



**Flávia Cesar Teixeira Mendes**

**Gráfico de Controle EWMA para Não-Conformidades com  
Intervalo de Tempo entre Amostras Variável**

**Tese de Doutorado**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da PUC-Rio.

Orientador: Eugenio Kahn Epprecht

Rio de Janeiro, fevereiro de 2004



**Flávia Cesar Teixeira Mendes**

**Gráfico de Controle EWMA para Não-Conformidades com  
Intervalo de Tempo entre Amostras Variável**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Eugenio Kahn Epprecht**

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

**Prof. Linda Lee Ho**

USP-SP

**Prof. Maysa Sacramento de Magalhães**

ENCE/IBGE

**Prof. Antônio Fernando Branco Costa**

UNESP-SP

**Prof. Roberto Cintra Martins**

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador(a) Setorial do

Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 09 de fevereiro de 2004

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

### **Flávia Cesar Teixeira Mendes**

Graduada em Engenharia Química (1997 - PUC-Rio). Mestrado em Engenharia Industrial com Ênfase em Gerência de Produção (2000 - PUC-Rio), com a dissertação “Gráficos Adaptativos de Controle de Processo por Atributos”. Principal área de pesquisa: Controle Estatístico de Qualidade. Professora agregada do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio das disciplinas da Graduação em Engenharia de Produção: “Teoria da Probabilidade” (primeiro semestre de 2004) e “Controle de Qualidade” (a partir do segundo semestre de 2004).

#### Ficha Catalográfica

Mendes, Flávia Cesar Teixeira

Gráfico de controle EWMA para não-conformidades com intervalo de tempo entre amostras variável / Flávia Cesar Teixeira Mendes ; orientador: Eugenio Kahn Epprecht. - Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Engenharia Industrial, 2004.

137 f. : il. ; 30 cm

Tese (doutorado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia industrial - Teses. 2. Gráficos de controle de processo. 3. Controle estatístico de processos. 4. Atributos. 5. Gráficos adaptativos. 6. Intervalo de tempo entre amostras variável. 7. Parâmetros variáveis. I. Epprecht, Eugenio Kahn. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial.

CDD: 658.5

Para minha filha, Carolina.

## **Agradecimentos**

A meu marido, Carlos Augusto, pelo apoio, paciência e compreensão.

A meus pais, Rivoni e Lêda, pelo incentivo, dedicação e carinho de todas as horas.

Ao professor orientador Eugenio Kahn Epprecht, pelo aconselhamento preciso e precioso durante o trabalho.

À CAPES, à FAPERJ e à PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Aos professores que participaram da Comissão Examinadora.

A todos os professores e funcionários do Departamento, pelos ensinamentos e pela ajuda.

A toda minha família e amigos, que de uma forma ou de outra me estimularam ou me ajudaram.

## Resumo

Mendes, Flávia Cesar Teixeira. **Gráfico de Controle EWMA para Não-Conformidades com Intervalo de Tempo entre Amostras Variável**. Rio de Janeiro, 2004. 137p. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Os gráficos de controle de processo criados por Shewhart na década de 20 e em uso até hoje são eficientes para sinalizar alterações de grande magnitude na característica de qualidade de um processo (por exemplo, desvios da ordem de mais de 2 desvios-padrão, no caso do gráfico de médias); já para alterações de menor magnitude, eles são mais lentos. Para estas últimas, são sabidamente mais eficientes os esquemas CUSUM e EWMA, bem como os gráficos adaptativos, de desenvolvimento bem mais recente, também chamados de “gráficos de parâmetros variáveis”, porque alguns ou todos os seus parâmetros (tamanho de amostra, intervalo de tempo entre amostras, e limites de controle) passam a variar durante a operação, em função da informação fornecida pela última amostra.

Nesta pesquisa, é proposta a incorporação da estratégia de gráficos adaptativos (usando um intervalo de tempo entre amostras variável) ao esquema EWMA na busca de melhorias no desempenho de gráficos de controle por atributos. O esquema proposto é aplicado a gráficos de  $c$  para detecção de alterações de pequena magnitude no número médio de não-conformidades em um processo de produção. É desenvolvido o modelo matemático para cálculo das medidas de desempenho do gráfico, e é realizada a análise de desempenho do esquema para diversos valores de  $c_0$  e  $c_1$  (número médio em controle e fora de controle de não-conformidades), com comparação com outros gráficos de controle por atributos. Resultados mostram, na maioria das situações analisadas, a vantagem do esquema proposto, em termos de uma maior rapidez de detecção de alterações de diversas magnitudes.

## Palavras-chave

Gráficos de controle de processo; Controle estatístico de processos; Atributos; Gráficos adaptativos; Intervalo de tempo entre amostras variável; Parâmetros variáveis; EWMA.

## Abstract

Mendes, Flávia Cesar Teixeira. **EWMA Control Chart for Nonconformities with Variable Sampling Interval** Rio de Janeiro, 2004. 137p. DSc Dissertation - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The process control charts created by Shewhart in the 20's and still in use today are efficient in signaling large shifts in the quality characteristics of a process (e.g. shifts greater than two standard deviations, in the case of the chart for means); they are however slower in the case of small and moderate shifts, in which case CUSUM and EWMA schemes are known to be more efficient, as are the recently developed adaptive charts, also called "variable parameter charts" because some or all of their design parameters (sample size, sampling interval and control limits) are allowed to vary during the operation, according to the information of the latest sample.

In this thesis, looking for an enhancement in the performance of control charts for attributes, the strategy of adaptive charts (using a variable sampling interval) is incorporated to the EWMA scheme. The proposed scheme is applied to  $c$  charts for detecting small shifts in the number of nonconformities in a production process. A mathematical model is developed for calculation of the performance measures of the chart, and a performance analysis is carried out for several values of  $c_0$  and  $c_1$  (in- and out-of-control number of nonconformities), together with a comparison with other control charts for nonconformities. The results show the advantage of the proposed scheme in the majority of the analyzed situations, through faster detection of a range of shifts.

## Keywords

Control charts; Statistical process control; Attributes; Adaptive control charts; Variable sampling interval; Variable parameters; EWMA.

## Sumário

1 Introdução	22
2 Revisão Conceitual e Trabalhos Precedentes	26
2.1. Revisão Conceitual: Principais Medidas de Desempenho de Gráficos de Controle	26
2.2. Trabalhos Precedentes	29
3 Gráfico de Controle EWMA	49
3.1. Esquema EWMA para Controle do Número de Não-Conformidades	52
4 Gráfico de Controle VSI EWMA para Não-Conformidades	54
4.1. Descrição do Gráfico de Controle VSI EWMA para Não-Conformidades	54
4.2. Modelo Matemático para Cálculo das Medidas de Desempenho do Gráfico de Controle VSI EWMA para Não-Conformidades	57
5 Análise de Desempenho do Esquema VSI EWMA para Não-Conformidades	63
5.1. Escolha dos Casos	63
5.2. Obtenção dos Projetos Ótimos e das Medidas de Desempenho do Esquema $V_p$ para Não-Conformidades	65
5.3. Obtenção dos Projetos Ótimos e das Medidas de Desempenho do Esquema VSI EWMA para Não-Conformidades Proposto	68
5.4. Obtenção dos Projetos Ótimos e das Medidas de Desempenho do Esquema EWMA para Não-Conformidades	79
5.5. Obtenção dos Projetos Ótimos e das Medidas de Desempenho do Esquema VSI para Não-Conformidades	82



5.6. Obtenção dos Projetos Ótimos e das Medidas de Desempenho do Esquema Poisson CUSUM	84
5.7. Comparação entre os Desempenhos dos Esquemas VSI EWMA, Vp, EWMA, VSI e Poisson CUSUM	86
5.8. Síntese da Comparação entre os Desempenhos dos Esquemas para Não-Conformidades	105
5.9. Verificação dos Desvios-Padrão dos Tempos até o Sinal obtidos pelo Esquema VSI EWMA para Não-Conformidades Proposto	114
6 Conclusões	117
7 Referências Bibliográficas	120
8 Apêndice A: Programa para Obtenção de Projeto Ótimo de Esquema Vp	124
9 Apêndice B: Programa para Simulação dos Tempos até o Sinal obtidos pelo Esquema VSI EWMA	134

## Lista de tabelas

Tabela 1 - Artigos sobre regras suplementares, gráficos de contagem inter-eventos e gráficos adaptativos para atributos.	38
Tabela 2 - Principais artigos sobre o esquema CUSUM para atributos.	43
Tabela 3 - Principais artigos sobre o esquema EWMA.	44
Tabela 4 - Projetos ótimos e TMAF's de esquemas $V_p$ para não-conformidades.	67
Tabela 5 - Projetos ótimos e TMAF's de esquemas VSI EWMA para $c_0 = 0,50$ e $\gamma^* = 1,5$ .	70
Tabela 6 - Projetos ótimos e TMAF's de esquemas VSI EWMA para $c_0 = 1,00$ e $\gamma^* = 1,5$ .	71
Tabela 7 - Projetos ótimos e TMAF's de esquemas VSI EWMA para $c_0 = 1,50$ e $\gamma^* = 1,5$ .	71
Tabela 8 - Projetos ótimos e TMAF's de esquemas VSI EWMA para $c_0 = 2,00$ e $\gamma^* = 1,5$ .	72
Tabela 9 - Projetos ótimos e TMAF's de esquemas VSI EWMA para $c_0 = 3,00$ e $\gamma^* = 1,5$ .	72
Tabela 10 - Projetos ótimos e TMAF's de esquemas VSI EWMA para $c_0 = 4,00$ e $\gamma^* = 1,5$ .	73
Tabela 11 - Projetos ótimos e TMAF's de esquemas VSI EWMA para $c_0 = 0,50$ e $\gamma^* = 2,0$ .	73
Tabela 12 - Projetos ótimos e TMAF's de esquemas VSI EWMA para $c_0 = 1,00$ e $\gamma^* = 2,0$ .	74
Tabela 13 - Projetos ótimos e TMAF's de esquemas VSI EWMA para $c_0 = 1,50$ e $\gamma^* = 2,0$ .	74
Tabela 14 - Projetos ótimos e TMAF's de esquemas VSI EWMA para $c_0 = 2,00$ e $\gamma^* = 2,0$ .	75

Tabela 15 - Projetos ótimos e TMAF's de esquemas VSI EWMA para $c_0 = 3,00$ e $\gamma^* = 2,0$ .	75
Tabela 16 - Projetos ótimos e TMAF's de esquemas VSI EWMA para $c_0 = 4,00$ e $\gamma^* = 2,0$ .	76
Tabela 17 - Projetos ótimos e TMAF's de esquemas VSI EWMA para $c_0 = 0,50$ e $\gamma^* = 3,0$ .	76
Tabela 18 - Projetos ótimos e TMAF's de esquemas VSI EWMA para $c_0 = 1,00$ e $\gamma^* = 3,0$ .	77
Tabela 19 - Projetos ótimos e TMAF's de esquemas VSI EWMA para $c_0 = 1,50$ e $\gamma^* = 3,0$ .	77
Tabela 20 - Projetos ótimos e TMAF's de esquemas VSI EWMA para $c_0 = 2,00$ e $\gamma^* = 3,0$ .	78
Tabela 21 - Projetos ótimos e TMAF's de esquemas VSI EWMA para $c_0 = 3,00$ e $\gamma^* = 3,0$ .	78
Tabela 22 - Projetos ótimos e TMAF's de esquemas VSI EWMA para $c_0 = 4,00$ e $\gamma^* = 3,0$ .	79
Tabela 23 - Projetos ótimos e TMAF's de esquemas EWMA para não-conformidades, para $\gamma^* = 1,5$ .	80
Tabela 24 - Projetos ótimos e TMAF's de esquemas EWMA para não-conformidades, para $\gamma^* = 2,0$ .	81
Tabela 25 - Projetos ótimos e TMAF's de esquemas EWMA para não-conformidades, para $\gamma^* = 3,0$ .	81
Tabela 26 - Projetos ótimos e TMAF's de esquemas VSI para não-conformidades.	83
Tabela 27 - Projetos ótimos e TMAF's de esquemas Poisson CUSUM.	86
Tabela 28 - Valores da medida de desempenho TES obtidos pelos esquemas $V_p$ , VSI EWMA, VSI e Poisson CUSUM, para $\gamma^* = 1,5$ e $c_0 = 0,50$ .	87
Tabela 29 - Valores da medida de desempenho TES obtidos pelos esquemas $V_p$ , VSI EWMA, VSI e Poisson CUSUM, para $\gamma^* = 1,5$ e $c_0 = 1,00$ .	88

Tabela 30 - Valores da medida de desempenho TES obtidos pelos esquemas Vp, VSI EWMA, VSI e Poisson CUSUM, para $\gamma^* = 1,5$ e $c_0 = 1,50$ .	89
Tabela 31 - Valores da medida de desempenho TES obtidos pelos esquemas Vp, VSI EWMA, VSI e Poisson CUSUM, para $\gamma^* = 1,5$ e $c_0 = 2,00$ .	90
Tabela 32 - Valores da medida de desempenho TES obtidos pelos esquemas Vp, VSI EWMA, VSI e Poisson CUSUM, para $\gamma^* = 1,5$ e $c_0 = 3,00$ .	91
Tabela 33 - Valores da medida de desempenho TES obtidos pelos esquemas Vp, VSI EWMA, VSI e Poisson CUSUM, para $\gamma^* = 1,5$ e $c_0 = 4,00$ .	92
Tabela 34 - Valores da medida de desempenho TES obtidos pelos esquemas Vp, VSI EWMA, VSI e Poisson CUSUM, para $\gamma^* = 2,0$ e $c_0 = 0,50$ .	93
Tabela 35 - Valores da medida de desempenho TES obtidos pelos esquemas Vp, VSI EWMA, VSI e Poisson CUSUM, para $\gamma^* = 2,0$ e $c_0 = 1,00$ .	94
Tabela 36 - Valores da medida de desempenho TES obtidos pelos esquemas Vp, VSI EWMA, VSI e Poisson CUSUM, para $\gamma^* = 2,0$ e $c_0 = 1,50$ .	95
Tabela 37 - Valores da medida de desempenho TES obtidos pelos esquemas Vp, VSI EWMA, VSI e Poisson CUSUM, para $\gamma^* = 2,0$ e $c_0 = 2,00$ .	96
Tabela 38 - Valores da medida de desempenho TES obtidos pelos esquemas Vp, VSI EWMA, VSI e Poisson CUSUM, para $\gamma^* = 2,0$ e $c_0 = 3,00$ .	97
Tabela 39 - Valores da medida de desempenho TES obtidos pelos esquemas Vp, VSI EWMA, VSI e Poisson CUSUM, para $\gamma^* = 2,0$ e $c_0 = 4,00$ .	98
Tabela 40 - Valores da medida de desempenho TES obtidos pelos esquemas Vp, VSI EWMA, VSI e Poisson CUSUM, para $\gamma^* = 3,0$ e $c_0 = 0,50$ .	99

Tabela 41 - Valores da medida de desempenho TES obtidos pelos esquemas Vp, VSI EWMA, VSI e Poisson CUSUM, para $\gamma^* = 3,0$ e $c_0 = 1,00$ .	100
Tabela 42 - Valores da medida de desempenho TES obtidos pelos esquemas Vp, VSI EWMA, VSI e Poisson CUSUM, para $\gamma^* = 3,0$ e $c_0 = 1,50$ .	101
Tabela 43 - Valores da medida de desempenho TES obtidos pelos esquemas Vp, VSI EWMA, VSI e Poisson CUSUM, para $\gamma^* = 3,0$ e $c_0 = 2,00$ .	102
Tabela 44 - Valores da medida de desempenho TES obtidos pelos esquemas Vp, VSI EWMA, VSI e Poisson CUSUM, para $\gamma^* = 3,0$ e $c_0 = 3,00$ .	103
Tabela 45 - Valores da medida de desempenho TES obtidos pelos esquemas Vp, VSI EWMA, VSI e Poisson CUSUM, para $\gamma^* = 3,0$ e $c_0 = 4,00$ .	104
Tabela 46 - Síntese dos resultados da análise de desempenho do esquema VSI EWMA para não-conformidades, para $\gamma^* = 1,5$ .	106
Tabela 47 - Síntese dos resultados da análise de desempenho do esquema VSI EWMA para não-conformidades, para $\gamma^* = 2,0$ .	106
Tabela 48 - Síntese dos resultados da análise de desempenho do esquema VSI EWMA para não-conformidades, para $\gamma^* = 3,0$ .	107
Tabela 49 - Identificação do esquema para não-conformidades que fornece o $TES_{\text{mínimo}}$ para detecção de cada alteração de $c_0$ , dentre os projetos para os três valores de $\gamma^*$ , e de $h_S$ e $\lambda$ ótimos.	109
Tabela 50 - Valores do parâmetro $\lambda$ em projetos de esquemas VSI EWMA que fornecem $TES < TES_{\text{mínimo}}$ de esquemas Vp ou VSI, na detecção de cada alteração, usando $h_S = 0,10, 0,25$ e $0,50$ , para $\gamma^* = 1,5$ .	111
Tabela 51 - Valores do parâmetro $\lambda$ em projetos de esquemas VSI EWMA que fornecem $TES < TES_{\text{mínimo}}$ de esquemas Vp ou VSI, na detecção de cada alteração, usando $h_S = 0,10, 0,25$ e $0,50$ , para $\gamma^* = 2,0$ .	112

Tabela 52 - Valores do parâmetro  $\lambda$  em projetos de esquemas VSI EWMA que fornecem  $TES < TES_{\text{mínimo}}$  de esquemas Vp ou VSI, na detecção de cada alteração, usando  $h_S = 0,10, 0,25$  e  $0,50$ , para  $\gamma^* = 3,0$ . 113

Tabela 53- Média e desvio-padrão dos tempos até o sinal obtidos pelo esquema VSI EWMA para não-conformidades, obtidos por simulação. 116

## Lista de figuras

Figura 1 - Tempo até o Sinal – TS	28
Figura 2 - Gráfico de controle VSI EWMA	56
Figura 3 - Divisão do intervalo (0, LSC) em N subintervalos de mesma largura.	58

## Lista de símbolos e abreviaturas

$\gamma$	Valor do fator de aumento de $c$
$\gamma^*$	Valor do fator de aumento de $c$ para o qual o TES foi minimizado
$\lambda$	Constante de amortecimento do esquema EWMA
$\mu_0$	Valor-alvo da característica de qualidade de interesse
$\mu_{TS}$	Média dos tempos até o sinal
$\sigma^2(Z_t)$	Variância de $Z_t$
$\sigma_c^2$	Variância assintótica de $C_t$
$\sigma_x^2$	Variância da observação individual $X$
$\sigma_z^2$	Variância assintótica de $Z_t$
$\sigma_{TS}$	Desvios-padrão dos tempos até o sinal
$\sigma_x$	Desvio-padrão do processo quando em controle
$A$	Número de estados transientes na região “amarela”, ou seja, número de estados “amarelos”
$c$	Número médio de não-conformidades na amostra
$c_0$	Número médio de não-conformidades na amostra (em controle)
$c_1$	Número médio de não-conformidades na amostra (fora de controle)
$CRL$	Número de itens conformes entre dois itens não-conformes produzidos
$C_t$	Número de não-conformidades na amostra $t$
$CUSUM$	Gráfico das Somas Acumuladas
$d$	Intervalo de decisão no esquema CUSUM
$E(\# \text{ amarelos})$	Número médio de passagens por estados “amarelos”



$E(\# \text{ verdes})$	Número médio de passagens por estados “verdes”
$E(C)$	Valor esperado de $C$
$E(\text{NAS})$	Valor esperado do NAS, ou seja, NMA
$E(Q)$	Valor esperado do tempo entre a última amostra retirada durante o período em controle e a alteração no processo
$E_j$	$j$ -ésimo subintervalo (ou seja, estado transiente associado ao subintervalo $j$ )
EWMA	Gráfico da Média Móvel Ponderada Exponencialmente
FIR	Resposta inicial rápida
gráfico de $\bar{X}$	Gráfico de controle de médias
gráfico de $c$	Gráfico de controle do número de não-conformidades
gráfico de $np$	Gráfico de controle do número de defeituosos produzidos
gráfico de $p$	Gráfico de controle da fração de defeituosos produzidos
gráfico de $u$	Gráfico de controle do número de não-conformidades por unidade de inspeção
gráfico de Shewhart	Gráfico de controle tradicional, de parâmetros fixos
$\bar{h}$	Intervalo médio de tempo entre amostras
$h$	Intervalo de tempo entre amostras (gráfico de parâmetros fixos)
$\mathbf{h}$	Vetor dos intervalos de tempo entre amostras
$h_j$	Elemento do vetor $\mathbf{h}$ , ou seja, intervalo de tempo entre amostras usado no estado transiente $j$
$h_L$	Intervalo mais longo de tempo entre amostras
$H_L$	Intervalo (vertical) que define a região “verde”
$h_S$	Intervalo mais curto de tempo entre amostras
$H_S$	Intervalo (vertical) que define a região “amarela”
$\mathbf{I}$	Matriz identidade
$i_0$	Índice do subintervalo que contém $c_0$

$l_j$	Limite inferior do j-ésimo subintervalo $E_j$
$K$	Coeficiente de abertura dos limites de controle (“limites de K-sigma”)
$k$	Valor de referência no esquema CUSUM
$K_A$	Coeficiente de abertura do LSA (no esquema VSI EWMA)
$K_C$	Coeficiente de abertura do LSC (no esquema VSI EWMA)
larg	Largura dos subintervalos
LIC	Limite inferior de controle
LM	Linha média
LSA	Limite superior de advertência
$LSA_1$	Limite superior de advertência associado ao $m_S$ e ao $h_L$ em esquemas $V_p$
$LSA_2$	Limite superior de advertência associado ao $m_L$ e ao $h_S$ em esquemas $V_p$
LSC	Limite superior de controle
$LSC_1$	Limite superior de controle associado ao $m_S$ e ao $h_L$ em esquemas $V_p$
$LSC_2$	Limite superior de controle associado ao $m_L$ e ao $h_S$ em esquemas $V_p$
$\bar{m}$	Tamanho médio de amostra
$m$	Tamanho de amostra (gráfico de parâmetros fixos)
$m_i$	Ponto médio do i-ésimo subintervalo
$m_j$	Ponto médio do j-ésimo subintervalo
$m_L$	Tamanho maior de amostra nos esquemas VSI EWMA e $V_p$ (em unidades de inspeção)
$m_S$	Tamanho menor de amostra nos esquemas VSI EWMA e $V_p$ (em unidades de inspeção)
$n$	Tamanho de amostra (genérico)
$N$	Número de subintervalos (de mesma largura) do gráfico proposto, ou seja, número de estados transientes da cadeia de Markov

$\mathbf{N}_0$	Matriz que fornece o número esperado de passagens pelos estados transientes se o processo estiver em controle
$\mathbf{N}_1$	Matriz que fornece o número esperado de passagens pelos estados transientes se o processo estiver fora de controle
NAS	Número de amostras até o sinal
$n_{i_0j}$	j-ésimo elemento da $i_0$ -ésima linha da matriz $\mathbf{N}_0$
$n_{ij}$	Número esperado de passagens pelo estado transiente j se o estado inicial for i
NMA	Número médio de amostras até o sinal, ou seja, valor esperado do número de amostras até o sinal, $E(\text{NAS})$
NMAF	Número médio de amostras até um alarme falso
$\rho$	Fração média de defeituosos
$\rho_A$	Freqüência relativa esperada de passagens por estados “amarelos” até um alarme falso
Poisson CUSUM	Gráfico CUSUM para não-conformidades
$\rho_V$	Freqüência relativa esperada de passagens por estados “verdes” até um alarme falso
Q	Intervalo de tempo entre o momento da retirada da última amostra antes da alteração no processo e o instante desta alteração
$\mathbf{Q}_0$	Matriz das probabilidades de transição entre os estados transientes quando o processo está em controle, com elementos $q_{ij}$
$\mathbf{Q}_1$	Matriz das probabilidades de transição entre os estados transientes quando o processo está fora de controle, com elementos $q_{ij}$
$q_{ij}$	Probabilidade de transição entre os estados transientes i e j, ou seja, probabilidade de ir do estado transiente i para o estado transiente j

$\mathbf{r}$	Vetor das proporções esperadas de passagem por cada estado transiente até um alarme falso
região amarela	Intervalo no gráfico VSI EWMA entre LSA e LSC
região verde	Intervalo no gráfico VSI EWMA entre 0 e LSA
$r_j$	Elemento do vetor $\mathbf{r}$
$\mathbf{s}$	Vetor das probabilidades de $Z_t$ estar em cada subintervalo no instante da alteração no processo
$S_0$	Valor inicial da estatística CUSUM
$S_i$	Estatística CUSUM no instante $i$
$S_j$	Limite superior do $j$ -ésimo subintervalo $E_j$
$s_j$	Elemento do vetor $\mathbf{s}$
SPRT	Teste seqüencial da razão de probabilidades
$t$	Número de ordem da observação
TES	Valor médio do tempo entre a ocorrência da causa especial e o alarme verdadeiro fornecido pelo gráfico, ou seja, o valor esperado do tempo até o sinal, $E(TS)$
$TES_f$	Tempo esperado desde a última amostra anterior ao descontrole até o alarme verdadeiro
$TES_{\text{mínimo}}$	Menor valor de TES obtido por algum esquema de controle para detecção de uma alteração de determinada magnitude do processo
TMAF	Tempo médio até a ocorrência de um alarme falso
TS	Tempo até o sinal
$u$	Número médio de não-conformidades por unidade de inspeção
$u_0$	Número médio de não-conformidades por unidade de inspeção (em controle)
$u_1$	Número médio de não-conformidades por unidade de inspeção (fora de controle)

V	Número de estados transientes na região “verde”, ou seja, número de estados “verdes”
$VAR(C)$	Variância de C
$V_p$	Esquema adaptativo que varia todos os parâmetros de projeto (tamanho de amostra, intervalo de tempo entre amostras e limites de controle)
VSI	Esquema adaptativo que varia o intervalo de tempo entre amostras
VSI EWMA	Esquema de controle proposto que incorpora a estratégia VSI a um esquema EWMA para não-conformidades
VSS	Esquema adaptativo que varia o tamanho de amostra
VSSI	Esquema adaptativo que varia o tamanho de amostra e o intervalo de tempo entre amostras
$\mathbf{w}$	Vetor de probabilidades do estado inicial da fase em controle
X	Observação individual
$X_t$	Valor da observação individual X no instante t
$\mathbf{Y}$	Matriz auxiliar de tamanho $N \times 2$
$Z_0$	Valor inicial da estatística EWMA
$Z_t$	Valor da estatística EWMA após a observação t