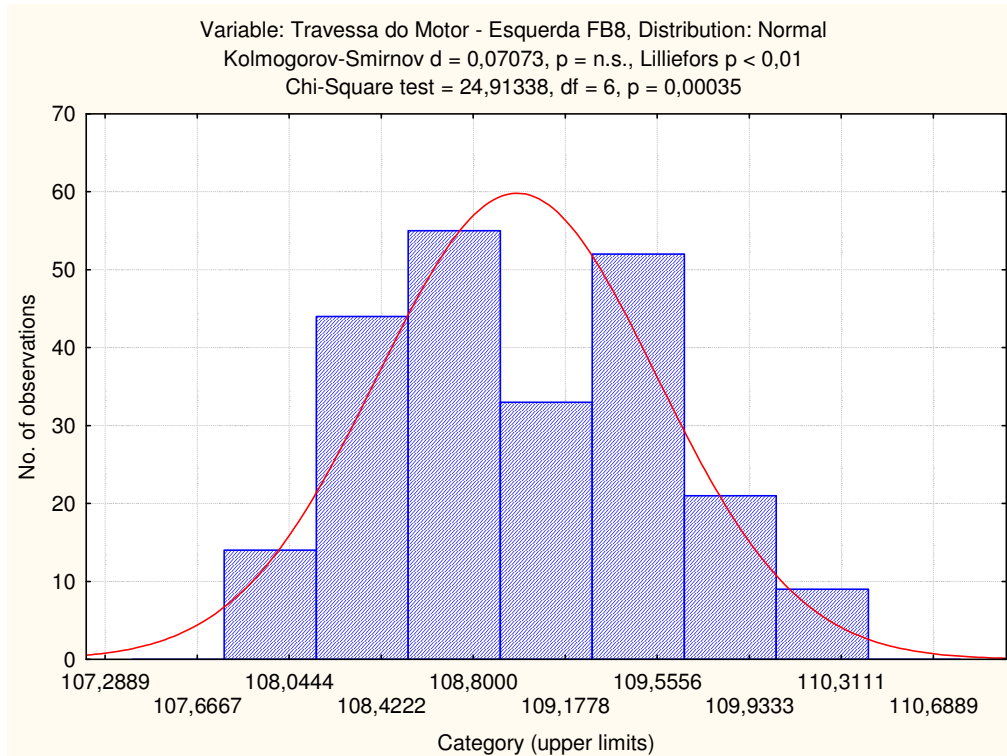


FIGURA IV. 14 - VERIFICAÇÃO DA NORMALIDADE DOS DADOS INDIVIDUAIS PARA A FIXAÇÃO DA TRAVESSA DO MOTOR – ESQUERDA DO MODELO FB8

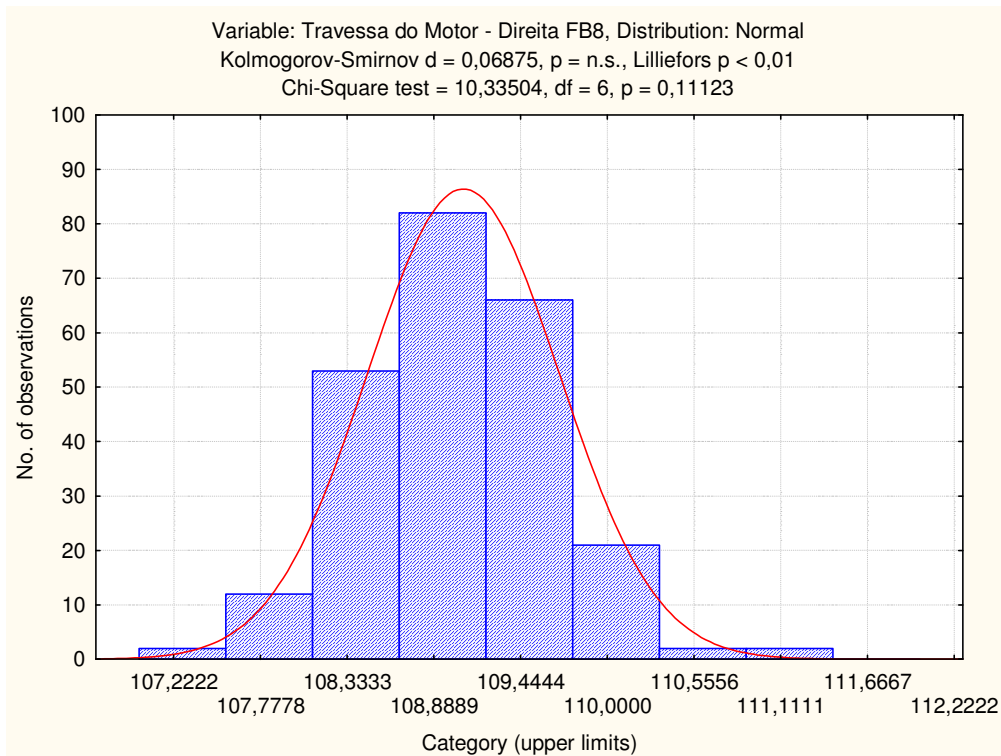


FIGURA IV. 15 - VERIFICAÇÃO DA NORMALIDADE DOS DADOS INDIVIDUAIS PARA A FIXAÇÃO DA TRAVESSA DO MOTOR – DIREITA DO MODELO FB8

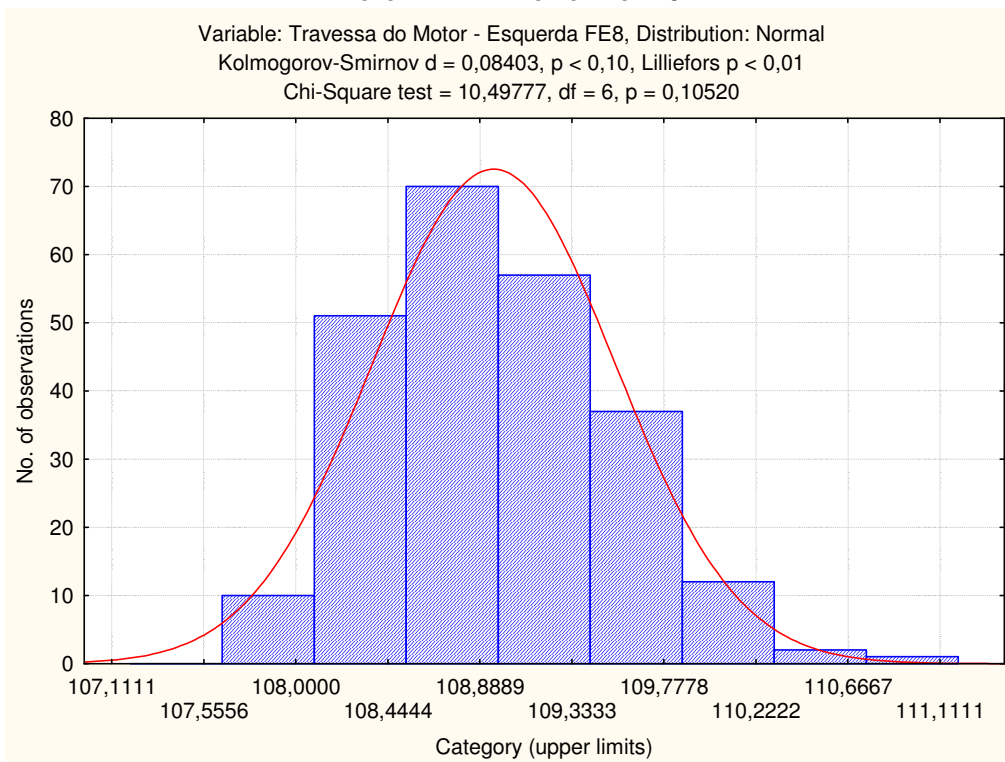


FIGURA IV. 16 - VERIFICAÇÃO DA NORMALIDADE DOS DADOS INDIVIDUAIS PARA A FIXAÇÃO DA TRAVESSA DO MOTOR – ESQUERDA DO MODELO FE8

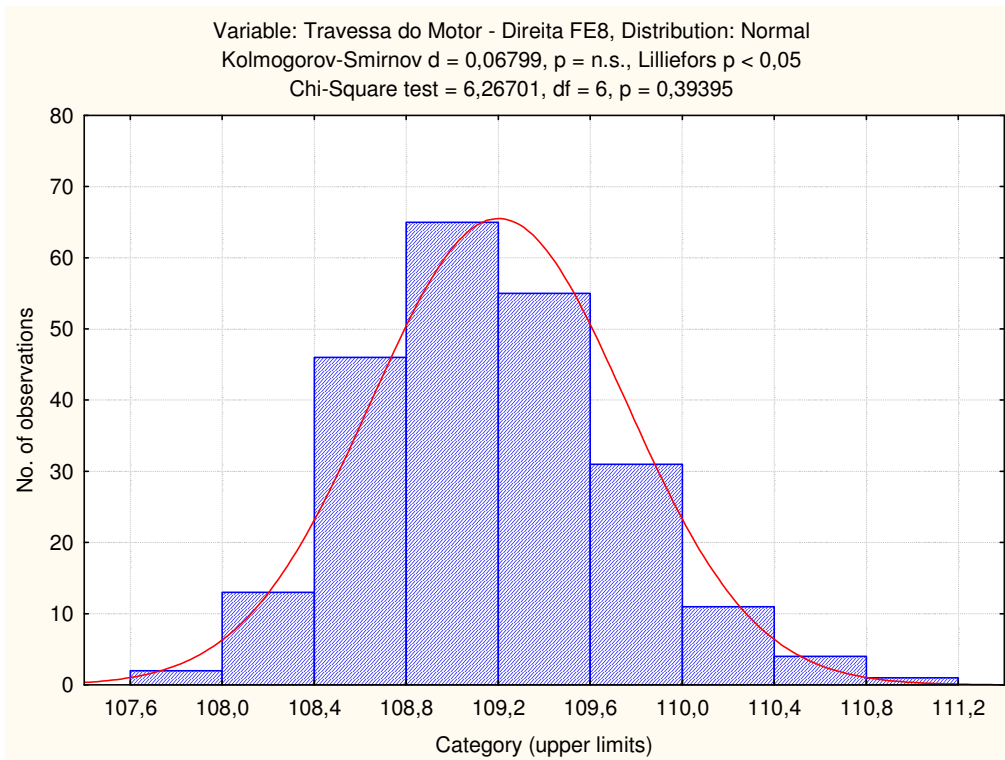


FIGURA IV. 17 - VERIFICAÇÃO DA NORMALIDADE DOS DADOS INDIVIDUAIS PARA A FIXAÇÃO DA TRAVESSA DO MOTOR – DIREITA DO MODELO FE8

### Suporte de Amortecedores

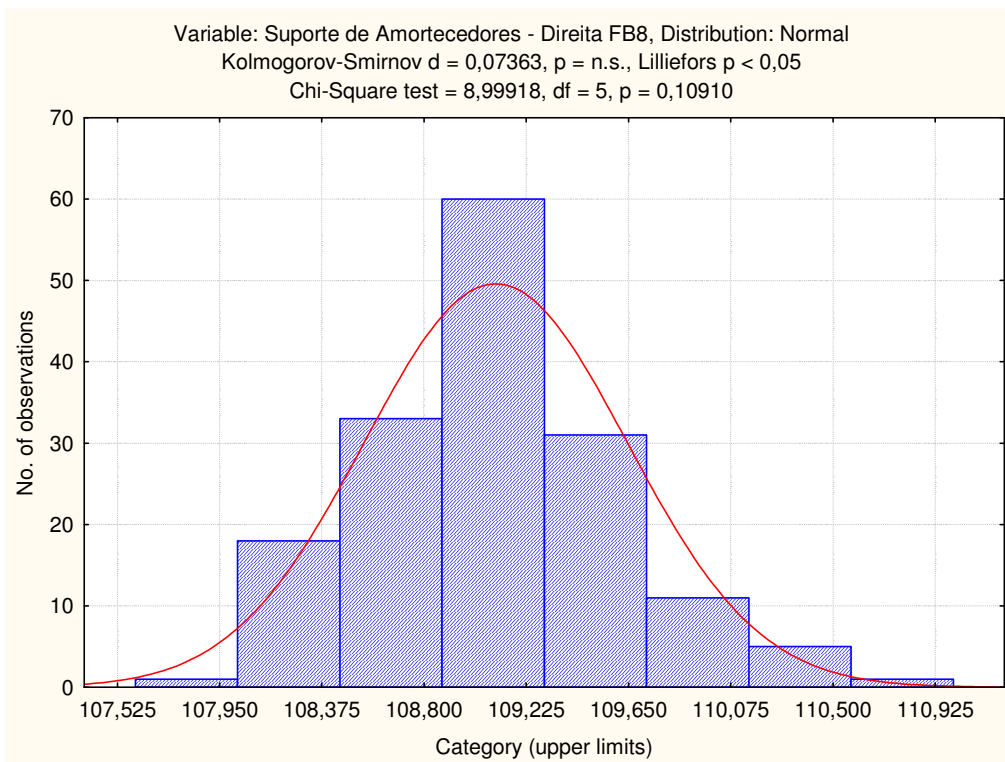


FIGURA IV. 18 - VERIFICAÇÃO DA NORMALIDADE DOS DADOS INDIVIDUAIS PARA O SUPORTE DE AMORTECEDORES – DIREITA DO MODELO FB8

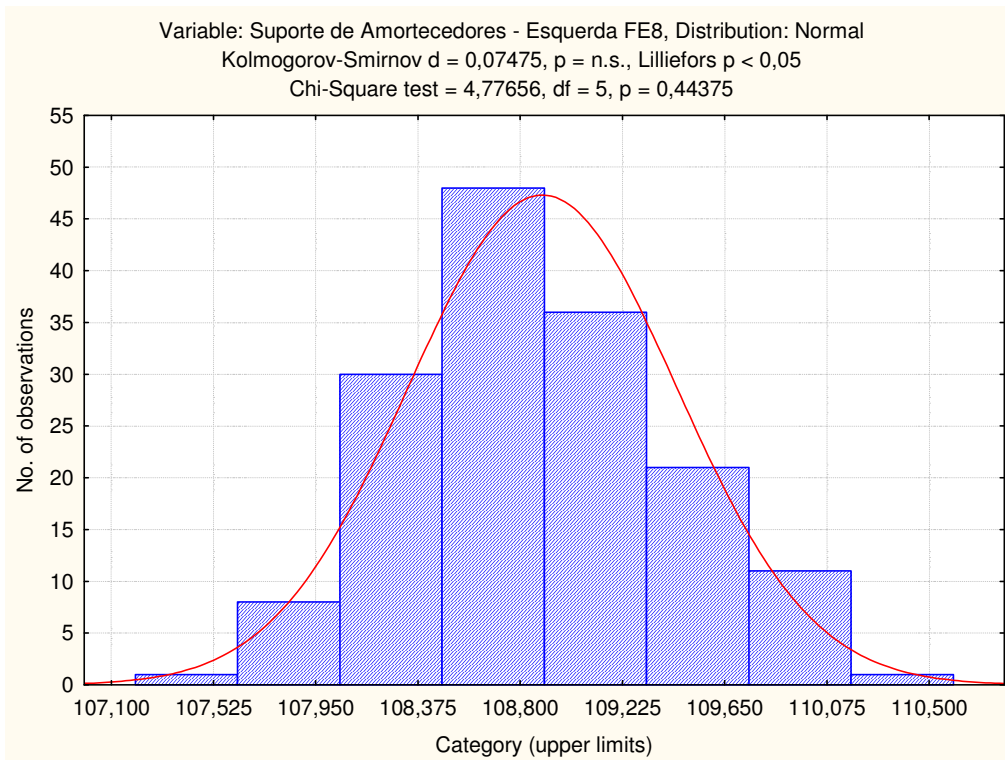


FIGURA IV. 19 - VERIFICAÇÃO DA NORMALIDADE DOS DADOS INDIVIDUAIS PARA O SUPORTE DE AMORTECEDORES – ESQUERDA DO MODELO FE8

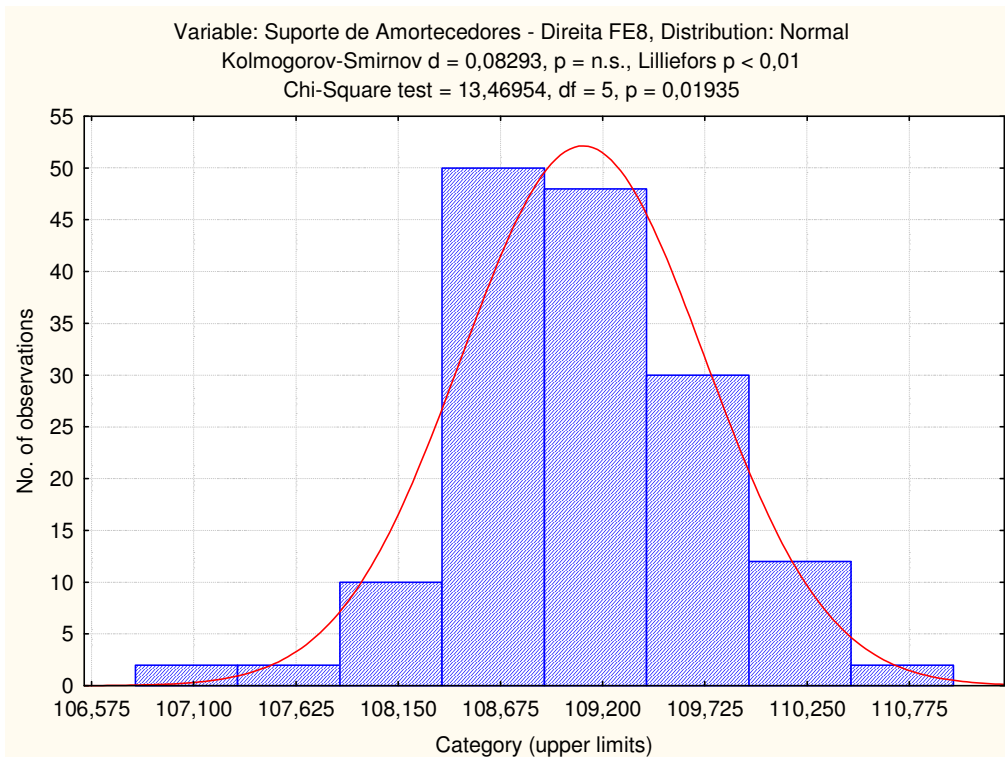


FIGURA IV. 20 - VERIFICAÇÃO DA NORMALIDADE DOS DADOS INDIVIDUAIS PARA O SUPORTE DE AMORTECEDORES – DIREITA DO MODELO FE8

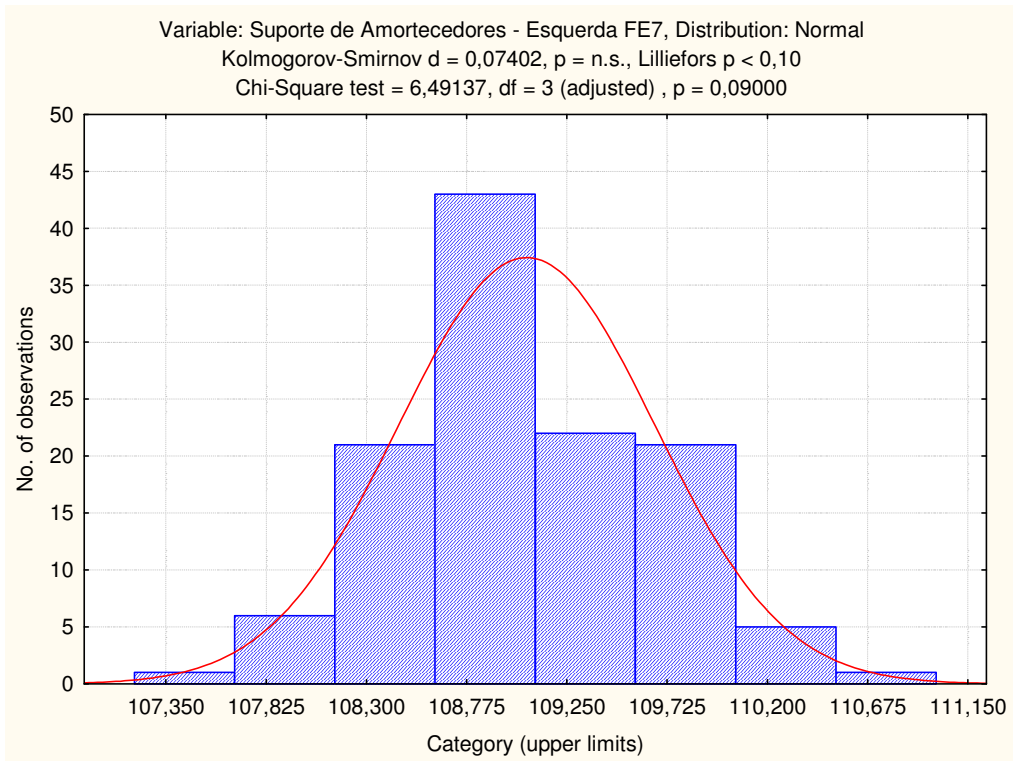


FIGURA IV. 21 - VERIFICAÇÃO DA NORMALIDADE DOS DADOS INDIVIDUAIS PARA O SUPORTE DE AMORTECEDORES – ESQUERDA DO MODELO FE7

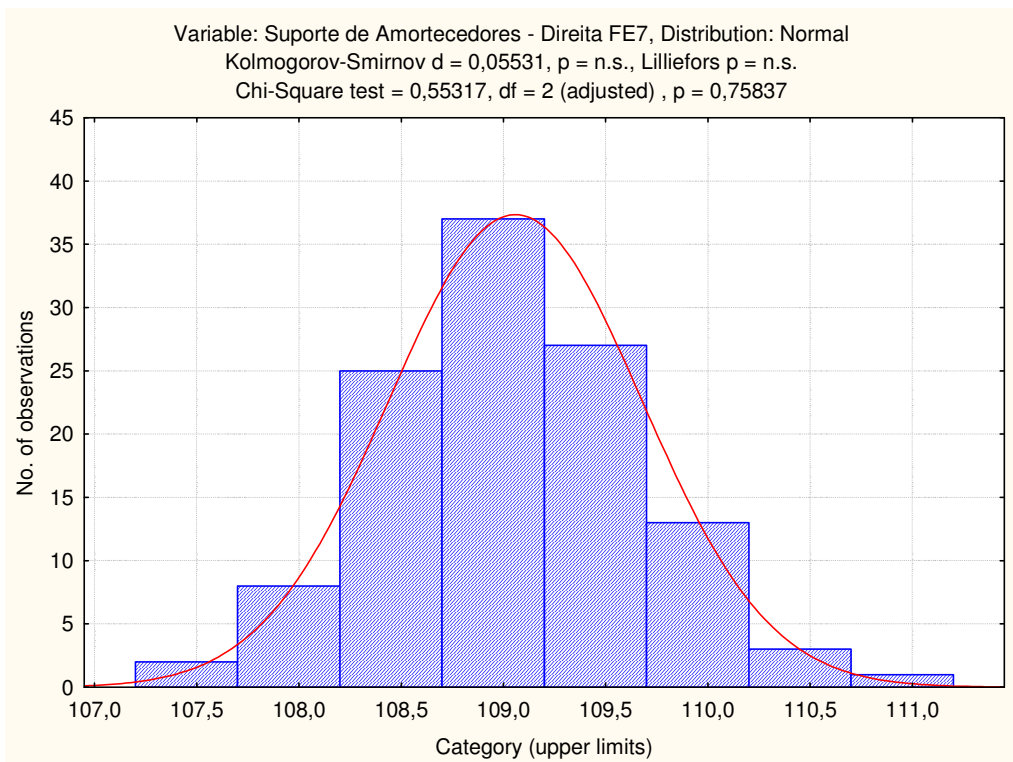


FIGURA IV. 22 - VERIFICAÇÃO DA NORMALIDADE DOS DADOS INDIVIDUAIS PARA O SUPORTE DE AMORTECEDORES – DIREITA DO MODELO FE7

## IV.1.4 - Dados para a Fase 2

## Fixação da Travessa do Motor

Fixação Travessa Motor - Esquerda				Fixação Travessa Motor - Direita							
Nº	Modelo	Data	Binários (N.m)			Nº	Modelo	Data	Binários (N.m)		
1	FE8	28-05-2009	108,4	108,9	108,8	1	FE8	28-05-2009	110	108,9	108,1
			109,7	110,3	109				109,2	108,8	109,8
2	FE8	17-06-2009	108,9	109,3	109,1	2	FE8	17-06-2009	109,1	108,4	108
			109,5	108,3	108,2				109,1	109,2	108,1
3	FB8	19-06-2009	109	109,3	108,2	3	FB8	19-06-2009	109,1	108	109,6
			107,9	107,8	108,8				108,7	109,5	108,9
4	FB8	19-06-2009	109,8	108,8	108,4	4	FB8	19-06-2009	109,6	108,4	109,2
			108,8	108,5	109,7				109,7	109,4	109,3
5	FB8	19-06-2009	108,9	108,5	109,3	5	FB8	19-06-2009	109,7	109,2	109,7
			109	109,1	108,4				109,3	109,4	109,7
6	FB8	19-06-2009	109,1	109,6	109,5	6	FB8	19-06-2009	108,3	109,5	109,2
			109,6	108,9	108,3				108,5	109,5	109,7
7	FB8	19-06-2009	109,6	108,9	108,8	7	FB8	19-06-2009	109,3	108,6	108,7
			109,3	108,5	109,1				108,6	109,1	108,9
8	FE8	24-06-2009	109,1	108,9	108,5	8	FE8	24-06-2009	109,5	108,5	108,1
			109,3	108,8	109,5				108,9	108,4	108,5
9	FE8	24-06-2009	108,8	108,3	108,6	9	FE8	24-06-2009	109,1	109,1	109,1
			109,3	108,5	109,2				109,6	108,6	109,1
10	FE8	24-06-2009	109	109,4	108,8	10	FE8	24-06-2009	109	109,1	109,1
			108,2	109,1	108,9				109,1	109,6	109,1
11	FB8	24-06-2009	109,1	109,7	108,5	11	FB8	24-06-2009	109,3	109,1	110,2
			108,3	108,4	109,3				108,3	109,4	110,2
12	FB8	25-06-2009	108,6	109,1	107,8	12	FB8	25-06-2009	108,6	109,5	108,5
			109,7	108,8	109,7				108,5	108,3	109,5
13	FE8	25-06-2009	108,4	108,8	108,5	13	FE8	25-06-2009	108,8	109,2	108,9
			109,6	110,1	108,9				108,5	108,9	108,1
14	FE8	25-06-2009	108,3	109,3	108,3	14	FE8	25-06-2009	109,1	110	109,5
			109,6	108,4	109,1				108,7	108,7	109
15	FE8	25-06-2009	110,1	109,2	108,8	15	FE8	25-06-2009	108,3	109,4	109,1
			109,6	109,1	109,3				108,5	109,5	109,7

TABELA IV. 8 - DADOS DA FASE 2 PARA A FIXAÇÃO DA TRAVESSA DO MOTOR

## Suporte de Amortecedores

Suportes de Amortecedores - Esquerda						
Nº	Modelo	Data	Binários (N.m)			
1	FE8	28-05-2009	108,8	107,8	109,8	108,2
2	FE8	17-06-2009	108,3	108,5	109,6	108,8
3	FB8	19-06-2009	110,3	108,5	108,5	109,6
4	FB8	19-06-2009	109,7	107,8	108,7	108,5
5	FB8	19-06-2009	108,3	109,3	109,5	109,3
6	FB8	19-06-2009	108	109,2	108,4	108,6
7	FB8	19-06-2009	110,3	108,8	108,8	109,3
8	FE8	24-06-2009	109,2	108,7	110,3	109
9	FE8	24-06-2009	109,9	108,9	110,6	108,6
10	FE8	24-06-2009	109,4	108,8	109	109,9
11	FE7	24-06-2009	109,1	109,1	109,1	108,3
12	FE7	24-06-2009	109,3	108,3	109,4	108,7
13	FE7	24-06-2009	109,2	108,5	109,7	109,5
14	FE7	24-06-2009	109,8	109	107,6	109,8
15	FE7	24-06-2009	109,4	108,6	108,8	108,3
16	FB8	24-06-2009	108,8	109,2	109,8	109
17	FB8	25-06-2009	109,1	109,3	109,5	108,4
18	FE8	25-06-2009	108,3	109,3	109,5	109,3
19	FE8	25-06-2009	108,8	110,3	109,8	109,8
20	FE8	25-06-2009	109,3	110	109,3	108,4
21	FE7	26-06-2009	109,2	108,5	109,6	109,8

TABELA IV. 9 - DADOS DA FASE 2 PARA O SUPORTE DE AMORTECEDORES - ESQUERDA

Suportes de Amortecedores - Direita						
Nº	Modelo	Data	Binários (N.m)			
1	FE8	28-05-2009	109,7	109,1	108,8	110,3
2	FE8	17-06-2009	108,5	108,8	109,1	108,6
3	FB8	19-06-2009	109,4	108,4	109,3	109,5
4	FB8	19-06-2009	110,1	108,8	108,9	108,8
5	FB8	19-06-2009	109,5	109,8	109	109,2
6	FB8	19-06-2009	109,1	109,5	109,1	109,1
7	FB8	19-06-2009	108,7	110,6	108,4	109,1
8	FE8	24-06-2009	109	109,2	110,3	108,6
9	FE8	24-06-2009	111,4	109,1	109,7	108,7
10	FE8	24-06-2009	108,2	109,3	109,7	109,6
11	FE7	24-06-2009	108,4	108,5	109,5	110,2
12	FE7	24-06-2009	109,1	109,1	109,1	108,3
13	FE7	24-06-2009	108,9	108,6	109,3	110,3
14	FE7	24-06-2009	109,9	109,1	108,1	108,6
15	FE7	24-06-2009	109,5	107,9	108,4	108,6
16	FB8	24-06-2009	109,6	110,3	108,3	110,3
17	FB9	25-06-2009	109,3	109,7	108,1	107,9
18	FE8	25-06-2009	109,5	109,8	109	109,2
19	FE8	25-06-2009	109,3	108,5	108,7	109,5
20	FE8	25-06-2009	108,6	109,7	108,4	108,4
21	FE7	26-06-2009	109	109,5	109,3	108

TABELA IV. 10 - DADOS DA FASE 2 PARA O SUPORTE DE AMORTECEDORES - DIREITA

## IV.1.5 - Cartas para a Fase 2

## Fixação da Travessa do Motor

$$LIC_z = -3$$

$$LC_z = 0$$

$$LSC_z = 3$$

$$LIC_w = 0,030$$

$$LC_w = 1$$

$$LSC_w = 1,970$$

$$LIE = 98 \text{ N.m}$$

$$LSE = 117,6 \text{ N.m}$$

## Carta Z e W para a Fixação da Travessa do Motor – Esquerda

Nº	Modelo	Data	$\bar{X}_i$	$S_i$	$\mu$	$\sigma$	$\sigma_{\bar{x}}$	Z	W
1	FE8	28-05-2009	109,183	0,691	108,960	0,605	0,576	0,388	1,200
2	FE8	17-06-2009	108,883	0,531	108,960	0,605	0,576	-0,133	0,921
3	FB8	19-06-2009	108,500	0,620	108,980	0,571	0,544	-0,883	1,140
4	FB8	19-06-2009	109,000	0,603	108,980	0,571	0,544	0,037	1,110
5	FB8	19-06-2009	108,867	0,350	108,980	0,571	0,544	-0,208	0,644
6	FB8	19-06-2009	109,167	0,513	108,980	0,571	0,544	0,343	0,943
7	FB8	19-06-2009	109,033	0,388	108,980	0,571	0,544	0,098	0,714
8	FE8	24-06-2009	109,017	0,360	108,960	0,605	0,576	0,098	0,625
9	FE8	24-06-2009	108,783	0,397	108,960	0,605	0,576	-0,307	0,689
10	FE8	24-06-2009	108,900	0,400	109,000	0,605	0,576	-0,174	0,694
11	FB8	24-06-2009	108,883	0,567	108,980	0,571	0,544	-0,178	1,043
12	FB8	25-06-2009	108,950	0,723	108,980	0,571	0,544	-0,055	1,330
13	FE8	25-06-2009	109,050	0,666	108,960	0,605	0,576	0,156	1,156
14	FE8	25-06-2009	108,833	0,572	108,960	0,605	0,576	-0,220	0,992
15	FE8	25-06-2009	109,350	0,451	108,960	0,605	0,576	0,677	0,782

TABELA IV. 11 - TABELA AUXILIAR PARA A CONSTRUÇÃO DAS CARTAS Z E W PARA A FIXAÇÃO DA TRAVESSA DO MOTOR - ESQUERDA

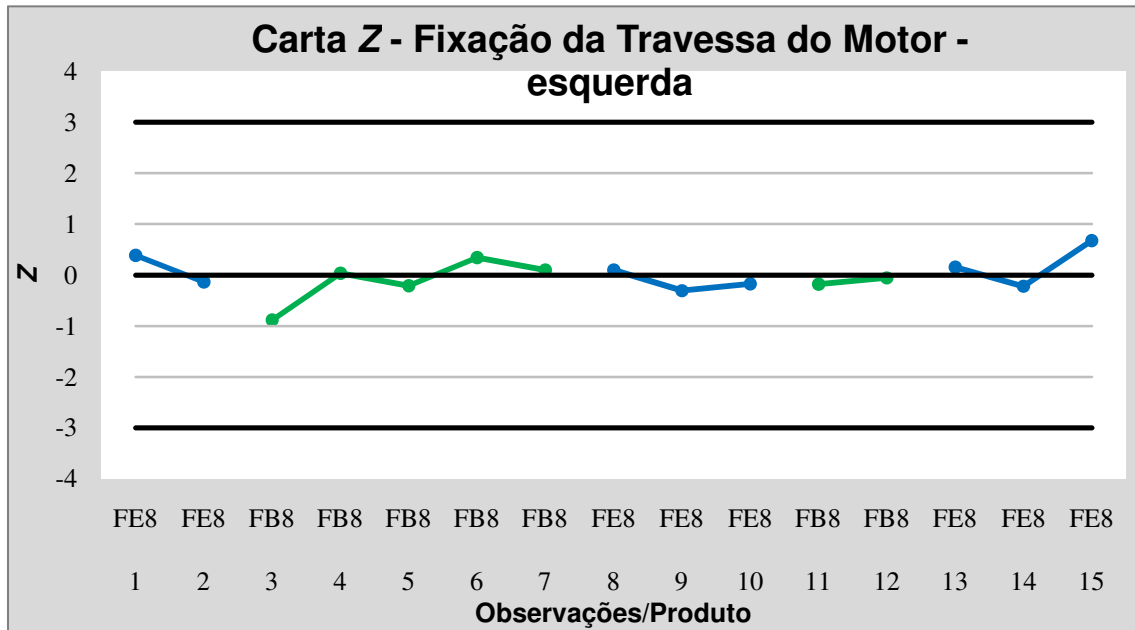


FIGURA IV. 23 - CARTA Z PARA A FIXAÇÃO DA TRAVESSA DO MOTOR - ESQUERDA

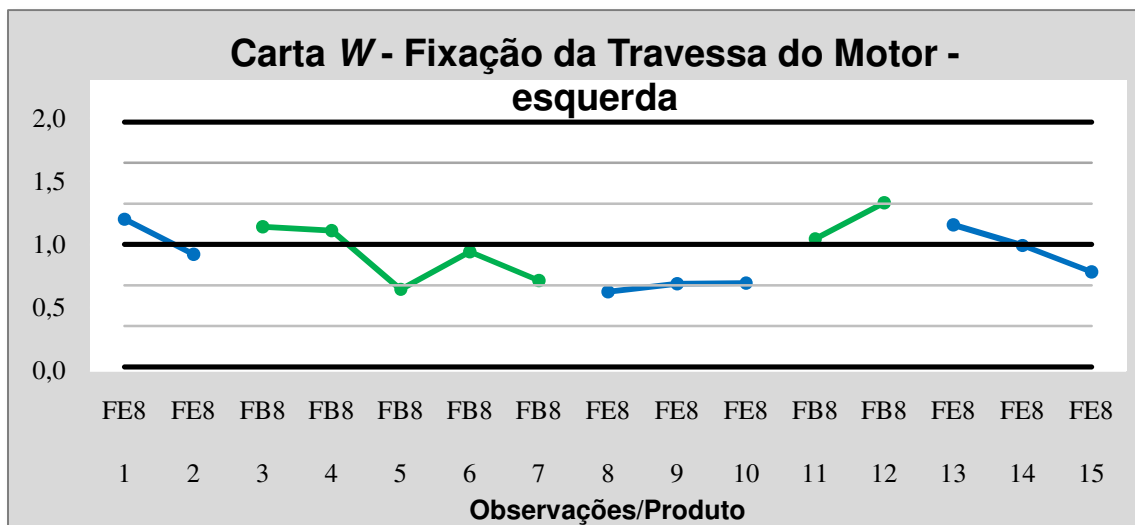


FIGURA IV. 24 - CARTA W PARA A FIXAÇÃO DA TRAVESSA DO MOTOR - ESQUERDA

Carta Z e W para a Fixação da Travessa do Motor – Direita

Nº	Modelo	Data	$\bar{X}_i$	$S_i$	$\mu$	$\sigma$	$\sigma_{\bar{x}}$	Z	W
1	FE8	28-05-2009	109,133	0,698	109,200	0,544	0,517	-0,129	1,348
2	FE8	17-06-2009	108,650	0,547	109,200	0,544	0,517	-1,063	1,057
3	FB8	19-06-2009	108,967	0,585	109,080	0,616	0,586	-0,193	0,999
4	FB8	19-06-2009	109,267	0,463	109,080	0,616	0,586	0,318	0,790
5	FB8	19-06-2009	109,500	0,228	109,080	0,616	0,586	0,716	0,389
6	FB8	19-06-2009	109,117	0,581	109,080	0,616	0,586	0,063	0,991
7	FB8	19-06-2009	108,867	0,288	109,080	0,616	0,586	-0,364	0,490
8	FE8	24-06-2009	108,650	0,489	109,200	0,544	0,517	-1,063	0,945
9	FE8	24-06-2009	109,100	0,316	109,200	0,544	0,517	-0,193	0,611
10	FE8	24-06-2009	109,167	0,216	109,200	0,544	0,517	-0,064	0,418
11	FB8	24-06-2009	109,417	0,719	109,080	0,616	0,586	0,574	1,227
12	FB8	25-06-2009	108,817	0,538	109,080	0,616	0,586	-0,449	0,918
13	FE8	25-06-2009	108,733	0,383	109,200	0,544	0,517	-0,902	0,740
14	FE8	25-06-2009	109,167	0,505	109,200	0,544	0,517	-0,064	0,975
15	FE8	25-06-2009	109,083	0,567	109,200	0,544	0,517	-0,225	1,096

TABELA I. 12 - TABELA AUXILIAR PARA A CONSTRUÇÃO DAS CARTAS Z E W DA FIXAÇÃO DA TRAVESSA DO MOTOR – DIREITA

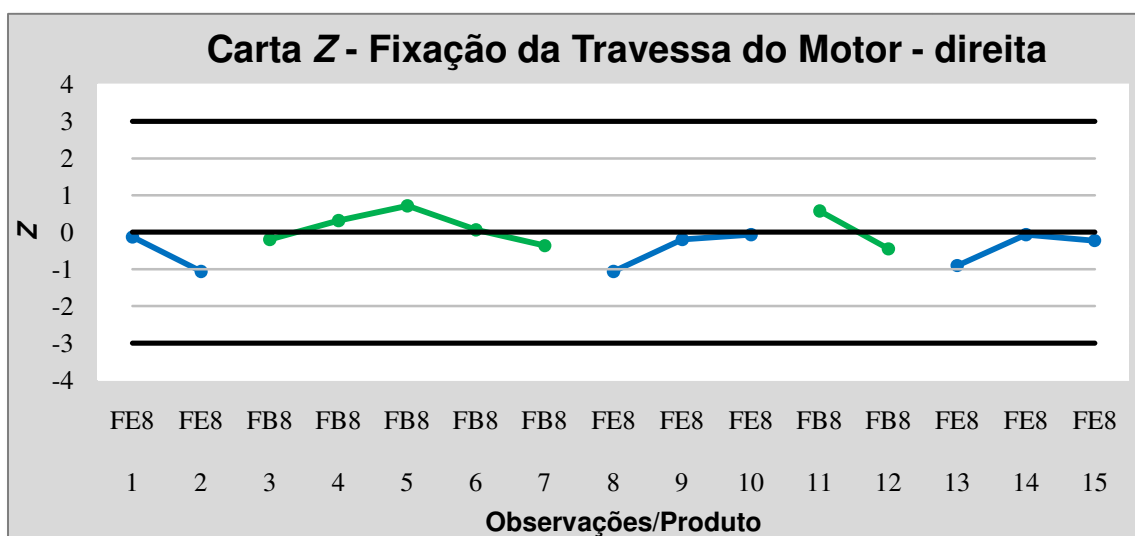


FIGURA IV. 25 - CARTA Z PARA A FIXAÇÃO DA TRAVESSA DO MOTOR – DIREITA

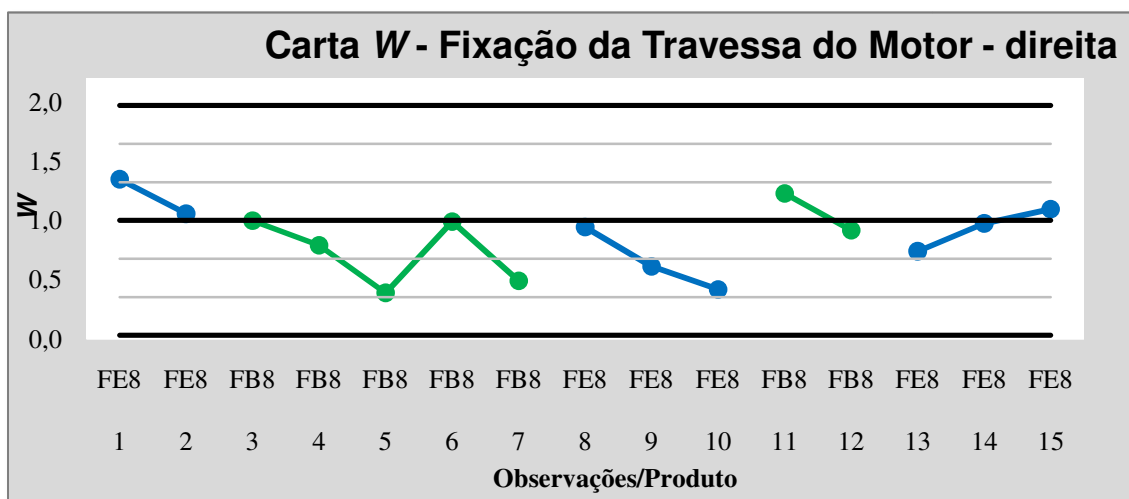


FIGURA IV. 26 - CARTA W PARA A FIXAÇÃO DA TRAVESSA DO MOTOR - DIREITA

Suporte de Amortecedores

LIC<sub>Z</sub> = -3  
 LC<sub>Z</sub> = 0  
 LSC<sub>Z</sub> = 3

LIC<sub>W</sub> = 0  
 LC<sub>W</sub> = 1  
 LSC<sub>W</sub> = 2,266

LIE = 98 N.m  
 LSE = 117,6 N.m

Cartas Z e W para o Suporte de Amortecedores – Esquerda

Nº	Modelo	Data	$\bar{X}_i$	$S_i$	$\mu$	$\sigma$	$\sigma_{\bar{x}}$	Z	W
1	FE8	28-05-2009	108,650	0,870	108,890	0,596	0,549	-0,437	1,584
2	FE8	17-06-2009	108,800	0,572	108,890	0,596	0,549	-0,164	1,040
3	FB8	19-06-2009	109,225	0,885	109,010	0,606	0,558	0,385	1,584
4	FB8	19-06-2009	108,675	0,785	109,010	0,606	0,558	-0,600	1,405
5	FB8	19-06-2009	109,100	0,542	109,010	0,606	0,558	0,161	0,970
6	FB8	19-06-2009	108,550	0,500	109,010	0,606	0,558	-0,824	0,896
7	FB8	19-06-2009	109,300	0,707	109,010	0,606	0,558	0,519	1,266
8	FE8	24-06-2009	109,300	0,698	108,890	0,596	0,549	0,746	1,270
9	FE8	24-06-2009	109,500	0,920	108,890	0,596	0,549	1,110	1,675
10	FE8	24-06-2009	109,275	0,486	108,890	0,596	0,549	0,701	0,884
11	FE7	24-06-2009	108,900	0,400	109,060	0,606	0,559	-0,286	0,716
12	FE7	24-06-2009	108,925	0,519	109,060	0,606	0,559	-0,242	0,929
13	FE7	24-06-2009	109,225	0,525	109,060	0,606	0,559	0,295	0,940
14	FE7	24-06-2009	109,050	1,038	109,060	0,606	0,559	-0,018	1,857
15	FE7	24-06-2009	108,775	0,465	109,060	0,606	0,559	-0,510	0,832
16	FB8	24-06-2009	109,200	0,432	109,010	0,606	0,558	0,340	0,774
17	FB8	25-06-2009	109,075	0,479	109,010	0,606	0,558	0,116	0,857
18	FE8	25-06-2009	109,100	0,542	108,890	0,596	0,549	0,382	0,986
19	FE8	25-06-2009	109,675	0,629	108,890	0,596	0,549	1,429	1,145
20	FE8	25-06-2009	109,250	0,656	108,890	0,596	0,549	0,655	1,194
21	FE7	26-06-2009	109,275	0,574	109,060	0,606	0,559	0,385	1,027

TABELA IV. 13 - TABELA AUXILIAR PARA A CONSTRUÇÃO DAS CARTAS Z E W DO SUPORTE DE AMORTECEDORES - ESQUERDA

Carta Z e W para o Suporte de Amortecedores – Direita

Nº	Modelo	Data	$\bar{X}_i$	$S_i$	$\mu$	$\sigma$	$\sigma_{\bar{x}}$	Z	W
1	FE8	28-05-2009	109,475	0,665	109,100	0,611	0,562	0,667	1,183
2	FE8	17-06-2009	108,750	0,265	109,100	0,611	0,562	-0,622	0,470
3	FB8	19-06-2009	109,150	0,507	109,100	0,559	0,515	0,097	0,983
4	FB8	19-06-2009	109,150	0,635	109,100	0,559	0,515	0,097	1,232
5	FB8	19-06-2009	109,375	0,350	109,100	0,559	0,515	0,534	0,679
6	FB8	19-06-2009	109,200	0,200	109,100	0,559	0,515	0,194	0,388
7	FB8	19-06-2009	109,200	0,976	109,100	0,559	0,515	0,194	1,894
8	FE8	24-06-2009	109,275	0,727	109,100	0,611	0,562	0,311	1,293
9	FE8	24-06-2009	109,725	1,190	109,100	0,611	0,562	1,111	2,115
10	FE8	24-06-2009	109,200	0,688	109,100	0,611	0,562	0,178	1,223
11	FE7	24-06-2009	109,150	0,858	109,000	0,551	0,508	0,295	1,690
12	FE7	24-06-2009	108,900	0,400	109,000	0,551	0,508	-0,197	0,788
13	FE7	24-06-2009	109,275	0,741	109,000	0,551	0,508	0,542	1,459
14	FE7	24-06-2009	108,925	0,768	109,000	0,551	0,508	-0,148	1,512
15	FE7	24-06-2009	108,600	0,668	109,000	0,551	0,508	-0,788	1,316
16	FB8	24-06-2009	109,625	0,943	109,100	0,559	0,515	1,019	1,830
17	FB8	25-06-2009	108,750	0,885	109,100	0,559	0,515	-0,679	1,717
18	FE8	25-06-2009	109,375	0,350	109,100	0,611	0,562	0,489	0,622
19	FE8	25-06-2009	109,000	0,476	109,100	0,611	0,562	-0,178	0,846
20	FE8	25-06-2009	108,775	0,624	109,100	0,611	0,562	-0,578	1,109
21	FE7	26-06-2009	108,950	0,666	109,000	0,551	0,508	-0,098	1,311

TABELA IV. 14 - TABELA AUXILIAR PARA A CONSTRUÇÃO DAS CARTAS Z E W DO SUPORTE DE AMORTECEDORES - DIREITA

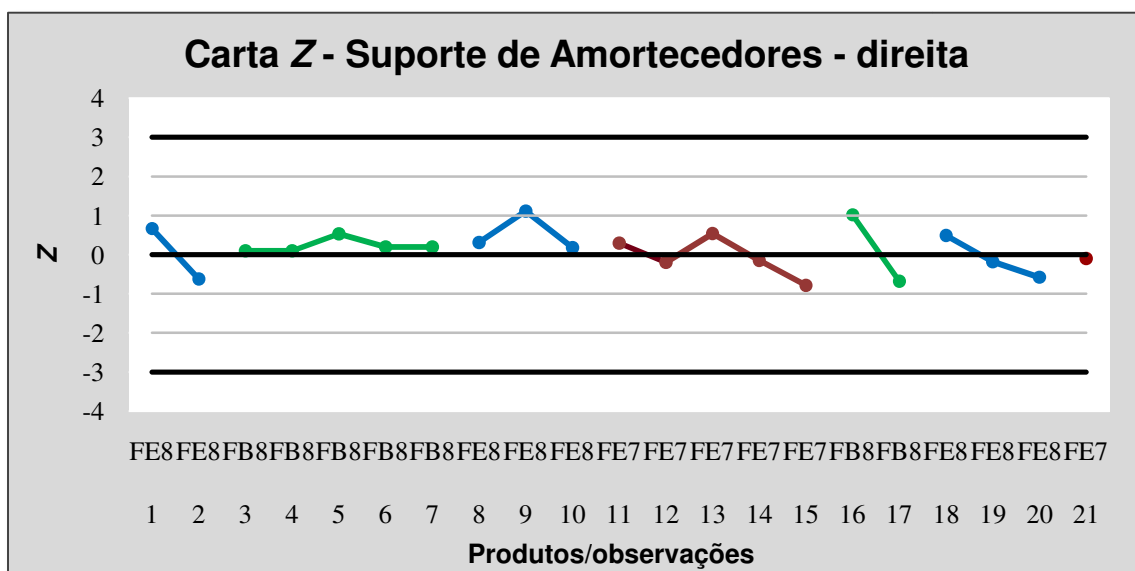


FIGURA IV. 27 - CARTA Z PARA O SUPORTE DE AMORTECEDORES - DIREITA

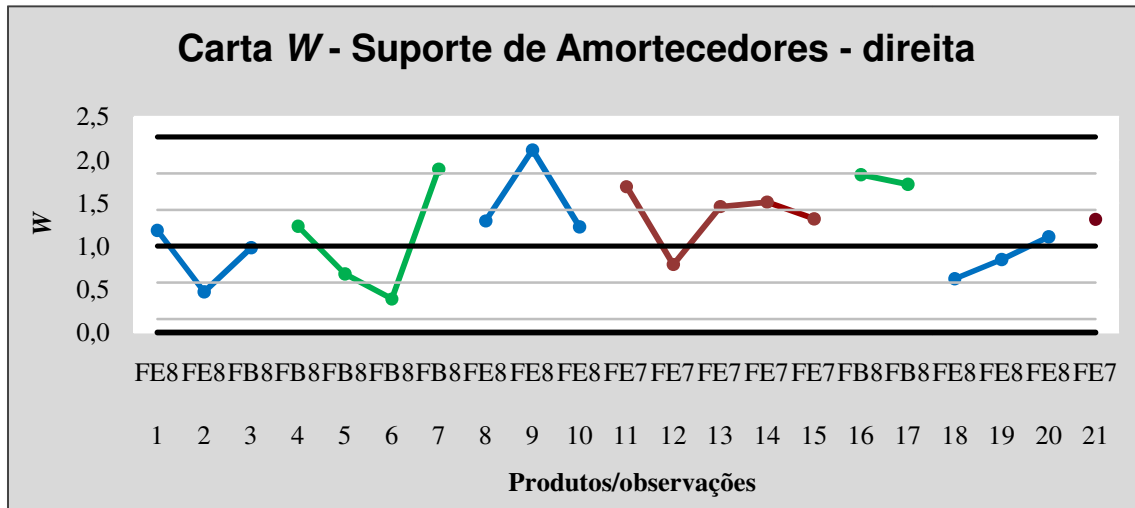


FIGURA IV. 28 - CARTA W PARA O SUPORTE DE AMORTECEDORES - DIREITA

Suporte de Amortecedores com o cálculo dos Índices de Capacidade

- $r = m + 1$ , onde para o modelo FE7:  $m = 30$  para o suporte de amortecedores – esquerda e  $m = 29$  para o suporte de amortecedores – direita.

Carta Z para o suporte de amortecedores – esquerda com cálculo dos índices de capacidade para o modelo FE7

Nº	Modelo	$\bar{X}_i$	$S_i$	$\mu$	$\sigma$	$\sigma_{\bar{x}}$	Z	r	$\mu_r$	$S_r$	$Z_I$	$Z_S$
1	FE8	108,650	0,870	108,890	0,596	0,549	-0,437					
2	FE8	108,800	0,572	108,890	0,596	0,549	-0,164					
3	FB8	109,225	0,885	109,010	0,606	0,558	0,385					
4	FB8	108,675	0,785	109,010	0,606	0,558	-0,600					
5	FB8	109,100	0,542	109,010	0,606	0,558	0,161					
6	FB8	108,550	0,500	109,010	0,606	0,558	-0,824					
7	FB8	109,300	0,707	109,010	0,606	0,558	0,519					
8	FE8	109,300	0,698	108,890	0,596	0,549	0,746					
9	FE8	109,500	0,920	108,890	0,596	0,549	1,110					
10	FE8	109,275	0,486	108,890	0,596	0,549	0,701					
11	FE7	108,900	0,400	109,060	0,606	0,559	-0,286	31	109,055	0,554	-13,835	10,694
12	FE7	108,925	0,519	109,060	0,606	0,559	-0,242	32	109,051	0,552	-13,857	10,720
13	FE7	109,225	0,525	109,060	0,606	0,559	0,295	33	109,056	0,552	-13,884	10,730
14	FE7	109,050	1,038	109,060	0,606	0,559	-0,018	34	109,056	0,566	-13,534	10,459
15	FE7	108,775	0,465	109,060	0,606	0,559	-0,510	35	109,048	0,563	-13,593	10,523
16	FB8	109,200	0,432	109,010	0,606	0,558	0,340					
17	FB8	109,075	0,479	109,010	0,606	0,558	0,116					
18	FE8	109,100	0,542	108,890	0,596	0,549	0,382					
19	FE8	109,675	0,629	108,890	0,596	0,549	1,429					
20	FE8	109,250	0,656	108,890	0,596	0,549	0,655					
21	FE7	109,275	0,574	109,060	0,606	0,559	0,385	36	109,054	0,563	-13,594	10,509

TABELA IV. 15 – TABELA AUXILIAR À CONSTRUÇÃO DA CARTA Z PARA O SUPORTE DE AMORTECEDORES - ESQUERDA COM OS ÍNDICES DE CAPACIDADE PARA O MODELO FE7

Carta Z para o suporte de amortecedores – direita com cálculo dos índices de capacidade para o modelo FE7

Nº	Modelo	$\bar{X}_i$	$S_i$	$\mu$	$\sigma$	$\sigma_{\bar{x}}$	Z	r	$\mu_r$	$S_r$	$Z_I$	$Z_S$
1	FE8	109,475	0,665	109,100	0,611	0,562	0,667					
2	FE8	108,750	0,265	109,100	0,611	0,562	-0,622					
3	FB8	109,150	0,507	109,100	0,559	0,515	0,097					
4	FB8	109,150	0,635	109,100	0,559	0,515	0,097					
5	FB8	109,375	0,350	109,100	0,559	0,515	0,534					
6	FB8	109,200	0,200	109,100	0,559	0,515	0,194					
7	FB8	109,200	0,976	109,100	0,559	0,515	0,194					
8	FE8	109,275	0,727	109,100	0,611	0,562	0,311					
9	FE8	109,725	1,190	109,100	0,611	0,562	1,111					
10	FE8	109,200	0,688	109,100	0,611	0,562	0,178					
11	FE7	109,150	0,858	109,000	0,551	0,508	0,295	30	109,005	0,519	-14,675	11,72808
12	FE7	108,900	0,400	109,000	0,551	0,508	-0,197	31	109,002	0,516	-14,780	11,82029
13	FE7	109,275	0,741	109,000	0,551	0,508	0,542	32	109,010	0,523	-14,592	11,64964
14	FE7	108,925	0,768	109,000	0,551	0,508	-0,148	33	109,008	0,530	-14,385	11,4899
15	FE7	108,600	0,668	109,000	0,551	0,508	-0,788	34	108,996	0,534	-14,260	11,41798
16	FB8	109,625	0,943	109,100	0,559	0,515	1,019					
17	FB8	108,750	0,885	109,100	0,559	0,515	-0,679					
18	FE8	109,375	0,350	109,100	0,611	0,562	0,489					
19	FE8	109,000	0,476	109,100	0,611	0,562	-0,178					
20	FE8	108,775	0,624	109,100	0,611	0,562	-0,578					
21	FE7	108,950	0,666	109,000	0,551	0,508	-0,098	35	108,994	0,538	-14,158	11,3398

TABELA IV. 16 – TABELA AUXILIAR À CONSTRUÇÃO DA CARTA Z PARA O SUPORTE DE AMORTECEDORES - DIREITA COM OS ÍNDICES DE CAPACIDADE PARA O MODELO FE7

## IV.2 - Fixação da Travessa do Motor (modelo FE7)

$$LIC_{Q(X)} = LIC_{Q(MR)} = -3$$

$$LC_{Q(X)} = LC_{Q(MR)} = 0$$

$$LSC_{Q(X)} = LSC_{Q(MR)} = 3$$

$$LIE = 98 \text{ N.m}$$

$$LSE = 117,6 \text{ N.m}$$

Fixação RR da travessa do motor

Lado Esquerdo – Carta  $Q(X)$ 

Nº	r	Data	RR	MR	$\bar{X}_r$	$S_r$	$Q_r(X)_r$	$Q_I$	$Q_S$
1	1	29-04-2009	131,5		131,500				
2	2	29-04-2009	132,5	1	132,000	0,707			
3	3	29-04-2009	130,9	1,6	131,633	0,808	-0,798	-17,998	15,141
4	4	29-04-2009	130,5	0,4	131,350	0,870	-0,937	-17,161	14,852
5	5	29-04-2009	131,1	0,6	131,300	0,762	-0,236	-19,953	17,354
6	6	29-04-2009	130,3	0,8	131,133	0,794	-1,043	-19,218	16,996
7	7	29-04-2009	131,5	1,2	131,186	0,738	0,403	-20,901	18,388
8	8	29-04-2009	131,4	0,1	131,213	0,688	0,260	-22,597	19,827
9	9	29-04-2009	132,6	1,2	131,367	0,792	1,651	-19,842	17,143
10	10	29-04-2009	131,7	0,9	131,400	0,754	0,385	-20,944	18,035
11	11	11-05-2009	131,4	0,3	131,400	0,716	0,000	-22,139	19,064
12	12	11-05-2009	131,7	0,3	131,425	0,688	0,390	-23,113	19,853
13	13	11-05-2009	132,2	0,5	131,485	0,693	1,032	-23,054	19,685
14	14	11-05-2009	139,5	7,3	132,057	2,243	5,311		
15	14	11-05-2009	131,5	0,7	131,486	0,665	0,021	-24,036	20,521
16	15	11-05-2009	131,7	0,2	131,500	0,644	0,305	-24,900	21,228
17	16	11-05-2009	131,4	0,3	131,494	0,644	-0,148	-24,903	21,244
18	17	11-05-2009	130,6	0,8	131,441	0,681	-1,286	-23,539	20,186
19	18	12-05-2009	130,7	0,1	131,400	0,706	-1,025	-22,682	19,532
20	19	12-05-2009	132,3	1,6	131,447	0,709	1,197	-22,640	19,403
21	20	12-05-2009	132,1	0,2	131,480	0,690	0,875	-23,317	19,919
22	21	12-05-2009	131,2	0,9	131,467	0,666	-0,390	-24,158	20,664
23	22	12-05-2009	131,3	0,1	131,459	0,647	-0,241	-24,880	21,298
24	23	12-05-2009	132,9	1,6	131,522	0,741	2,045	-21,783	18,530
25	24	12-05-2009	133,3	0,4	131,596	0,860	2,194	-18,845	15,912
26	25	12-05-2009	132,9	0,4	131,648	0,860	1,436	-18,897	15,874
27	26	28-05-2009	132	0,9	131,662	0,745	0,396	-21,835	18,316
28	27	28-05-2009	132,2	0,2	131,681	0,678	0,698	-24,039	20,125
29	28	23-06-2009	132,4	0,2	131,707	0,704	1,020	-23,198	19,371
30	29	23-06-2009	132,6	0,2	131,738	0,735	1,218	-22,242	18,515
31	30	24-06-2009	131,7	0,9	131,737	0,704	-0,050	-23,244	19,352
32	31	24-06-2009	131,5	0,2	131,729	0,644	-0,328	-25,405	21,167
33	32	24-06-2009	131,9	0,4	131,734	0,650	0,259	-25,164	20,955
34	33	24-06-2009	130,1	1,8	131,685	0,746	-2,346	-21,897	18,325
35	34	24-06-2009	132,3	2,2	131,703	0,771	0,802	-21,205	17,714
36	35	26-06-2009	132,4	0,1	131,723	0,710	0,879	-23,042	19,210

TABELA IV. 17 - TABELA AUXILIAR PARA A CONSTRUÇÃO DA CARTA  $Q(X)$  DA FIXAÇÃO RR - ESQUERDA

Lado Esquerdo – Carta  $Q(MR)$ 

Nº	$r$	Data	RR	MR	gl	$\theta$	F	$Q_r(MR)_r$
1	1	29-04-2009	131,5					
2	2	29-04-2009	132,5	1				
3	3	29-04-2009	130,9	1,6				
4	4	29-04-2009	130,5	0,4	1	0,160	0,242	-0,699
5	5	29-04-2009	131,1	0,6				
6	6	29-04-2009	130,3	0,8	2	1,103	0,596	0,244
7	7	29-04-2009	131,5	1,2				
8	8	29-04-2009	131,4	0,1	3	0,017	0,095	-1,313
9	9	29-04-2009	132,6	1,2				
10	10	29-04-2009	131,7	0,9	4	1,790	0,748	0,668
11	11	11-05-2009	131,4	0,3				
12	12	11-05-2009	131,7	0,3	5	0,172	0,304	-0,512
13	13	11-05-2009	132,2	0,5				
14	14	11-05-2009	139,5	7,3	6	117,985	1	3,969
15	14	11-05-2009	131,5	0,7	6	1,085	0,662	0,419
16	15	11-05-2009	131,7	0,2				
17	16	11-05-2009	131,4	0,3	7	0,197	0,329	-0,442
18	17	11-05-2009	130,6	0,8				
19	18	12-05-2009	130,7	0,1	8	0,024	0,120	-1,175
20	19	12-05-2009	132,3	1,6				
21	20	12-05-2009	132,1	0,2	9	0,109	0,251	-0,671
22	21	12-05-2009	131,2	0,9				
23	22	12-05-2009	131,3	0,1	10	0,030	0,134	-1,108
24	23	12-05-2009	132,9	1,6				
25	24	12-05-2009	133,3	0,4	11	0,525	0,516	0,041
26	25	12-05-2009	132,9	0,4				
27	26	28-05-2009	132	0,9	12	0,094	0,235	-0,721
28	27	28-05-2009	132,2	0,2				
29	28	23-06-2009	132,4	0,2	13	0,005	0,055	-1,596
30	29	23-06-2009	132,6	0,2				
31	30	24-06-2009	131,7	0,9	14	0,109	0,253	-0,664
32	31	24-06-2009	131,5	0,2				
33	32	24-06-2009	131,9	0,4	15	0,023	0,118	-1,185
34	33	24-06-2009	130,1	1,8				
35	34	24-06-2009	132,3	2,2	16	0,735	0,596	0,243
36	35	26-06-2009	132,4	0,1				

TABELA IV. 18 - TABELA AUXILIAR PARA A CONSTRUÇÃO DA CARTA  $Q(MR)$  DA FIXAÇÃO RR - ESQUERDA

Lado Direito – Carta  $Q(X)$ 

Nº	$r$	Data	RR	MR	$\bar{X}_r$	$S_r$	$Q_r(X)_r$	$Q_I$	$Q_s$
1	1	29-04-2009	127,3		127,300				
2	2	29-04-2009	128,5	1,2	127,900	0,849			
3	3	29-04-2009	128,1	0,4	127,967	0,611	0,152	-19,811	24,028
4	4	29-04-2009	129,6	1,5	128,375	0,957	1,452	-13,445	15,653
5	5	29-04-2009	128,4	1,2	128,380	0,829	0,022	-15,843	18,435
6	6	29-04-2009	127,9	0,5	128,300	0,767	-0,489	-17,260	20,245
7	7	29-04-2009	128,7	0,8	128,357	0,716	0,454	-18,692	21,800
8	8	29-04-2009	128,3	0,4	128,350	0,663	-0,072	-20,291	23,681
9	9	29-04-2009	129,2	0,9	128,444	0,682	1,112	-19,920	23,031
10	10	29-04-2009	128,2	1,0	128,420	0,648	-0,328	-21,024	24,366
11	11	11-05-2009	128,9	0,7	128,464	0,631	0,678	-21,681	25,019
12	12	11-05-2009	129,0	0,1	128,508	0,622	0,781	-22,125	25,417
13	13	11-05-2009	128,4	0,6	128,500	0,596	-0,164	-23,112	26,573
14	14	11-05-2009	128,2	0,2	128,479	0,578	-0,473	-23,835	27,462
15	15	11-05-2009	127,4	0,8	128,407	0,623	-1,671	-22,067	25,610
16	16	11-05-2009	128,5	1,1	128,413	0,602	0,142	-22,860	26,514
17	17	11-05-2009	128,0	0,5	128,388	0,591	-0,649	-23,263	27,047
18	18	11-05-2009	129,0	1,0	128,422	0,592	0,975	-23,319	27,020
19	19	12-05-2009	129,3	0,3	128,468	0,609	1,382	-22,721	26,206
20	20	12-05-2009	128,9	0,4	128,490	0,601	0,677	-23,084	26,567
21	21	12-05-2009	128,4	0,5	128,486	0,586	-0,144	-23,682	27,266
22	22	12-05-2009	128,6	0,2	128,491	0,572	0,188	-24,266	27,925
23	23	12-05-2009	128,6	0,0	128,496	0,560	0,184	-24,835	28,566
24	24	12-05-2009	128,3	0,3	128,488	0,549	-0,338	-25,328	29,157
25	25	12-05-2009	128,3	0,0	128,480	0,539	-0,331	-25,810	29,734
26	26	12-05-2009	128,8	0,5	128,492	0,531	0,575	-26,188	30,133
27	27	28-05-2009	128,3	0,5	128,485	0,522	-0,351	-26,640	30,674
28	28	28-05-2009	129,2	0,9	128,511	0,530	1,309	-26,296	30,201
29	29	23-06-2009	129,2	0,0	128,534	0,536	1,247	-26,045	29,842
30	30	23-06-2009	127,4	1,8	128,497	0,566	-1,989	-24,625	28,322
31	31	24-06-2009	130,7	3,3	128,568	0,683	3,417	-20,495	23,404
32	31	24-06-2009	129,3	1,9	128,523	0,575	1,362	-24,285	27,859
33	32	24-06-2009	127,4	1,9	128,488	0,599	-1,851	-23,257	26,772
34	33	24-06-2009	129,1	1,7	128,506	0,599	0,990	-23,281	26,751
35	34	24-06-2009	127,9	1,2	128,488	0,599	-0,981	-23,267	26,782
36	35	26-06-2009	128,3	0,4	128,483	0,591	-0,307	-23,581	27,158

TABELA IV. 19 - TABELA AUXILIAR PARA A CONSTRUÇÃO DA CARTA  $Q(X)$  DA FIXAÇÃO RR - DIREITA

Lado Direito – Carta  $Q(MR)$ 

Nº	$r$	Data	RR	MR	gl	$\theta$	F	$Q_r(MR)_r$
1	1	29-04-2009	127,3					
2	2	29-04-2009	128,5	1,2				
3	3	29-04-2009	128,1	0,4				
4	4	29-04-2009	129,6	1,5	1	1,562	0,570	0,178
5	5	29-04-2009	128,4	1,2				
6	6	29-04-2009	127,9	0,5	2	0,136	0,252	-0,669
7	7	29-04-2009	128,7	0,8				
8	8	29-04-2009	128,3	0,4	3	0,122	0,250	-0,675
9	9	29-04-2009	129,2	0,9				
10	10	29-04-2009	128,2	1	4	0,976	0,621	0,308
11	11	11-05-2009	128,9	0,7				
12	12	11-05-2009	129	0,1	5	0,010	0,075	-1,439
13	13	11-05-2009	128,4	0,6				
14	14	11-05-2009	128,2	0,2	6	0,047	0,164	-0,977
15	15	11-05-2009	127,4	0,8				
16	16	11-05-2009	128,5	1,1	7	1,645	0,759	0,705
17	17	11-05-2009	128	0,5				
18	18	11-05-2009	129	1	8	1,258	0,705	0,540
19	19	12-05-2009	129,3	0,3				
20	20	12-05-2009	128,9	0,4	9	0,196	0,331	-0,436
21	21	12-05-2009	128,4	0,5				
22	22	12-05-2009	128,6	0,2	10	0,053	0,178	-0,924
23	23	12-05-2009	128,6	0				
24	24	12-05-2009	128,3	0,3	11	0,131	0,276	-0,596
25	25	12-05-2009	128,3	0				
26	26	12-05-2009	128,8	0,5	12	0,392	0,457	-0,108
27	27	28-05-2009	128,3	0,5				
28	28	28-05-2009	129,2	0,9	13	1,333	0,731	0,616
29	29	23-06-2009	129,2	0				
30	30	23-06-2009	127,4	1,8	14	5,208	0,961	1,767
31	31	24-06-2009	130,7	3,3				
32	31	24-06-2009	129,3	1,9				
33	32	24-06-2009	127,4	1,9	15	4,531	0,950	1,642
34	33	24-06-2009	129,1	1,7				
35	34	24-06-2009	127,9	1,2	16	1,481	0,759	0,702
36	35	26-06-2009	128,3	0,4				

TABELA IV. 20 - TABELA AUXILIAR PARA A CONSTRUÇÃO DA CARTA  $Q(MR)$  DA FIXAÇÃO RR - DIREITA

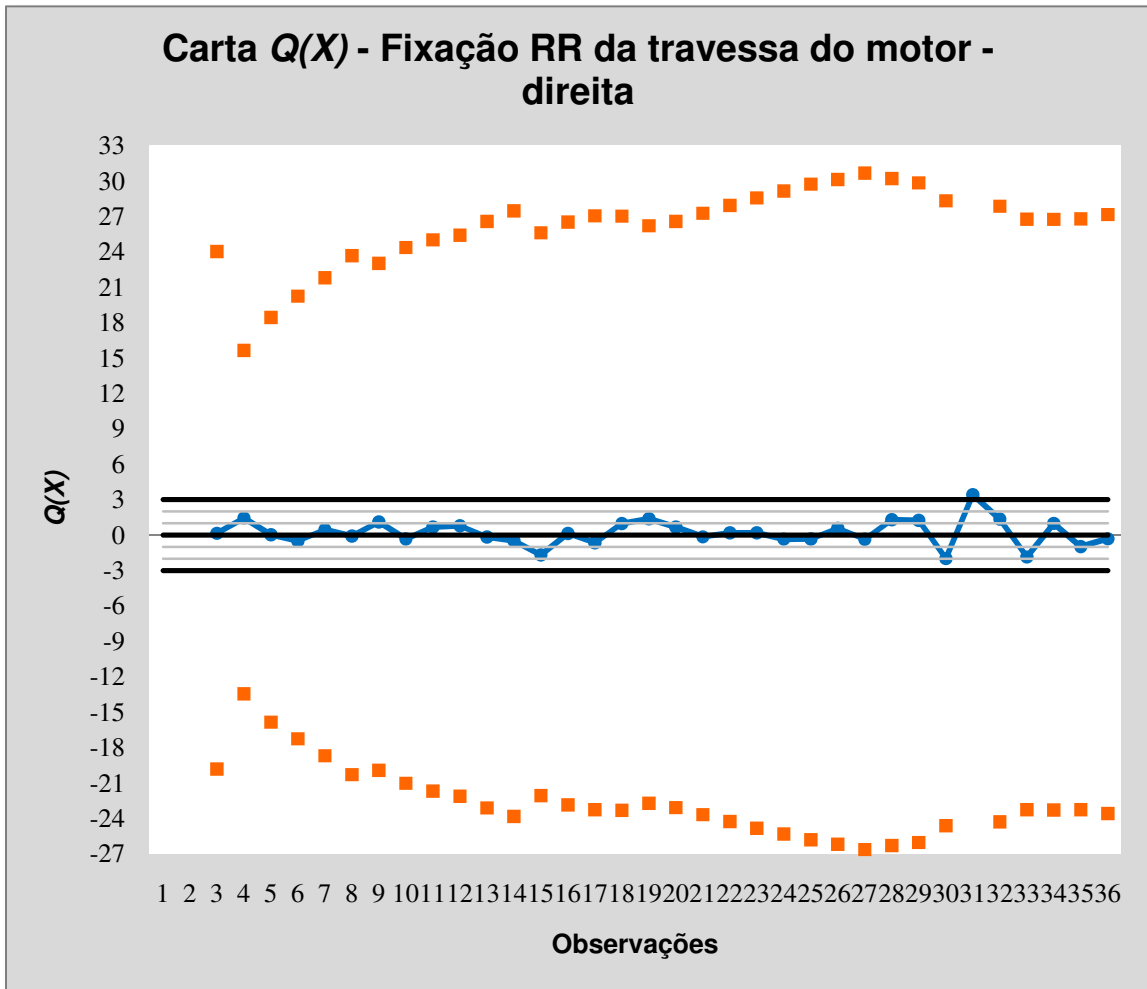


FIGURA IV. 29 – CARTA  $Q(X)$  PARA A FIXAÇÃO RR DA TRAVESSA DO MOTOR - DIREITA

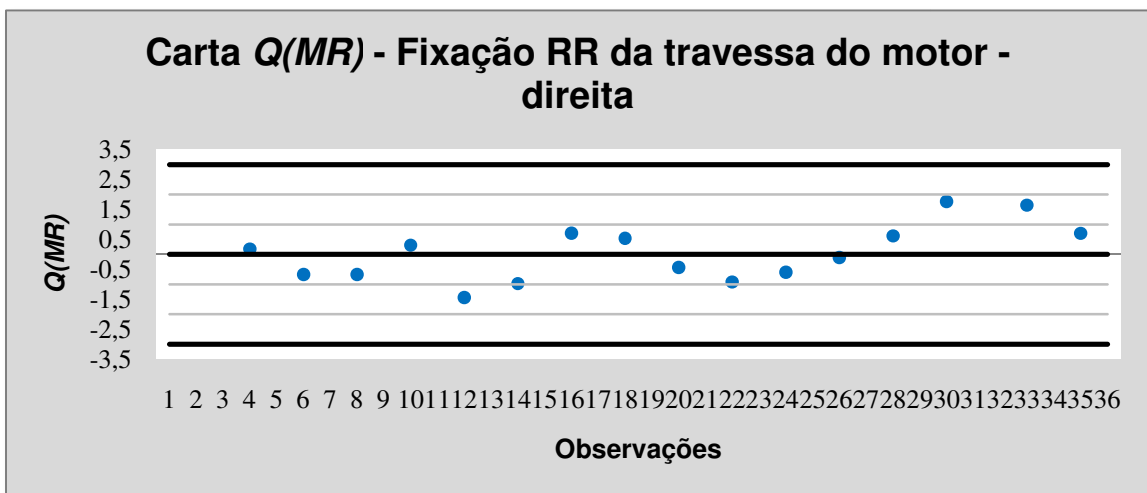


FIGURA IV. 30 – CARTA  $Q(MR)$  PARA A FIXAÇÃO RR DA TRAVESSA DO MOTOR - DIREITA

## Fixação FRT da travessa do motor

Lado Esquerdo – Carta  $Q(X)$ 

Nº	$r$	Data	FRT	MR	$\bar{X}_r$	$S_r$	$Q_r(X)_r$	$Q_l$	$Q_s$
1	1	29-04-2009	109,6		109,600				
2	2	29-04-2009	108,3	1,3	108,950	0,919			
3	3	29-04-2009	109,4	1,1	109,100	0,700	0,308	-17,991	9,995
4	4	29-04-2009	109	0,4	109,075	0,574	-0,109	-22,789	12,708
5	5	29-04-2009	109,2	0,2	109,100	0,500	0,179	-26,716	14,842
6	6	29-04-2009	108,1	1,1	108,933	0,606	-1,469	-22,133	12,602
7	7	29-04-2009	108,1	0	108,814	0,636	-1,130	-21,105	12,229
8	8	29-04-2009	109,4	1,3	108,888	0,624	0,803	-21,717	12,449
9	9	29-04-2009	108	1,4	108,789	0,655	-1,221	-20,693	12,035
10	10	29-04-2009	109,3	1,3	108,840	0,638	0,706	-21,366	12,333
11	11	11-05-2009	108,3	1	108,791	0,627	-0,771	-21,751	12,647
12	12	11-05-2009	109,1	0,8	108,817	0,604	0,458	-22,645	13,117
13	13	11-05-2009	110,3	1,2	108,931	0,710	2,076	-19,429	11,067
14	14	11-05-2009	108,3	2	108,886	0,703	-0,826	-19,617	11,248
15	15	11-05-2009	109,6	1,3	108,933	0,702	0,946	-19,718	11,227
16	16	11-05-2009	109,7	0,1	108,981	0,704	1,019	-19,714	11,146
17	17	11-05-2009	108,5	1,2	108,953	0,692	-0,647	-20,059	11,389
18	18	11-05-2009	108,6	0,1	108,933	0,676	-0,486	-20,517	11,682
19	19	12-05-2009	108,7	0,1	108,921	0,660	-0,330	-21,045	12,005
20	20	12-05-2009	108,1	0,6	108,880	0,668	-1,173	-20,758	11,912
21	21	12-05-2009	109	0,9	108,886	0,651	0,173	-21,301	12,214
22	22	12-05-2009	110,3	1,3	108,950	0,704	1,990	-19,801	11,247
23	23	12-05-2009	109,2	1,1	108,961	0,689	0,343	-20,231	11,473
24	24	12-05-2009	109	0,2	108,963	0,674	0,055	-20,697	11,734
25	25	12-05-2009	108,8		108,956	0,661	-0,233	-21,117	11,984
26	26	12-05-2009	109,3	0,5	108,969	0,651	0,504	-21,463	12,156
27	27	28-05-2009	109,9	0,6	109,004	0,663	1,363	-21,121	11,902
28	28	28-05-2009	108,5	1,4	108,986	0,658	-0,735	-21,283	12,025
29	29	23-06-2009	109,8	1,3	109,014	0,663	1,190	-21,141	11,896
30	30	23-06-2009	109,7	0,1	109,037	0,664	0,999	-21,161	11,867
31	31	24-06-2009	109,7	0	109,058	0,663	0,967	-21,203	11,853
32	32	24-06-2009	109,1	0,6	109,059	0,652	0,062	-21,559	12,049
33	33	24-06-2009	107,9	1,2	109,024	0,673	-1,695	-20,863	11,721
34	34	24-06-2009	109,7	1,8	109,044	0,673	0,974	-20,896	11,706
35	35	24-06-2009	108,8	0,9	109,037	0,664	-0,355	-21,167	11,869
36	36	26-06-2009	109,8	1	109,058	0,667	1,114	-21,110	11,800

TABELA IV. 21 - TABELA AUXILIAR PARA A CONSTRUÇÃO DA CARTA  $Q(X)$  DA FIXAÇÃO FRT - ESQUERDA

Lado Esquerdo – Carta  $Q(MR)$ 

Nº	r	Data	FRT	MR	gl	$\theta$	F	$Q_r(MR)_r$
1	1	29-04-2009	109,6					
2	2	29-04-2009	108,3	1,3				
3	3	29-04-2009	109,4	1,1				
4	4	29-04-2009	109	0,4	1	0,095	0,190	-0,878
5	5	29-04-2009	109,2	0,2				
6	6	29-04-2009	108,1	1,1	2	1,308	0,629	0,329
7	7	29-04-2009	108,1	0				
8	8	29-04-2009	109,4	1,3	3	1,657	0,712	0,558
9	9	29-04-2009	108	1,4				
10	10	29-04-2009	109,3	1,3	4	1,423	0,701	0,528
11	11	11-05-2009	108,3	1				
12	12	11-05-2009	109,1	0,8	5	0,497	0,488	-0,031
13	13	11-05-2009	110,3	1,2				
14	14	11-05-2009	108,3	2	6	3,390	0,885	1,199
15	15	11-05-2009	109,6	1,3				
16	16	11-05-2009	109,7	0,1	7	0,006	0,061	-1,545
17	17	11-05-2009	108,5	1,2				
18	18	11-05-2009	108,6	0,1	8	0,007	0,066	-1,509
19	19	12-05-2009	108,7	0,1				
20	20	12-05-2009	108,9	0,2	9	0,032	0,139	-1,085
21	21	12-05-2009	109	0,1				
22	22	12-05-2009	110,3	1,3	10	1,517	0,754	0,686
23	23	12-05-2009	109,2	1,1				
24	24	12-05-2009	109	0,2	11	0,034	0,144	-1,065
25	25	12-05-2009	108,8					
26	26	12-05-2009	109,3	0,5	12	0,233	0,362	-0,353
27	27	28-05-2009	109,9	0,6				
28	28	28-05-2009	108,5	1,4	13	1,942	0,813	0,890
29	29	23-06-2009	109,8	1,3				
30	30	23-06-2009	109,7	0,1	14	0,009	0,075	-1,437
31	31	24-06-2009	109,7	0				
32	32	24-06-2009	109,1	0,6	15	0,358	0,441	-0,147
33	33	24-06-2009	107,9	1,2				
34	34	24-06-2009	109,7	1,8	16	3,355	0,914	1,368
35	35	24-06-2009	108,8	0,9				
36	36	26-06-2009	109,8	1	17	1,000	0,669	0,436

TABELA IV. 22 - TABELA AUXILIAR PARA A CONSTRUÇÃO DA CARTA  $Q(MR)$  DA FIXAÇÃO FRT – ESQUERDA

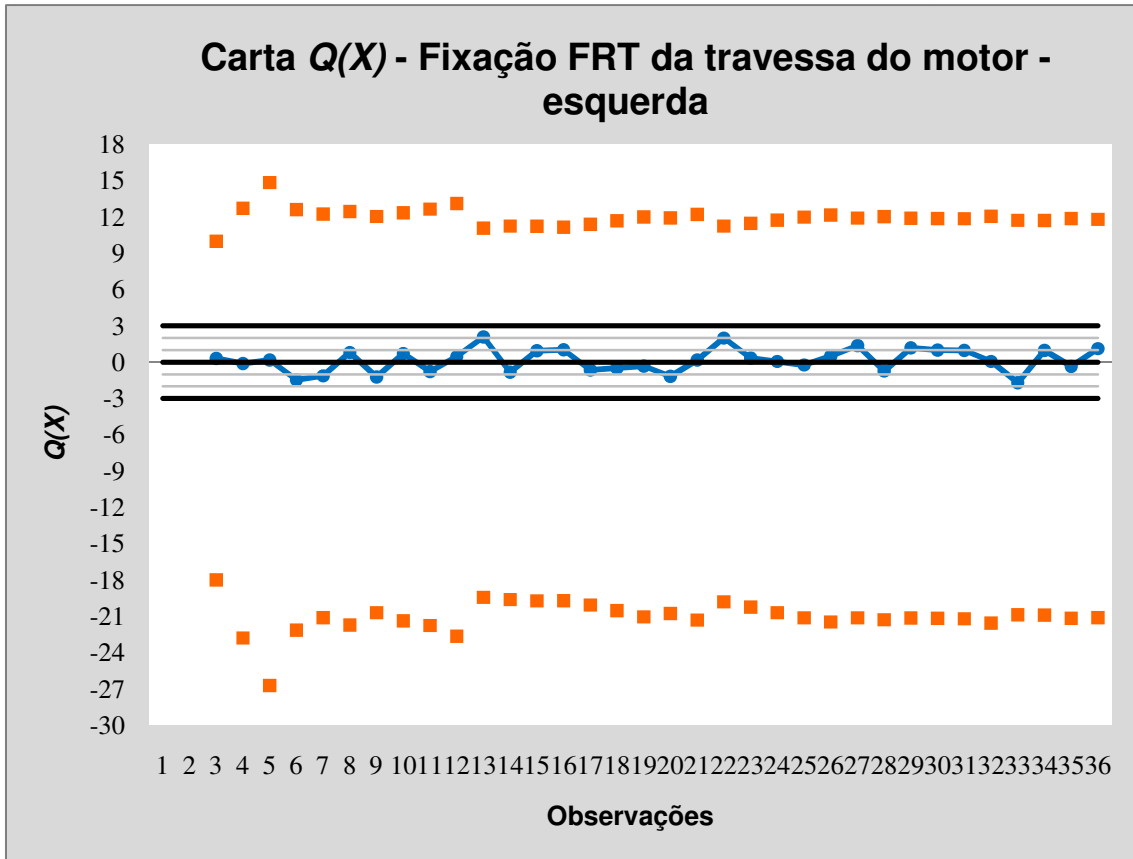


FIGURA IV. 31 - CARTA  $Q(X)$  PARA A FIXAÇÃO FRT DA TRAVESSA DO MOTOR – ESQUERDA

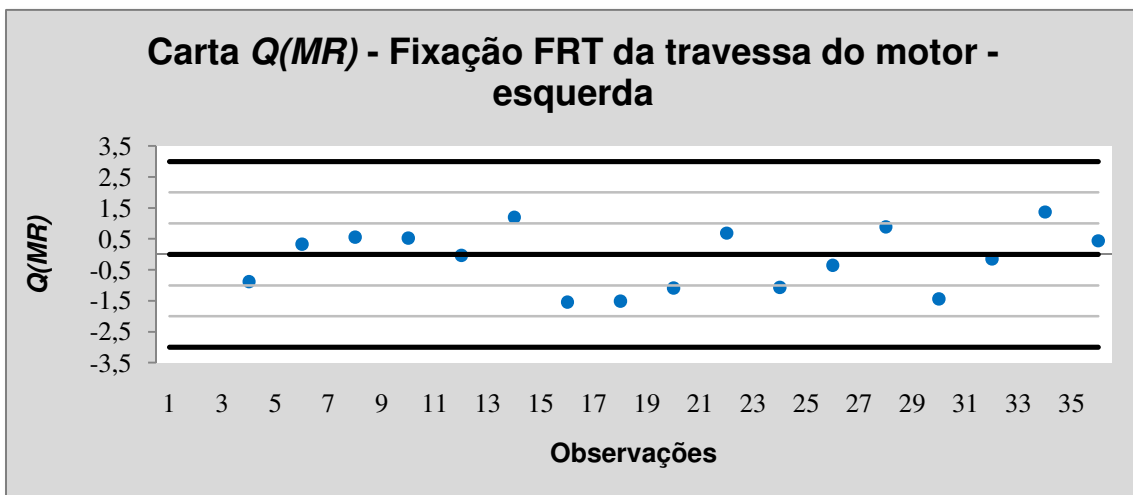


FIGURA IV. 32 - CARTA  $Q(MR)$  PARA A FIXAÇÃO FRT DA TRAVESSA DO MOTOR - ESQUERDA

Lado Direito – Carta  $Q(X)$ 

Nº	r	Data	FRT	MR	$\bar{X}_r$	$S_r$	$Q_r(X)_r$	$Q_l$	$Q_s$
1	1	29-04-2009	109,2		109,200				
2	2	29-04-2009	109,1	0,1	109,150	0,071			
3	3	29-04-2009	108,1	1	108,800	0,608	-1,940	-20,375	11,830
4	4	29-04-2009	108,6	0,5	108,750	0,507	-0,250	-25,363	14,835
5	5	29-04-2009	108,7	0,1	108,740	0,439	-0,081	-29,827	17,471
6	6	29-04-2009	109,7	1	108,900	0,555	1,568	-24,106	13,793
7	7	29-04-2009	109,1	0,6	108,929	0,512	0,316	-26,375	15,028
8	8	29-04-2009	108,9	0,2	108,925	0,474	-0,050	-28,642	16,329
9	9	29-04-2009	109,8	0,9	109,022	0,531	1,532	-25,834	14,518
10	10	29-04-2009	109,5	0,3	109,070	0,523	0,810	-26,392	14,727
11	11	11-05-2009	110,1	0,6	109,164	0,585	1,679	-23,763	13,077
12	12	11-05-2009	110,3	0,2	109,258	0,647	1,681	-21,641	11,743
13	13	11-05-2009	109	1,3	109,238	0,624	-0,374	-22,472	12,230
14	14	11-05-2009	109,1	0,1	109,229	0,601	-0,209	-23,371	12,738
15	15	11-05-2009	109	0,1	109,213	0,582	-0,360	-24,141	13,188
16	16	11-05-2009	110,3	1,3	109,281	0,624	1,685	-22,605	12,224
17	17	11-05-2009	109,7	0,6	109,306	0,613	0,636	-23,077	12,434
18	18	11-05-2009	108,3	1,4	109,250	0,640	-1,513	-22,051	11,980
19	19	12-05-2009	109,1	0,8	109,242	0,623	-0,225	-22,664	12,328
20	20	12-05-2009	108,7	0,4	109,215	0,618	-0,828	-22,817	12,462
21	21	12-05-2009	108,8	0,1	109,195	0,609	-0,643	-23,142	12,676
22	22	12-05-2009	109,7	0,9	109,218	0,604	0,793	-23,377	12,761
23	23	12-05-2009	109,3	0,4	109,222	0,591	0,131	-23,934	13,058
24	24	12-05-2009	108,6	0,7	109,196	0,592	-1,007	-23,882	13,080
25	25	12-05-2009	109,7	1,1	109,216	0,588	0,820	-24,069	13,143
26	26	12-05-2009	109,1	0,6	109,212	0,576	-0,191	-24,553	13,416
27	27	28-05-2009	109,4	0,3	109,219	0,566	0,317	-25,007	13,650
28	28	28-05-2009	109,1	0,3	109,214	0,556	-0,203	-25,466	13,909
29	29	23-06-2009	109	0,1	109,207	0,548	-0,375	-25,863	14,142
30	30	23-06-2009	109,5	0,5	109,217	0,541	0,520	-26,213	14,313
31	31	24-06-2009	109,6	0,1	109,229	0,536	0,688	-26,465	14,424
32	32	24-06-2009	109,4	0,2	109,234	0,528	0,311	-26,873	14,634
33	33	24-06-2009	109,2	0,2	109,233	0,520	-0,064	-27,307	14,873
34	34	24-06-2009	109	0,2	109,226	0,514	-0,438	-27,642	15,071
35	35	24-06-2009	108,1	0,9	109,194	0,541	-2,075	-26,222	14,365
36	36	26-06-2009	109,6	1,5	109,206	0,537	0,732	-26,414	14,446

TABELA IV. 23 - TABELA AUXILIAR PARA A CONSTRUÇÃO DA CARTA  $Q(X)$  DA FIXAÇÃO FRT - DIREITA

Lado Direito – Carta  $Q(MR)$ 

Nº	r	Data	FRT	MR	gl	$\theta$	F	$Q_r(MR)_r$
1	1	29-04-2009	109,2					
2	2	29-04-2009	109,1	0,1				
3	3	29-04-2009	108,1	1				
4	4	29-04-2009	108,6	0,5	1	25,000	0,874	1,147
5	5	29-04-2009	108,7	0,1				
6	6	29-04-2009	109,7	1	2	7,692	0,891	1,231
7	7	29-04-2009	109,1	0,6				
8	8	29-04-2009	108,9	0,2	3	0,095	0,222	-0,765
9	9	29-04-2009	109,8	0,9				
10	10	29-04-2009	109,5	0,3	4	0,277	0,373	-0,323
11	11	11-05-2009	110,1	0,6				
12	12	11-05-2009	110,3	0,2	5	0,144	0,280	-0,583
13	13	11-05-2009	109	1,3				
14	14	11-05-2009	109,1	0,1	6	0,042	0,156	-1,013
15	15	11-05-2009	109	0,1				
16	16	11-05-2009	110,3	1,3	7	8,215	0,976	1,975
17	17	11-05-2009	109,7	0,6				
18	18	11-05-2009	108,3	1,4	8	5,010	0,944	1,593
19	19	12-05-2009	109,1	0,8				
20	20	12-05-2009	108,7	0,4	9	0,283	0,392	-0,273
21	21	12-05-2009	108,8	0,1				
22	22	12-05-2009	109,7	0,9	10	1,543	0,757	0,698
23	23	12-05-2009	109,3	0,4				
24	24	12-05-2009	108,6	0,7	11	0,889	0,634	0,343
25	25	12-05-2009	109,7	1,1				
26	26	12-05-2009	109,1	0,6	12	0,660	0,567	0,170
27	27	28-05-2009	109,4	0,3				
28	28	28-05-2009	109,1	0,3	13	0,169	0,313	-0,489
29	29	23-06-2009	109	0,1				
30	30	23-06-2009	109,5	0,5	14	0,500	0,509	0,022
31	31	24-06-2009	109,6	0,1				
32	32	24-06-2009	109,4	0,2	15	0,083	0,222	-0,764
33	33	24-06-2009	109,2	0,2				
34	34	24-06-2009	109	0,2	16	0,088	0,229	-0,742
35	35	24-06-2009	108,1	0,9				
36	36	26-06-2009	109,6	1,5	17	5,218	0,965	1,806

TABELA IV. 24 - TABELA AUXILIAR PARA A CONSTRUÇÃO DA CARTA  $Q(MR)$  DA FIXAÇÃO FRT - DIREITA

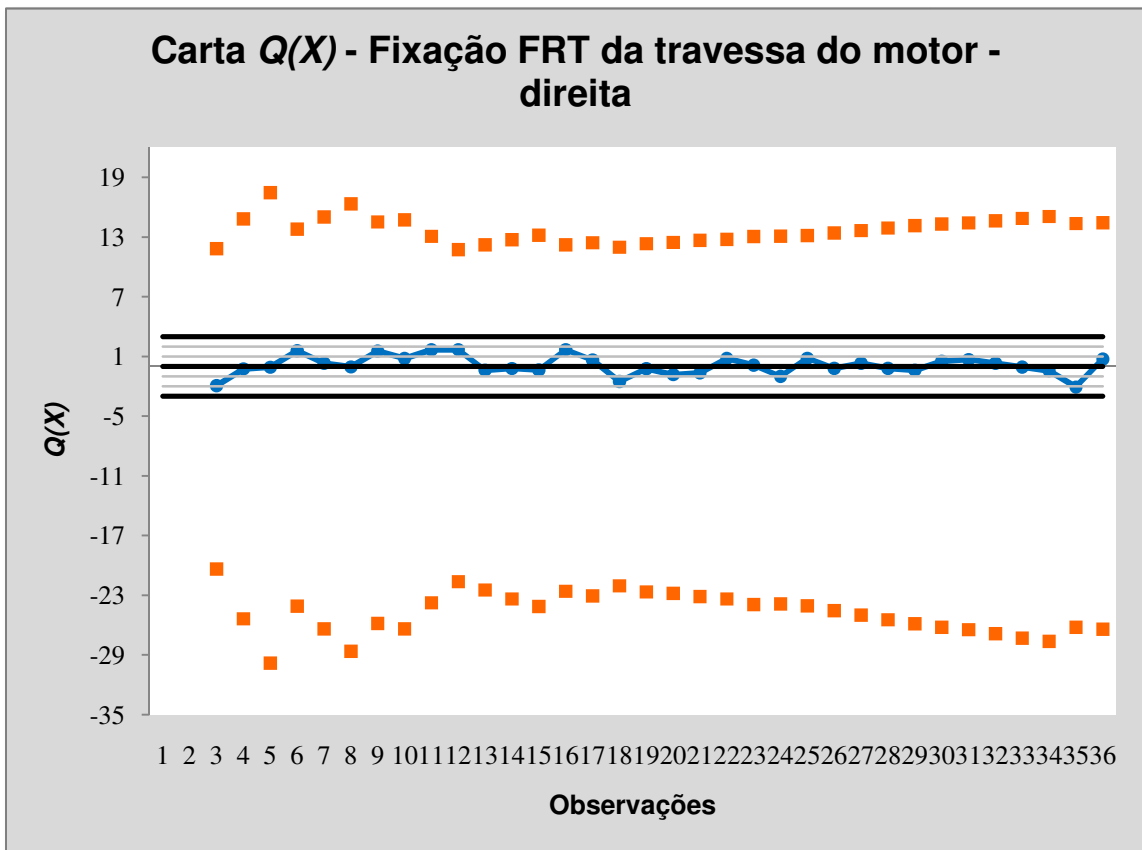


FIGURA IV. 33 - CARTA  $Q(X)$  PARA A FIXAÇÃO FRT DA TRAVESSA DO MOTOR - DIREITA

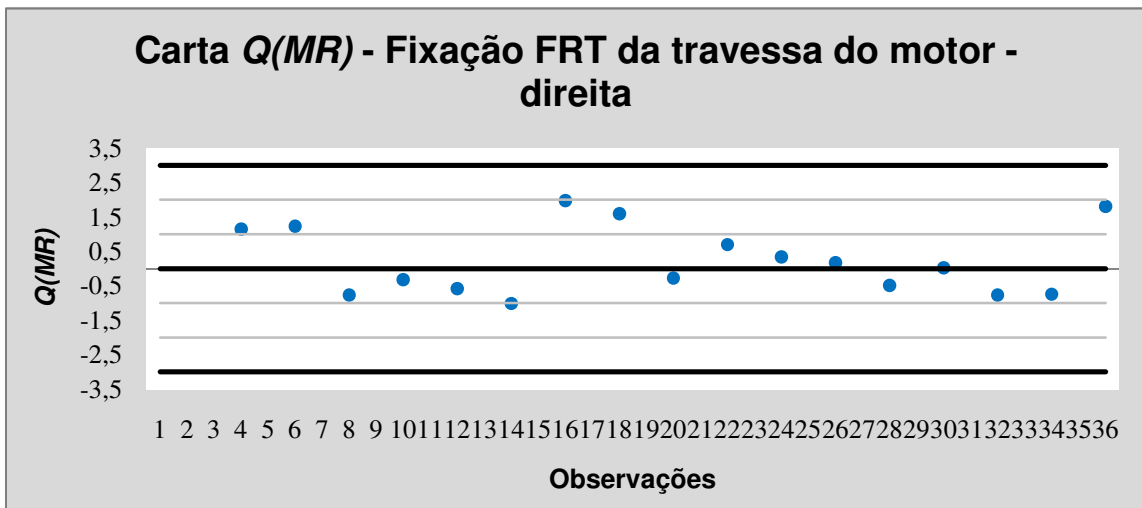


FIGURA IV. 34 - CARTA  $Q(MR)$  PARA A FIXAÇÃO FRT DA TRAVESSA DO MOTOR – DIREITA

## **Anexo V - Tabelas**

---

- Tabela para construção das cartas de controlo de variáveis

V.1 - Tabela para construção das cartas de controlo de variáveis

Tabela 1 – Factores para construção das cartas de controlo de variáveis

Dimensão Amostra n	Carta da Média					Carta do Desvio Padrão					Carta da Amplitude				
	Factores Limites Controlo					Factores Linha Central					Factores Limites Controlo				
	A	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	d <sub>2</sub>	c <sub>4</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>	d <sub>3</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	
2	2,121	1,001	2,659	1,120	0,7879	0	0,267	0	2,608	0,053	0	3,608	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	2,575	
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	2,115	
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	0,078	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	1,710	0,270	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	0,258	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	0,408	1,594	0,399	1,563	0,763	1,118	5,698	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	0,689	0,187	0,699	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	0,426	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	3,859	0,9887	0,545	1,455	0,539	1,439	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  $n > 25 \rightarrow A = \frac{3}{\sqrt{n}} \quad A_3 = \frac{3}{c_4 \sqrt{n}} \quad c_4 = \frac{4(n-1)}{4n-3}$

$B_3 = 1 - \frac{3\sqrt{1-c_4^2}}{c_4}$

$B_6 = 1 + \frac{3\sqrt{1-c_4^2}}{c_4}$

$B_5 = c_4 - 3\sqrt{1-c_4^2}$

$B_8 = c_4 + 3\sqrt{1-c_4^2}$