

UNESP
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

Guaratinguetá
2013

WILLIAM SOUZA PAULILLO

O EFEITO DA AUTOCORRELAÇÃO NO DESEMPENHO DOS
GRÁFICOS DE $\bar{X}$ E R E DOS GRÁFICOS DE $\bar{X}$ E S^2

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Fernando Branco Costa

Guaratinguetá
2013

P327e	Paulillo, William Souza O efeito da autocorrelação no desempenho dos gráficos de $\bar{X}$ e R e dos gráficos de $\bar{X}$ e S^2 / William Souza Paulillo – Guaratinguetá: [s.n], 2013. 86 f : il. Bibliografia: f. 49-50 Trabalho de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2013. Orientador: Prof. Dr. Antônio Fernando Branco Costa 1. Controle de qualidade 2. Autocorrelação (Estatística) I. Título CDU 658.56
-------	---

O EFEITO DA AUTOCORRELAÇÃO NO DESEMPENHO DOS GRÁFICOS DE
 $\bar{X}$ E R E DOS GRÁFICOS DE $\bar{X}$ E S^2 .

William Souza Paulillo

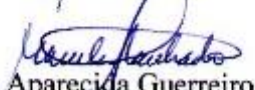
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
GRADUADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA

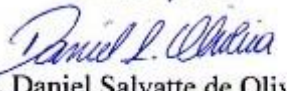
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA


Prof. Dr. Francisco Alexandre de Oliveira
Coordenador

Banca Examinadora:


Prof. Dr. Antonio Fernando Branco Costa
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. Marcela Aparecida Guerreiro Machado
UNESP-FEG


Eng. Daniel Salvatte de Oliveira
Johnson & Johnson

Novembro de 2013

DEDICATÓRIA

Dedico este Trabalho de modo especial aos meus pais, Antônio e Izabel, os quais sempre me incentivaram nos estudos e mostraram a importância da formação superior.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus pais, *Antonio e Izabel*, os quais sempre me guiaram para atingir meus objetivos e superar os desafios tanto na vida acadêmica quanto na pessoal.

Gostaria de agradecer ao *Prof. Dr. Antônio Fernando Branco Costa* pelo seu auxílio na orientação deste Trabalho de Graduação, como também, durante minha graduação e Iniciação Científica.

Gostaria de agradecer à *Prof. Dr^a. Marcela Aparecida G. Machado de Freitas* pela orientação na minha monitoria de Estatística e seu auxílio para elaboração deste Trabalho de Graduação.

Gostaria de agradecer também à *República Fim do Mundo*, a qual me acolheu durante o período de graduação e acabou se tornando minha segunda casa.

Gostaria de agradecer a Deus que me permitiu percorrer o caminho e vencer as dificuldades até esse momento.

“O sucesso é ir de fracasso em
fracasso sem perder entusiasmo”

Winston Churchill

PAULILLO, W. S. **O efeito da autocorrelação no desempenho dos gráficos de $\bar{X}$ e R e dos gráficos de $\bar{X}$ e S^2** . 2013. 86 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

RESUMO

Os gráficos de controle são ferramentas muito importantes no controle estatístico da qualidade de processos industriais e seu uso se inicia no século passado. Desde o seu desenvolvimento, os gráficos sempre foram atribuídos a processos independentes, ou seja, sem qualquer grau de correlação entre as amostras analisadas. Porém, atualmente, com o alto nível de automação no ambiente industrial, pode-se perceber o fator da autocorrelação entre as amostras. Os principais gráficos utilizados no monitoramento de características de qualidade representadas por variáveis contínuas são o da média ($\bar{X}$), da amplitude (R) e da variância (S^2). Portanto, este trabalho tem o objetivo de analisar o desempenho dos gráficos de $\bar{X}$ e R e dos gráficos de $\bar{X}$ e S^2 com diferentes tamanhos de amostras (4 e 5) para o monitoramento de processos autocorrelacionados. Através de simulações computacionais por meio do software Fortran e da utilização de expressões matemáticas foi possível obter os dados e realizar a análise do poder de detecção dos gráficos para observações independentes e para observações autocorrelacionadas segundo o modelo AR(1). Os resultados obtidos mostram que o efeito da autocorrelação reduz a capacidade de monitoramento dos gráficos de controle e, que quanto maior é esse efeito, mais lento se torna o gráfico na sinalização de desajustes.

PALAVRAS-CHAVE: Gráficos de controle. Gráfico da média. Gráfico da amplitude. Gráfico da variância. Processos independentes. Processos autocorrelacionados. Simulações.

PAULILLO, W. S. **The autocorrelation effect on the performance charts of $\bar{X}$ and R and in charts of $\bar{X}$ and S^2** . 2013. 86 f. Graduation Work (Graduation in Production Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

ABSTRACT

Control charts are very important tools in statistical quality control of industrial processes and its use started last century. Since its development, the charts have always been attributed to independent processes, i.e. without any correlation between samples. But nowadays, with the high level of automation in the industrial environment, it is noticeable the autocorrelation factor between samples. The main charts used in monitoring quality characteristics represented by continuous variables are the mean ($\bar{X}$), amplitude (R) and variance (S^2). Therefore, this work aims to analyze the performance of $\bar{X}$ and R charts and in of $\bar{X}$ and S^2 charts with different sample sizes (4 and 5) for monitoring autocorrelated processes. Through computer simulations using the Fortran software and the use of mathematical expressions was possible to obtain data and performance analysis of the detection power charts for independent observations and for autocorrelated observations according to the model AR (1). The results show that the effect of autocorrelation reduces the ability of monitoring the control charts and that, the greater this effect, the slower the chart becomes in misfits signaling.

KEY WORDS: Control charts. Mean chart. Amplitude chart. Variance chart. Independent processes. Autocorrelated processes. Simulations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico de controle da média.....	22
Figura 2 – Gráfico de controle da amplitude.....	23
Figura 3 – Gráfico de controle de um processo autocorrelacionado	24
Figura 4 – NMAs obtidos para processos independentes ($n=4$) – $\bar{X}$ e R.....	30
Figura 5 – NMAs obtidos para processos independentes ($n=5$) – $\bar{X}$ e R.....	31
Figura 6 – NMAs obtidos para processos independentes ($n=4$) – $\bar{X}$ e S^2	32
Figura 7 – NMAs obtidos para processos independentes ($n=5$) – $\bar{X}$ e S^2	33
Figura 8 – NMAs obtidos para processos autocorrelacionados ($n=4, \lambda=1,0$) – $\bar{X}$ e R	35
Figura 9 – NMAs obtidos para processos autocorrelacionados ($n=4, \lambda=1,2$) – $\bar{X}$ e R	36
Figura 10 – NMAs obtidos para processos autocorrelacionados ($n=4, \lambda=1,5$) – $\bar{X}$ e R	36
Figura 11 – NMAs obtidos para processos autocorrelacionados ($n=4, \lambda=2,0$) – $\bar{X}$ e R	37
Figura 12 – NMAs obtidos para processos autocorrelacionados ($n=5, \lambda=1,0$) – $\bar{X}$ e R	37
Figura 13 – NMAs obtidos para processos autocorrelacionados ($n=5, \lambda=1,5$) – $\bar{X}$ e R	38
Figura 14 – NMAs obtidos para processos autocorrelacionados ($n=5, \lambda=1,5$) – $\bar{X}$ e R	38
Figura 15 – NMAs obtidos para processos autocorrelacionados ($n=5, \lambda=1,5$) – $\bar{X}$ e R	39
Figura 16 – NMAs obtidos para processos independentes ($n=4, \lambda=1,0$) - $\bar{X}$ e S^2	41
Figura 17 – NMAs obtidos para processos independentes ($n=4, \lambda=1,2$) - $\bar{X}$ e S^2	42
Figura 18 – NMAs obtidos para processos independentes ($n=4, \lambda=1,5$) - $\bar{X}$ e S^2	42
Figura 19 – NMAs obtidos para processos independentes ($n=4, \lambda=2,0$) - $\bar{X}$ e S^2	43
Figura 20 – NMAs obtidos para processos independentes ($n=5, \lambda=1,0$) - $\bar{X}$ e S^2	43
Figura 21 – NMAs obtidos para processos independentes ($n=5, \lambda=1,2$) - $\bar{X}$ e S^2	44
Figura 22 – NMAs obtidos para processos independentes ($n=5, \lambda=1,5$) - $\bar{X}$ e S^2	44
Figura 23 – NMAs obtidos para processos independentes ($n=5, \lambda=2,0$) - $\bar{X}$ e S^2	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – LC processo independente $n=4$ ($\bar{X}$ e R)	30
Tabela 2 – LC processo independente $n= 5$ ($\bar{X}$ e R).....	30
Tabela 3 – LC processo independente $n= 4$ ($\bar{X}$ e R).....	32
Tabela 4 – LC para processo independente $n= 5$ ($\bar{X}$ e R).....	32
Tabela 5 – LC processo autocorrelacionado $n= 4, \lambda=1$ ($\bar{X}$ e R)	33
Tabela 6 – LC processo autocorrelacionado $n= 4, \lambda=1,2$ ($\bar{X}$ e R)	33
Tabela 7 – LC processo autocorrelacionado $n=4, \lambda=1,5$ ($\bar{X}$ e R)	34
Tabela 8 – LC processo autocorrelacionado $n=4, \lambda=2,0$ ($\bar{X}$ e R)	34
Tabela 9 – LC processo autocorrelacionado $n=5, \lambda=1$ ($\bar{X}$ e R)	34
Tabela 10 - LC processo autocorrelacionado $n=5, \lambda=1,2$ ($\bar{X}$ e R).....	34
Tabela 11 - LC processo autocorrelacionado $n=5, \lambda=1,5$ ($\bar{X}$ e R).....	35
Tabela 12 - LC processo autocorrelacionado $n=5, \lambda=2,0$ ($\bar{X}$ e R).....	35
Tabela 13 - LC processo autocorrelacionado $n=4, \lambda=1$ ($\bar{X}$ e S^2)	39
Tabela 14 - LC processo autocorrelacionado $n=4, \lambda=1,2$ ($\bar{X}$ e S^2)	39
Tabela 15 - LC processo autocorrelacionado $n=4, \lambda=1,5$ ($\bar{X}$ e S^2)	40
Tabela 16 - LC processo autocorrelacionado $n=4, \lambda=2,0$ ($\bar{X}$ e S^2)	40
Tabela 17 - LC processo autocorrelacionado $n=5, \lambda=1$ ($\bar{X}$ e S^2)	40
Tabela 18 - LC processo autocorrelacionado $n=5, \lambda=1,2$ ($\bar{X}$ e S^2)	40
Tabela 19 - LC processo autocorrelacionado $n=5, \lambda=1,5$ ($\bar{X}$ e S^2)	41
Tabela 20 - LC processo autocorrelacionado $n=5, \lambda=2,0$ ($\bar{X}$ e S^2)	41
Tabela 21 – NMAs processo independente $n=4, \lambda=1,0$ ($\bar{X}$ e R).....	62
Tabela 22 – NMAs processo independente $n=4, \lambda=1,2$ ($\bar{X}$ e R).....	62
Tabela 23 – NMAs processo independente $n=4, \lambda=1,5$ ($\bar{X}$ e R).....	62

Tabela 24 – NMAs processo independente $n=4$, $\lambda=2,0$ ($\bar{X}$ e R).....	63
Tabela 25 – NMAs processo independente $n=5$, $\lambda=1,0$ ($\bar{X}$ e R).....	63
Tabela 26 – NMAs processo independente $n=5$, $\lambda=1,2$ ($\bar{X}$ e R).....	63
Tabela 27 – NMAs processo independente $n=5$, $\lambda=1,5$ ($\bar{X}$ e R).....	64
Tabela 28 – NMAs processo independente $n=5$, $\lambda=2,0$ ($\bar{X}$ e R).....	64
Tabela 29 – NMAs processo autocorrelacionado $n= 4$, $\lambda=1,0$, $\phi=0,0$ ($\bar{X}$ e R)	65
Tabela 30 – NMAs processo autocorrelacionado $n= 4$, $\lambda=1,0$, $\phi=0,2$ ($\bar{X}$ e R)	65
Tabela 31 – NMAs processo autocorrelacionado $n= 4$, $\lambda=1,0$, $\phi=0,5$ ($\bar{X}$ e R)	65
Tabela 32 – NMAs processo autocorrelacionado $n= 4$, $\lambda=1,0$, $\phi=0,7$ ($\bar{X}$ e R)	66
Tabela 33 – NMAs processo autocorrelacionado $n= 4$, $\lambda=1,2$, $\phi=0,0$ ($\bar{X}$ e R)	66
Tabela 34 – NMAs processo autocorrelacionado $n= 4$, $\lambda=1,2$, $\phi=0,2$ ($\bar{X}$ e R)	66
Tabela 35 – NMAs processo autocorrelacionado $n= 4$, $\lambda=1,2$, $\phi=0,5$ ($\bar{X}$ e R)	67
Tabela 36 – NMAs processo autocorrelacionado $n= 4$, $\lambda=1,2$, $\phi=0,7$ ($\bar{X}$ e R)	67
Tabela 37 – NMAs processo autocorrelacionado $n= 4$, $\lambda=1,5$, $\phi=0,0$ ($\bar{X}$ e R)	67
Tabela 38 – NMAs processo autocorrelacionado $n= 4$, $\lambda=1,5$, $\phi=0,2$ ($\bar{X}$ e R)	68
Tabela 39 – NMAs processo autocorrelacionado $n= 4$, $\lambda=1,5$, $\phi=0,5$ ($\bar{X}$ e R)	68
Tabela 40 – NMAs processo autocorrelacionado $n= 4$, $\lambda=1,5$, $\phi=0,7$ ($\bar{X}$ e R)	68
Tabela 41 – NMAs processo autocorrelacionado $n= 4$, $\lambda=2,0$, $\phi=0,0$ ($\bar{X}$ e R)	69
Tabela 42 – NMAs processo autocorrelacionado $n= 4$, $\lambda=2,0$, $\phi=0,2$ ($\bar{X}$ e R)	69
Tabela 43 – NMAs processo autocorrelacionado $n= 4$, $\lambda=2,0$, $\phi=0,5$ ($\bar{X}$ e R)	69
Tabela 44 – NMAs processo autocorrelacionado $n= 4$, $\lambda=2,0$, $\phi=0,7$ ($\bar{X}$ e R)	70
Tabela 45 – NMAs processo autocorrelacionado $n= 5$, $\lambda=1,0$, $\phi=0,0$ ($\bar{X}$ e R)	70
Tabela 46 – NMAs processo autocorrelacionado $n= 5$, $\lambda=1,0$, $\phi=0,2$ ($\bar{X}$ e R)	70
Tabela 47 – NMAs processo autocorrelacionado $n= 5$, $\lambda=1,0$, $\phi=0,5$ ($\bar{X}$ e R)	71

Tabela 48 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,0$, $\phi=0,7$ ($\bar{X}$ e R)	71
Tabela 49 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,2$, $\phi=0,0$ ($\bar{X}$ e R)	71
Tabela 50 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,2$, $\phi=0,2$ ($\bar{X}$ e R)	72
Tabela 51 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,2$, $\phi=0,5$ ($\bar{X}$ e R)	72
Tabela 52 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,2$, $\phi=0,7$ ($\bar{X}$ e R)	72
Tabela 53 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,5$, $\phi=0,0$ ($\bar{X}$ e R)	73
Tabela 54 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,5$, $\phi=0,2$ ($\bar{X}$ e R)	73
Tabela 55 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,5$, $\phi=0,5$ ($\bar{X}$ e R)	73
Tabela 56 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,5$, $\phi=0,7$ ($\bar{X}$ e R)	74
Tabela 57 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=2,0$, $\phi=0,0$ ($\bar{X}$ e R)	74
Tabela 58 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=2,0$, $\phi=0,2$ ($\bar{X}$ e R)	74
Tabela 59 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=2,0$, $\phi=0,5$ ($\bar{X}$ e R)	75
Tabela 60 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=2,0$, $\phi=0,7$ ($\bar{X}$ e R)	75
Tabela 61 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,0$, $\phi=0,0$ ($\bar{X}$ e S^2)	75
Tabela 62 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,0$, $\phi=0,2$ ($\bar{X}$ e S^2)	76
Tabela 63 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,0$, $\phi=0,5$ ($\bar{X}$ e S^2)	76
Tabela 64 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,0$, $\phi=0,7$ ($\bar{X}$ e S^2)	76
Tabela 65 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,2$, $\phi=0,0$ ($\bar{X}$ e S^2)	77
Tabela 66 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,2$, $\phi=0,2$ ($\bar{X}$ e S^2)	77
Tabela 67 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,2$, $\phi=0,5$ ($\bar{X}$ e S^2)	77
Tabela 68 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,2$, $\phi=0,7$ ($\bar{X}$ e S^2)	78
Tabela 69 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,5$, $\phi=0,0$ ($\bar{X}$ e S^2)	78
Tabela 70 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,5$, $\phi=0,2$ ($\bar{X}$ e S^2)	78
Tabela 71 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,5$, $\phi=0,5$ ($\bar{X}$ e S^2)	79

Tabela 72– NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,5$, $\phi =0,7$ ($\bar{X}$ e S^2)	79
Tabela 73 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=2,0$, $\phi =0,0$ ($\bar{X}$ e S^2)	79
Tabela 74 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=2,0$, $\phi =0,2$ ($\bar{X}$ e S^2)	80
Tabela 75 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=2,0$, $\phi =0,5$ ($\bar{X}$ e S^2)	80
Tabela 76 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=2,0$, $\phi =0,7$ ($\bar{X}$ e S^2)	80
Tabela 77 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,0$, $\phi =0,0$ ($\bar{X}$ e S^2)	81
Tabela 78 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,0$, $\phi =0,2$ ($\bar{X}$ e S^2)	81
Tabela 79 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,0$, $\phi =0,5$ ($\bar{X}$ e S^2)	81
Tabela 80 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,0$, $\phi =0,7$ ($\bar{X}$ e S^2)	82
Tabela 81 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,2$, $\phi =0,0$ ($\bar{X}$ e S^2)	82
Tabela 82 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,2$, $\phi =0,2$ ($\bar{X}$ e S^2)	82
Tabela 83 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,2$, $\phi =0,5$ ($\bar{X}$ e S^2)	83
Tabela 84 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,2$, $\phi =0,7$ ($\bar{X}$ e S^2)	83
Tabela 85 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,5$, $\phi =0,0$ ($\bar{X}$ e S^2)	83
Tabela 86 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,5$, $\phi =0,2$ ($\bar{X}$ e S^2)	84
Tabela 87 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,5$, $\phi =0,5$ ($\bar{X}$ e S^2)	84
Tabela 88 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,5$, $\phi =0,7$ ($\bar{X}$ e S^2)	84
Tabela 89 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=2,0$, $\phi =0,0$ ($\bar{X}$ e S^2)	85
Tabela 90 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=2,0$, $\phi =0,2$ ($\bar{X}$ e S^2)	85
Tabela 91 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=2,0$, $\phi =0,5$ ($\bar{X}$ e S^2)	85
Tabela 92 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=2,0$, $\phi =0,7$ ($\bar{X}$ e S^2)	86

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FORTTRAN	-	Formula Translation
LIC	-	Limite Inferior de Controle
LSC	-	Limite Superior de Controle
LM	-	Linha Média

LISTA DE SÍMBOLOS

$\bar{X}$	Média amostral
R	Amplitude amostral
X	Variável de observação
n	Tamanho da amostra
L	Distância máxima entre pontos fora da região de controle
μ	Média do processo
ϕ	Coefficiente de autocorrelação
ε_t	Erro aleatório do processo no instante t
σ	Desvio padrão do processo
σ_m	Desvio padrão do erro de medição
NMA	Número médio de amostra até o sinal
k	Fator de abertura de limites de controle
α	Taxa de alarmes falsos
δ	Deslocamento da média do processo
λ	Deslocamento do desvio padrão do processo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Gráficos de controle.....	16
1.2 Objetivos.....	17
1.2.1 Objetivo geral.....	17
1.2.2 Objetivos específicos.....	18
1.3 Método	18
1.4 Justificativa	18
1.5 Organização do trabalho	19
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
2.1 Gráfico de controle da média ($\bar{X}$).....	21
2.2 Gráfico de controle da amplitude (R).....	22
2.3 Gráfico de controle da variância (S^2).....	23
2.4 Processos independentes e autocorrelacionados	24
3 DESCRIÇÃO DO MODELO E SOFTWARE UTILIZADO	26
3.1 Modelo utilizado	26
3.2 Software Fortran	28
4 RESULTADOS	29
4.1 Processos independentes (Gráficos de $\bar{X}$ e R).....	29
4.2 Processos independentes (Gráficos de $\bar{X}$ e S^2).....	31
4.3 Processos autocorrelacionados (Gráficos de $\bar{X}$ e R)	33
4.4 Processos autocorrelacionados (Gráficos de $\bar{X}$ e S^2).....	39
5 ANÁLISES DOS RESULTADOS.....	46
5.1 Análises dos limites de controle e dos NMAs para processos independentes	46
5.1.1 Gráficos de $\bar{X}$ e R	46
5.1.2 Gráficos de $\bar{X}$ e S^2	46
5.2 Análises dos limites de controle e dos NMAs para processos autocorrelacionados ...	46
5.2.1 Gráficos de $\bar{X}$ e R	46
5.2.2 Gráficos de $\bar{X}$ e S^2	47
6 CONCLUSÃO.....	48
6.1 Sugestões para pesquisas futuras	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
APÊNDICE A – Algoritmos para cálculo de NMAs	51
APÊNDICE B – NMAs obtidos para observações independentes	62
APÊNDICE C – NMAs obtidos para observações autocorrelacionadas.....	65

1 INTRODUÇÃO

1.1 Gráficos de controle

Com o surgimento dos gráficos de controle na época da Revolução Industrial foi possível obter um monitoramento mais preciso dos processos industriais. Em 1924, o funcionário da *Bell Telephone Laboratories*, Walter A. Shewhart, divulgou relatório técnico com base estatística voltado para controle de processos (MONTGOMERY, 2001).

Os estudos de Shewhart deram início devido ao fato de ser impossível produzir itens exatamente iguais, assim, ele estudou a variabilidade dos processos (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2005). No início, essa técnica não foi bem aceita, porém, após ganhar prestígio no ambiente industrial, ela se tornou ferramenta obrigatória em inúmeros processos de monitoramento (LEIRAS; COSTA; EPPRECHT, 2007).

Durante a Segunda Guerra Mundial ocorreu maior aceitação dos conceitos de controle estatístico da qualidade nas indústrias de manufatura, já que se tornou claro que as técnicas estatísticas eram necessárias para controlar e melhorar a qualidade do produto. Assim, fundou-se em 1946 a Sociedade Americana para o Controle da Qualidade, a qual promove o uso das técnicas de melhoria da qualidade para todos os tipos de produtos e serviços (MONTGOMERY, 2001). No decorrer da década de 70, pode-se dizer que os gráficos de Shewhart tiveram seu auge; o lema da época era: “só se assegurar qualidade de processos que estejam sob o monitoramento de gráficos de Shewhart” (MONTEIRO, COSTA, 2010).

Em sua essência, os gráficos de controle são simples de serem elaborados, porém, o seu uso intensivo e indevido tornou-os apenas objetos de enfeite, já que sem um conhecimento aprofundado do processo, eles não atendem seus objetivos de serem ferramentas estatísticas eficazes no monitoramento de processos (MONTEIRO, 2011).

Segundo Shewhart (1939), qualquer processo, por mais bem controlado que esteja, sempre vai possuir um componente impossível de ser eliminado em sua variabilidade, ou seja, trata-se de algo natural do processo, fruto de pequenas perturbações ou causas aleatórias. Os processos estão sujeitos também à ocorrência ocasional de causas especiais, as quais ocorrem devido a uma anomalia e devem ser, portanto, eliminadas (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2005).

Os gráficos de controle existentes atualmente dividem-se principalmente por variáveis e por atributos. Os gráficos de controle por atributos visam, por exemplo, o monitoramento do

número de defeitos de rádios, computadores, automóveis e, até mesmo, permitem monitorar a qualidade de serviços de um restaurante (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2005).

Os gráficos de controle por variáveis mais utilizados nos dias de hoje são os da média ($\bar{X}$), da amplitude (R) e da variância (S^2), os quais serão objetos de estudo do presente trabalho. Esses servem, por exemplo, para monitorar a largura de uma peça, o tempo de trabalho de determinado equipamento, etc.

Shewhart (1926) criou as cartas de controle para determinar os limites de controle que facilitassem o monitoramento da qualidade de um processo com a definição dos parâmetros estabelecidos previamente. Assim, era possível investigar a existência de causas especiais que atuavam sobre ele e quando estas eram detectadas (pontos fora dos limites de controle) o processo teria que ser corrigido, a fim de que voltasse à condição de controle estatístico (CARRE, 2012).

As causas especiais podem deslocar a média de seu valor-alvo e/ou aumentar sua variabilidade. Quando isso ocorre o processo está fora de controle e se faz necessário detectar o mais rápido possível essas causas especiais. Para isso, existem técnicas de investigação como o diagrama de causa e efeito (diagrama de Ishikawa).

Para a construção dos gráficos de controle, período em que o processo está isento de causas especiais, é necessário estimar os parâmetros desvio padrão e média. Geralmente, aos gráficos de Shewhart utilizavam a distribuição normal da característica de qualidade consideravam todas as observações independentes. Assim, é possível elaborar as cartas de controle.

Muitas vezes na manufatura a dinâmica do processo faz com que observações consecutivas tornem-se correlacionadas e este é um fator que deve ser considerado para definição dos limites de controle. Para isso, pode-se aumentar o intervalo de tempo entre as observações ou alargar os limites de controle (CLARO; COSTA; MACHADO, 2007).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Estudar o desempenho dos gráficos de controle da média e da amplitude, da média e da variância para o monitoramento de processos, utilizando simulações em códigos computacionais.

1.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar o desempenho dos gráficos de controle de processos independentes e autocorrelacionados.
- Avaliar o desempenho dos gráficos de controle com base em um modelo autoregressivo.

1.3 Método

O método utilizado neste trabalho é o de modelamento e simulação (MIGUEL, 2007), com adaptação em códigos computacionais e modelos matemáticos; assim, obtêm-se as variáveis desejáveis para avaliação dos gráficos de controle. A linguagem de programação utilizada é o FORTRAN devido a sua grande disponibilidade de fórmulas estatísticas, facilitando o cálculo das variáveis, os limites de controle e o número médio de amostras até o sinal (NMA).

O modelo utilizado é o AR(1), o qual está melhor detalhado na seção 3, permitindo a comparação entre processos independentes e autocorrelacionados e avaliação com diferentes tamanhos de amostras. Para isso, serão utilizados os gráficos da média ($\bar{X}$) e da amplitude (R) e os gráficos da média ($\bar{X}$) e da variância (S^2).

O desempenho do gráfico de controle é medido através do NMA, ou seja, a velocidade que o gráfico possui em detectar um desajuste no processo. Este depende e sofre alterações devido à mudança de alguns parâmetros como deslocamento da média do processo (δ), deslocamento do desvio padrão do processo (λ) e fator de abertura dos limites dos gráficos de controle (k).

1.4 Justificativa

Shewhart estabeleceu que sempre que um ponto é plotado fora dos limites de controle do gráfico, deve-se interrompê-lo imediatamente, buscando encontrar causas especiais que afetam a qualidade dos produtos como, por exemplo, um entupimento no bocal de enchimento de saquinhos de leite em uma linha de produção (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2005).

As cartas de controle são geralmente planejadas e avaliadas levando em consideração que as observações consecutivas do processo são independentes e identicamente distribuídas. Porém, devido a grande produção de processos automatizados, a maioria dos processos apresenta autocorrelação, ou seja, as observações são dependentes uma das outras, por meio do fator da autocorrelação. Os processos de manufatura, em geral, são regidos por elementos inerciais, e quando o intervalo entre observações torna-se pequeno em relação a estas forças, elas se tornam correlacionadas ao longo do tempo (MONTGOMERY, 2001).

Quando ocorrer uma interdependência das amostras com o processo em controle, a probabilidade de uma observação cair fora dos limites do gráfico aumenta e compromete a credibilidade dessa ferramenta pela ocorrência de um número elevado de alarmes falsos. Para solucionar tal problema pode-se, de modo adequado, alargar os limites de controle do gráfico de $\bar{X}$ (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2005). Por exemplo, para o processo em controle tem-se um limite de abertura $k=3,21$, porém, para uma pequena correlação de 20% esse limite aumenta para 3,78.

Diante dos muitos fatores que influenciam no desempenho dos gráficos de controle, este trabalho se justifica por avaliar o desempenho dos mesmos quando submetidos ao efeito da autocorrelação com deslocamento do desvio padrão do processo λ e da média do processo δ . Com a obtenção dos NMAs (Número Médio das Amostras até o sinal) é possível verificar se eles aumentam ou diminuem, ou seja, se há alteração na capacidade de detecção.

Portanto, nesse trabalho é avaliado o comportamento dos gráficos de controle quando submetidos à autocorrelação através do monitoramento dos gráficos de controle para a média ($\bar{X}$) e a amplitude (R) e para a média e a variância (S^2).

Vale ressaltar que outros estudos de monitoramento de gráficos de controle foram realizados e resultaram também em trabalhos de conclusão de curso de Engenharia de Produção como, por exemplo, CARRÉ (2012) E MONTEIRO (2011).

1.5 Organização do trabalho

No primeiro capítulo apresentado acima foi mostrado a importância e os conceitos dos gráficos de controle, os objetivos desse trabalho, o método utilizado e a justificativa para realização do presente estudo.

No segundo capítulo será apresentada a fundamentação teórica incluindo os gráficos de controle da média, amplitude, variância e o efeito da autocorrelação; no terceiro capítulo a

descrição do modelo e a linguagem de programação utilizada; no quarto capítulo os resultados; no quinto capítulo a discussão dos resultados e por fim a conclusão do trabalho e sugestões para pesquisas futuras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Quando Shewhart criou os gráficos de controle, apenas alguns acreditaram adotaram esta nova ferramenta, já que estes eram muito simples de construir e seu uso desenfreado e inadequado fez com que fossem vistos apenas como e não como uma importante ferramenta estatística. Com o passar do tempo e com o avanço das técnicas estatísticas e aperfeiçoamento no estudo e aplicação dos gráficos de controle, os mesmos se tornaram ferramentas preciosas na busca de qualidade (MONTEIRO, COSTA, 2010).

A principal ferramenta para monitoramento de processos e sinalização da presença de causas especiais são os gráficos de controle. Os gráficos de controle da média ($\bar{X}$) e da amplitude (R) servem para monitorar processos cuja característica de qualidade de interesse X é uma grandeza mensurável (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2005).

Segundo Shewhart (1939) todas as observações obedecem a uma distribuição normal e são independentes umas das outras. Satisfeitas essas condições, é possível fazer uso desses dispositivos estatísticos para tomada de decisão sobre o estado do processo, ou seja, se em controle ou se fora de controle. (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2005).

Ao criar os gráficos de controle, Shewhart destinou-os à indústria de partes discretas, ou seja, com nenhum ou quase nenhum grau de automação. Nestes processos, a condição de que as observações são independentes geralmente é satisfeita; porém, atualmente, processos contínuos e por batelada são extremamente frequentes. Tais processos ocorrem principalmente na indústria química e na indústria metalúrgica, os quais raramente produzem observações independentes, de modo que não podem ser monitorados pelos gráficos convencionais (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2005).

2.1 Gráfico de controle da média ($\bar{X}$)

Para a construção do gráfico de controle da média é necessário estabelecer o valor-alvo e plotar as amostras retiradas. Com os limites de controle já definidos, calculados com o processo estável, é possível analisar se há algum ponto fora da faixa de controle. Essa ferramenta fornece ao usuário a capacidade de intervir no processo caso necessário.

Com os pontos nos gráficos em torno da linha média (LM) não se deve intervir no processo. Utilizando as de Shewhart, criador dos gráficos de controle, “leave the process

alone”. Ou seja, essa pequena variação em torno do valor-alvo é decorrente de causas aleatórias, intrínsecas ao processo (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2005).

Na Figura 1 pode-se observar um exemplo de um gráfico de controle da média com um valor-alvo estabelecido para 770 e para os limites de controle superior e inferior de 776 e 764, respectivamente. A amostra de número 18 contém um valor que está fora do intervalo dos limites e, portanto, o processo a qual está inserido deve ser interrompido e analisada a causa para tal ocorrência.

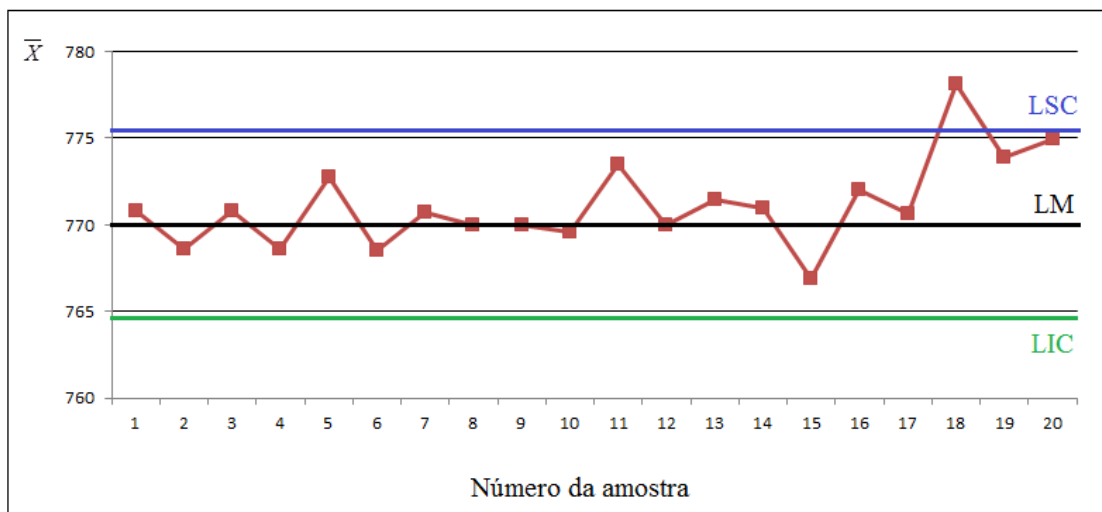


Figura 1 - Gráfico de controle da média

Quando um ponto é plotado acima (ou abaixo) do limite superior (inferior) de controle, o operador ou usuário deve intervir no processo e investigar se há causas especiais (Shewhart, 1939).

2.2 Gráfico de controle da amplitude (R)

Similar ao gráfico da média, para o gráfico de controle da amplitude será necessário calcular a amplitude para cada amostra e realizar a plotação. Vale ressaltar que o valor-alvo e os limites são pré-estabelecidos com o processo em ajustado.

A Figura 2 representa um exemplo de gráfico da amplitude com a linha média com valor 10 e o limite superior de controle com valor 22,5; já para o limite inferior de controle foi adotado o valor 0, pois este apresentou valor negativo nos cálculos. Observa-se que na 12ª

amostra contém um valor que está fora do intervalo dos limites e, portanto, o processo a qual está inserido deve ser interrompido e analisada a causa para tal ocorrência.

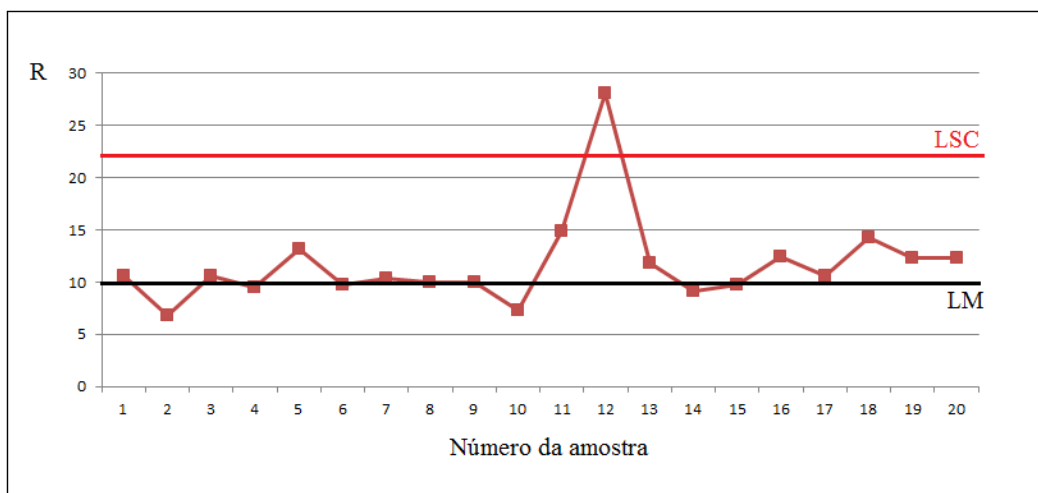


Figura 2 – Gráfico de controle da amplitude

Mesmo que a média não se altere, o poder individual do gráfico de R não é tão forte quanto o poder conjunto dos gráficos de $\bar{X}$ e R para detectar aumentos na dispersão do processo, já que um aumento na dispersão aumenta a probabilidade de um valor de $\bar{X}$ cair na região de ação do gráfico de médias. Porém, a recíproca não é verdade, pois o gráfico de R não é sensível a alterações na média do processo (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2005).

2.3 Gráfico de controle da variância (S^2)

Devido à simplicidade do cálculo da amplitude amostral R, o gráfico de R tem sido mais utilizado que o gráfico da variância S^2 . Para amostras grandes, o gráfico da variância tem se mostrado mais eficiente que o da amplitude; contudo, para amostras menores, o gráfico da amplitude revelou-se tão eficiente quanto ele. A diferença só se faz perceptível a partir de amostras de tamanho de dez unidades (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2005).

Um gráfico de controle da variância assemelha-se muito com o apresentado na Figura 2 (Gráfico de controle da amplitude), com objetivo de detectar alterações na dispersão do processo.

2.4 Processos independentes e autocorrelacionados

Segundo Montgomery (2001) e Montgomery e Mastrangelo (1991) muitos processos industriais apresentam observações que dependem uma das outras e a denominação para esse tipo de fenômeno é de processos autocorrelacionados. Devido ao elevado nível de automação nas indústrias químicas e metalúrgicas, muitas amostras apresentam correlação, por serem processos contínuos, diferentemente da época de Shewhart.

Quando a característica que está sendo medida possui algum grau de dependência ou autocorrelação, a probabilidade de uma amostra estar fora dos limites de controle estabelecidos aumenta e isso compromete a credibilidade do mesmo pela ocorrência de alarmes falsos (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2005).

A Figura 3 apresenta um exemplo de gráfico de controle com processo autocorrelacionado. Nota-se que quando uma observação está abaixo do LIC, as subsequentes também estão (amostras 5, 6 e 7). O mesmo ocorre com as amostras 8, 9 e 10 que estão abaixo da LM.

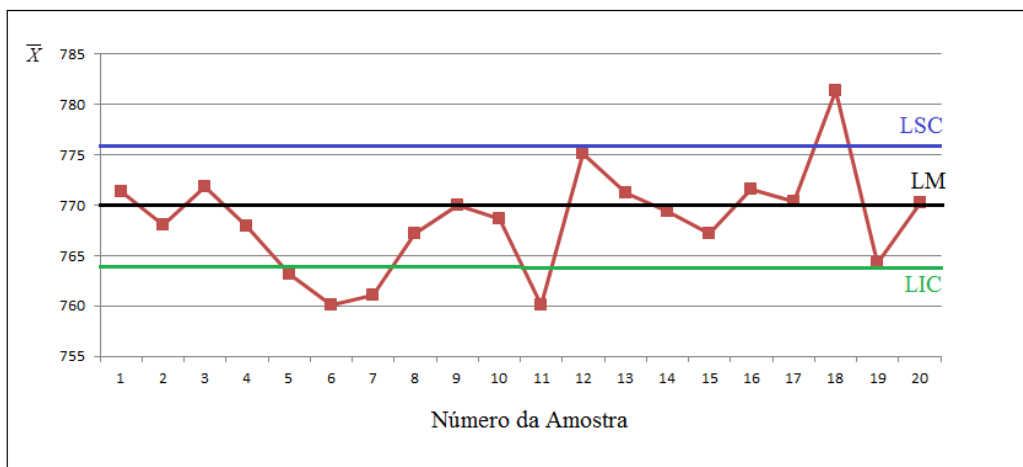


Figura 3 – Gráfico de controle de um processo autocorrelacionado

Se for observado que a correlação é uma causa especial entre as observações, o correto seria eliminá-la. Porém se ela é inerente ao processo, ela tem que ser considerada no planejamento dos gráficos de controle para evitar excesso de alarmes falsos. (VANDER WIEL, 1996; REYNOLDS; LU, 1997; VAN BRACKLE; REYNOLDS, 1997).

Portanto, antes de se iniciar o monitoramento de um processo, deve-se identificar se há geração de observações independentes ou se há observações autocorrelacionadas. Se ocorrer a

utilização de um gráfico de controle inadequado, que produza alarmes falsos em excesso, acabará descartado, ou pior, mantido apenas para cumprir alguma exigência formal; os alarmes são simplesmente ignorados pelo pessoal envolvido com o processo (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2005).

No presente trabalho serão estudados os principais gráficos de controle utilizados no monitoramento de características de qualidade representadas por variáveis contínuas (gráficos de controle por variáveis), ou seja, o gráfico de $\bar{X}$, o da amplitude R e o da variância S^2 (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2005).

3 DESCRIÇÃO DO MODELO E SOFTWARE UTILIZADO

3.1 Modelo utilizado

O modelo utilizado de monitoramento e avaliação do processo é o AR(1) representado pela equação (1):

$$X_t = \mu(1-\phi) + \phi X_{t-1} + \varepsilon_t \quad t = 1, 2, 3, \dots, m \quad (1)$$

No qual X_t é a variável estudada em dado instante t , μ é a média do processo, ϕ é o coeficiente de autocorrelação e ε_t é o erro aleatório do processo que é uma normal com média 0 e desvio padrão 1 ($\sim N[0,1]$).

Este trabalho avalia o comportamento dos gráficos de controle de $\bar{X}$ e R e, também, de $\bar{X}$ e S^2 . No presente trabalho foram avaliados os desempenhos dos gráficos de controle nas seguintes condições:

- O processo é totalmente independente.
- O processo é autocorrelacionado.
- O processo com diferentes tamanhos de amostras (4 e 5).

O desvio padrão do modelo AR-1 (σ_x) no instante t depende de σ_e e do coeficiente de autocorrelação, como mostra equação (2):

$$\sigma_x^2 = \sigma_e^2 / (1 - \phi^2) \quad (2)$$

Portanto, quando o processo não apresenta nenhum grau de correlação, o desvio padrão do processo assume o valor 4.

Inicialmente é necessária a construção dos gráficos de controle com o processo ajustado. No presente trabalho, decidiu-se pela utilização de uma média (μ) no valor de 770 e com desvio padrão (σ) de 4. Os tamanhos de amostras (n) retiradas e estudadas aqui são para os valores de 4 e 5 em um total de 10000 variáveis geradas. O algoritmo desenvolvido solicitará os limites de controle da média, os quais correspondem ao fator de abertura (k) padrão igual a 3.21, e da amplitude.

Se o processo é independente, o coeficiente de correlação (ϕ) é igual a zero (não há correlação), caso contrário, é diferente de zero. Neste caso, o simulador utiliza 3 valores para o parâmetro ϕ – 0.2 (baixa correlação), 0.5 (média correlação) e 0.7 (alta correlação). No caso de observações independentes, não há autocorrelação e o modelo se simplifica como mostra a equação (3):

$$X_t = \mu + \varepsilon_t \quad t = 1, 2, 3, \dots, m \quad (3)$$

O objetivo do algoritmo construído é determinar o NMA (número médio de amostras até o sinal) e ajustar o processo para o valor de 370,4. Este corresponde a uma taxa de alarmes falsos (α) de 0,0027, sendo que $\alpha = 1/\text{NMA}$ (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2005). Com o uso do simulador dificilmente será gerado um valor de NMA exatamente igual a 370,4, assim, qualquer valor obtido entre 369 e 371 será considerado satisfatório. O fator de abertura (k) correspondente a essa taxa de alarmes falsos é de 3,21.

A constante que expressa o efeito da autocorrelação na abertura dos limites de controle, para exemplo de $n=4$, está representada na equação (4).

$$C_2 = \sqrt{4/(4 + 6\phi + 4\phi^2 + 2\phi^3)} \quad (4)$$

Quanto maior for a autocorrelação (maior o valor de ϕ) mais espaçados terão que ser os limites de controle e menor será o poder de detecção, isto é, a capacidade do gráfico em sinalizar desajustes na média do processo. A equação (5) representa esse poder de detecção.

$$P = \Phi(-k - C_2\delta\sqrt{n}) + \Phi(-k + C_2\delta\sqrt{n}) \quad (5)$$

Uma vez obtidos os limites de controle por meio das simulações, faz – se vários deslocamentos na média do processo ($\delta=0,5$; $\delta=1,0$; $\delta=1,5$; $\delta=2,0$; $\delta=2,5$; $\delta=3,0$). Qualquer deslocamento deixa o processo desajustado, dessa forma, obtém – se o NMA correspondente ao desajuste. O mesmo foi feito para o deslocamento do desvio-padrão (λ) deslocando-o com os valores de 1,2; 1,5 e 2,0. As equações (6) e (7) correspondem ao deslocamento da média e do desvio-padrão, respectivamente.

$$\delta = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_0} \quad (6)$$

$$\lambda = \frac{\sigma_1}{\sigma_0} \quad (7)$$

As simulações foram realizadas para que, com o processo em controle, 50% dos sinais ocorressem para o gráfico de $\bar{X}$ e 50% para o gráfico de R. O mesmo foi feito para os gráficos de $\bar{X}$ e S^2 .

3.2 Software Fortran

O *software* usado no presente trabalho trata-se do *Fortran PowerStation version 4.0*, no qual foram desenvolvidos todos os algoritmos para simulação dos dados. Essa linguagem de programação foi escolhida devido a sua vasta gama de ferramentas estatísticas, facilitando assim, a modelagem do algoritmo.

No apêndice A encontra-se os algoritmos desenvolvidos para o cálculo do NMA para os gráficos da média e da amplitude e dos gráficos da média e da variância, respectivamente.

4 RESULTADOS

A seguir serão apresentados os *NMA*s para processos cujas observações são independentes e autocorrelacionadas; utilizando-se gráficos de $\bar{X}$ e R e os gráficos de $\bar{X}$ e S^2 com alterações nos na média e no desvio-padrão do processo.

4.1 Processos independentes (Gráficos de $\bar{X}$ e R)

Os limites de controle devem ser calculados, com o processo ajustado, para que se possa estabelecer a região de ação do gráfico. As fórmulas utilizadas estão representadas pelas equações (8) e (9), nas quais a média (μ) utilizada foi de 770, fator de abertura (k) de 3,21, desvio-padrão (σ) de 4 e tamanho de amostra (n) de 4 e/ou 5.

$$LSC = \mu + k \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \quad (8)$$

$$LIC = \mu - k \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \quad (9)$$

Para o cálculo dos limites de controle da amplitude utilizam-se as equações 6 e 7, as quais seguem uma distribuição acumulada da amplitude relativa W . Por definição, a amplitude não pode ser negativa; portanto, nesses casos, o LIC_R é zerado.

$$LSC_R = w_{1-\alpha/2}^* \sigma_0 \quad (10)$$

$$LIC_R = w_{\alpha/2}^* \sigma_0 \quad (11)$$

Substituindo os valores mencionados acima para amostras de tamanho 4 e variando os valores de deslocamento da média (δ) e deslocamento do desvio-padrão (λ) obteve-se os dados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – LC processo independente $n=4$ ($\bar{X}$ e R)

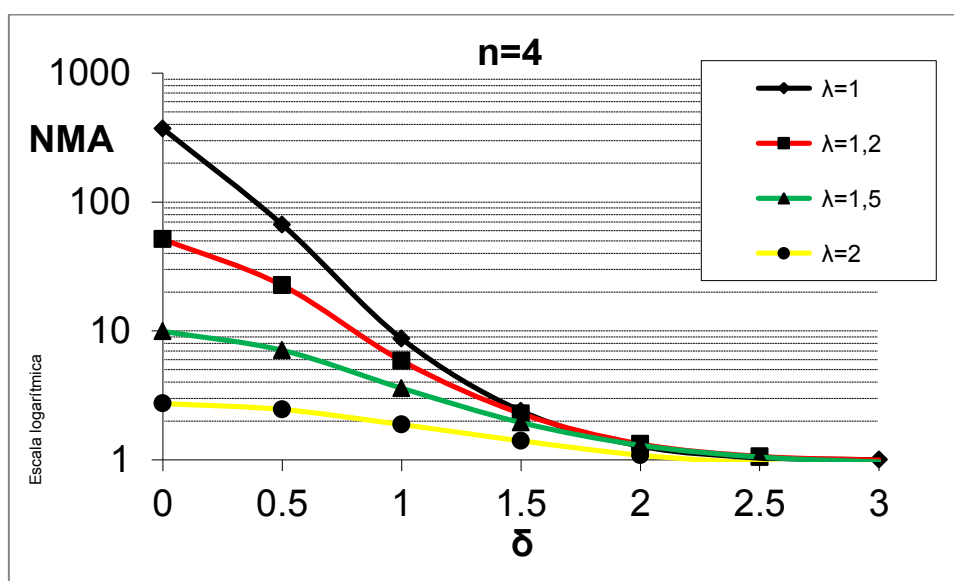
Desvio-padrão(λ)	LIC	LSC	LCR
1,0	763,58	776,42	20,79
1,2	762,30	777,70	24,95
1,5	760,37	779,63	31,15
2,0	757,17	782,83	41,57

Substituindo os mesmos valores, porém, para amostras de tamanho 5 obteve-se os dados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – LC processo independente $n= 5$ ($\bar{X}$ e R)

Desvio-padrão(λ)	LIC	LSC	LCR
1,0	764,26	775,74	21,50
1,2	763,12	776,88	25,80
1,5	761,40	778,60	32,30
2,0	758,52	781,48	43,00

A Figura 4 apresenta os dados obtidos em forma de gráfico em função do NMA pelo σ para amostras de tamanho 4 e a Figura 5 para amostras de tamanho 5. Assim, pode-se observar o desempenho dos gráficos. No apêndice B encontram-se os exatos valores obtidos para os NMAs.

Figura 4 – NMAs obtidos para processos independentes ($n=4$) – $\bar{X}$ e R

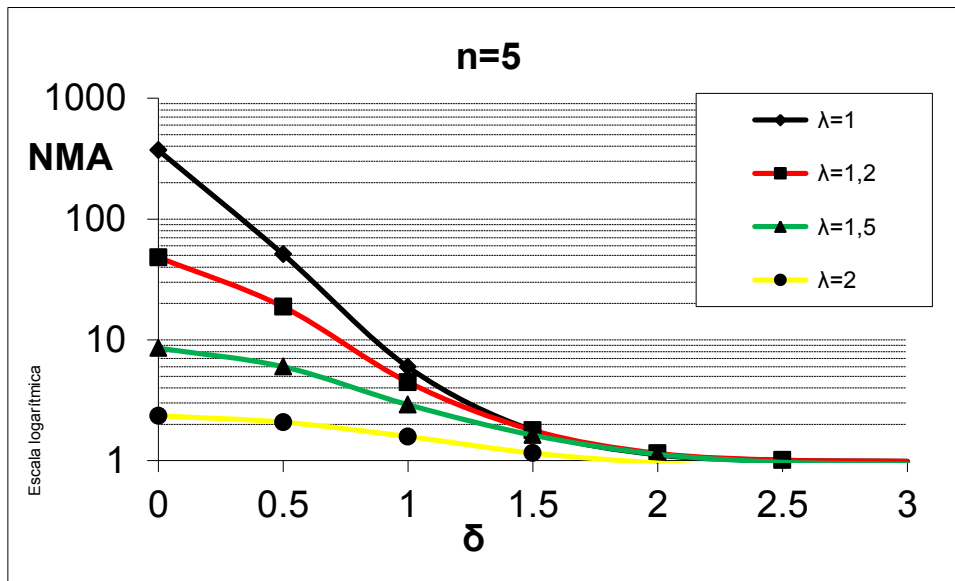


Figura 5 – NMAs obtidos para processos independentes ($n=5$) – $\bar{X}$ e R

4.2 Processos independentes (Gráficos de $\bar{X}$ e S^2)

Para o cálculo dos limites de controle da variância utilizam-se as equações (12) e (13), as quais seguem uma distribuição de qui-quadrado. Por definição, a variância não pode ser negativa; portanto, nesses casos, o LICs² é zerado.

$$LSC_{S^2} = \frac{\sigma^2}{n-1} \chi^2_{n-1, \alpha/2} \quad (12)$$

$$LIC_{S^2} = \frac{\sigma^2}{n-1} \chi^2_{n-1, 1-\alpha/2} \quad (13)$$

Substituindo os valores mencionados acima para amostras de tamanho 4 e variando os valores de deslocamento da média (δ) e deslocamento do desvio-padrão (λ) obteve-se os dados apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – LC processo independente $n=4$ ($\bar{X}$ e R)

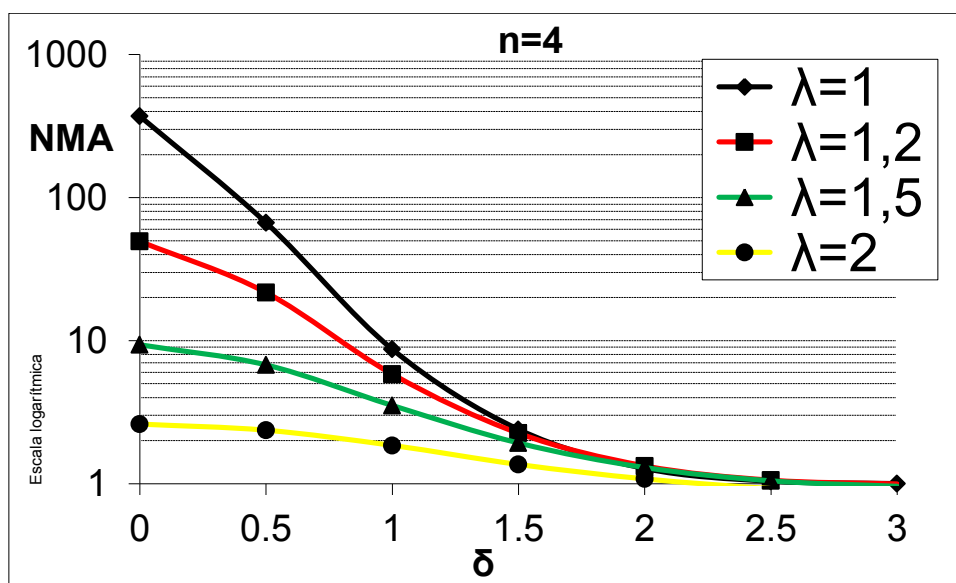
Desvio-padrão(λ)	LIC	LSC	LCS ²
1,0	763,58	776,42	83,20
1,2	762,30	777,70	119,81
1,5	760,37	779,63	187,20
2,0	757,17	782,83	332,80

Substituindo os mesmos valores, porém, para amostras de tamanho 5 obteve-se os dados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – LC para processo independente $n=5$ ($\bar{X}$ e R)

Desvio-padrão(λ)	LIC	LSC	LCS ²
1,0	764,26	775,74	71,20
1,2	763,12	776,88	102,50
1,5	761,40	778,60	160,22
2,0	758,52	781,48	284,50

A Figura 6 apresenta os dados obtidos em forma de gráfico em função do NMA pelo σ para amostras de tamanho 4 e a Figura 7 para amostras de tamanho 5. Assim, pode-se observar o desempenho dos gráficos.

Figura 6 – NMAs obtidos para processos independentes ($n=4$) – $\bar{X}$ e S^2

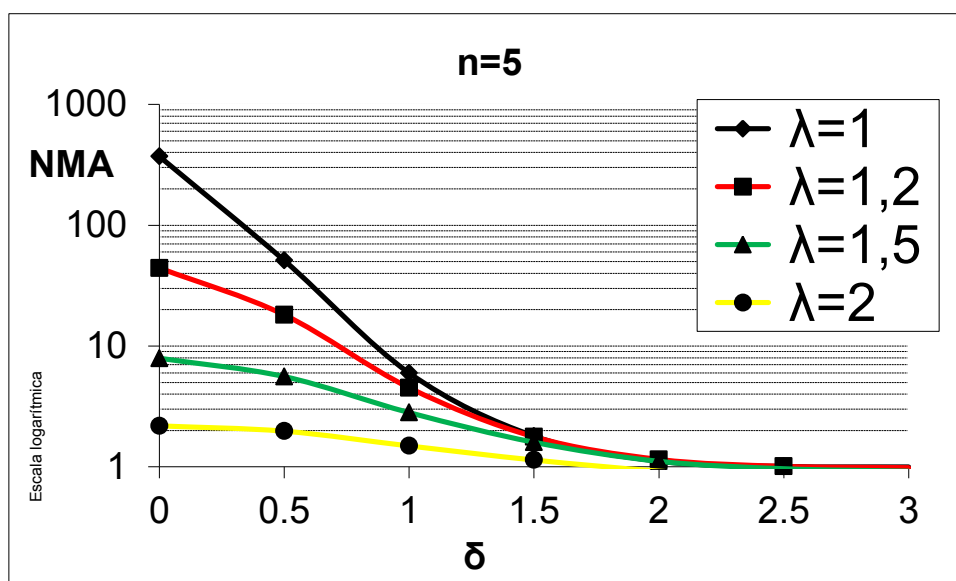


Figura 7 – NMAs obtidos para processos independentes ($n=5$) – $\bar{X}$ e S^2

4.3 Processos autocorrelacionados (Gráficos de $\bar{X}$ e R)

Para os processos autocorrelacionados é necessário ajustar os limites de controle para que o valor de 370,4 do NMA seja atingido, ou seja, é necessário alargar seus limites. As Tabelas de 5 a 12 mostram tal ajuste com o fator de abertura k alargado.

Tabela 5 – LC processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1$ ($\bar{X}$ e R)

ϕ	LIC	LSC	LCR	k
0,0	763,58	776,42	20,79	3,21
0,2	762,45	777,55	20,04	3,78
0,5	759,95	780,05	19,61	5,02
0,7	757,54	782,46	19,55	6,23

Tabela 6 – LC processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,2$ ($\bar{X}$ e R)

ϕ	LIC	LSC	LCR	k
0,0	762,3	777,70	24,95	3,21
0,2	760,93	779,07	24,04	3,78
0,5	757,94	782,06	23,53	5,02
0,7	755,05	784,95	23,47	6,23

Tabela 7 – LC processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,5$ ($\bar{X}$ e R)

ϕ	LIC	LSC	LCR	k
0,0	760,37	779,63	31,15	3,21
0,2	758,66	781,34	30,08	3,78
0,5	754,91	785,09	29,37	5,02
0,7	751,32	788,68	29,30	6,23

Tabela 8 – LC processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=2,0$ ($\bar{X}$ e R)

ϕ	LIC	LSC	LCR	k
0,0	757,17	782,83	41,57	3,21
0,2	754,90	785,10	40,15	3,78
0,5	749,87	790,13	39,13	5,02
0,7	745,05	794,95	39,10	6,23

Tabela 9 – LC processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1$ ($\bar{X}$ e R)

ϕ	LIC	LSC	LCR	k
0,0	764,26	775,74	21,50	3,21
0,2	763,16	776,84	21,03	3,82
0,5	760,54	779,46	21,11	5,29
0,7	757,76	782,24	21,48	6,84

Tabela 10 - LC processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,2$ ($\bar{X}$ e R)

ϕ	LIC	LSC	LCR	k
0,0	763,12	776,88	25,80	3,21
0,2	761,79	778,21	25,26	3,82
0,5	758,65	781,35	25,33	5,29
0,7	755,30	784,70	25,76	6,84

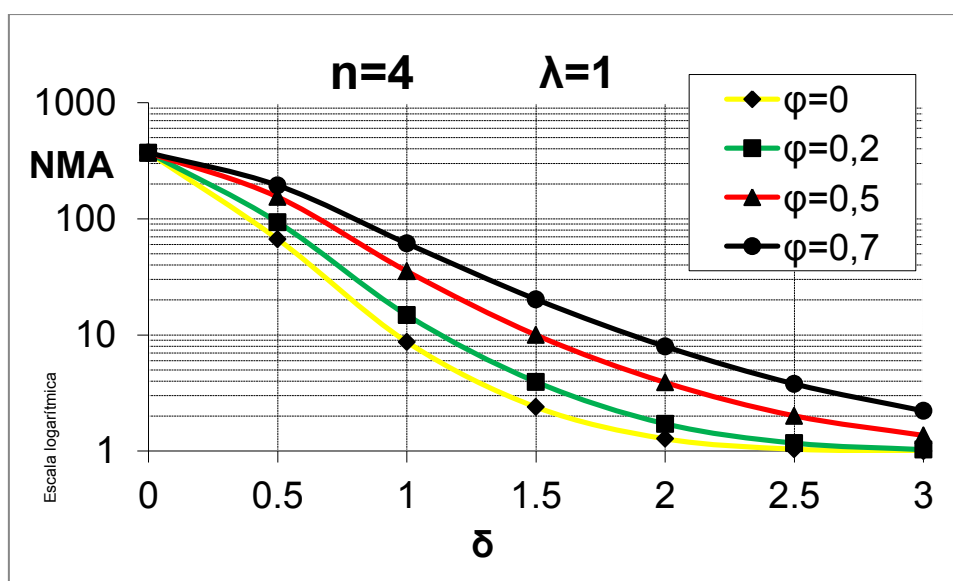
Tabela 11 - LC processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,5$ ($\bar{X}$ e R)

ϕ	LIC	LSC	LCR	k
0,0	761,40	778,60	32,30	3,21
0,2	759,75	780,25	31,53	3,82
0,5	755,79	784,21	31,67	5,29
0,7	751,64	788,36	32,25	6,84

Tabela 12 - LC processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=2,0$ ($\bar{X}$ e R)

ϕ	LIC	LSC	LCR	k
0,0	758,52	781,48	43,00	3,21
0,2	756,35	783,65	42,15	3,82
0,5	751,11	788,89	42,27	5,29
0,7	745,50	794,50	43,00	6,84

As Figuras de 8 a 11 apresentam os dados obtidos em forma de gráfico em função do NMA pelo σ para amostras de tamanho 4 com o efeito da autocorrelação e as Figuras de 12 a 15 para amostras de tamanho 5. Assim, pode-se observar o desempenho dos gráficos. No apêndice C encontram-se os valores exatos dos NMAs obtidos e utilizados para construção desses gráficos.

Figura 8 – NMAs obtidos para processos autocorrelacionados ($n=4$, $\lambda=1,0$) – $\bar{X}$ e R

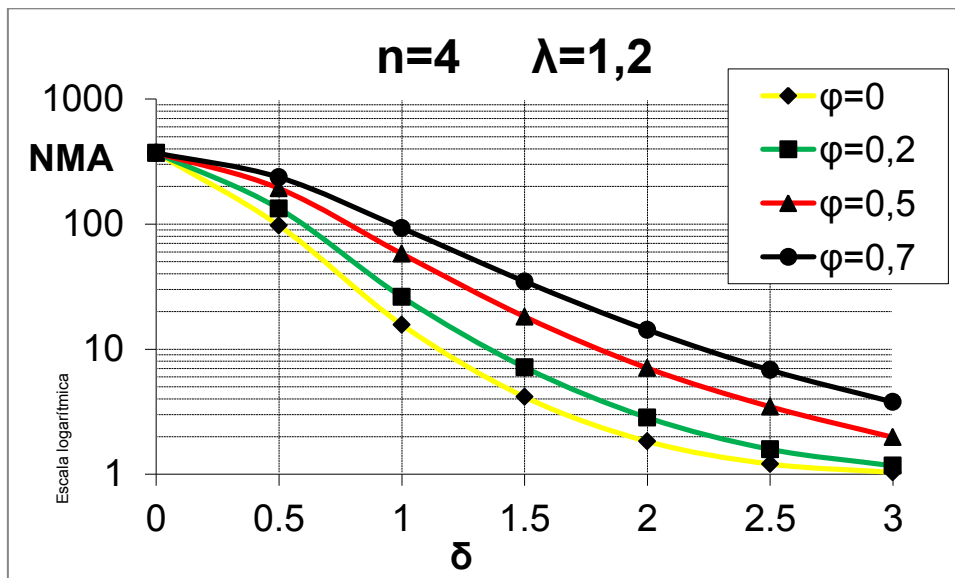


Figura 9 – NMAs obtidos para processos autocorrelacionados ($n=4, \lambda=1,2$) – $\bar{X}$ e R

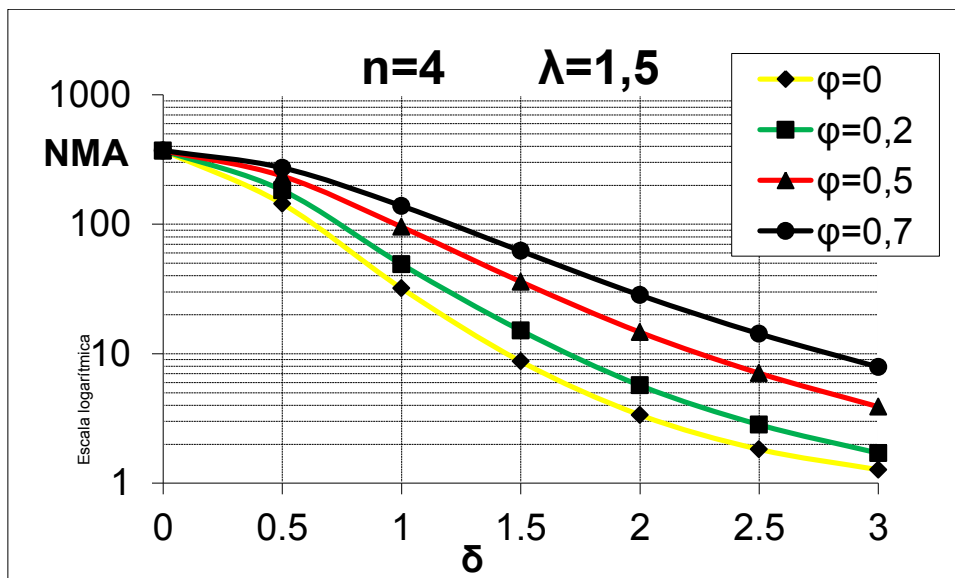


Figura 10 – NMAs obtidos para processos autocorrelacionados ($n=4, \lambda=1,5$) – $\bar{X}$ e R

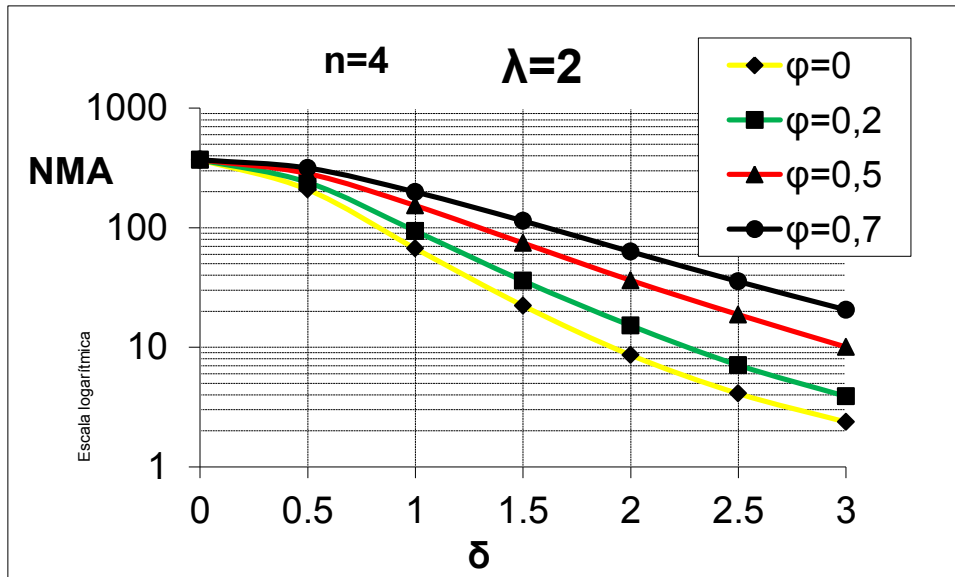


Figura 11 – NMAs obtidos para processos autocorrelacionados ($n=4, \lambda=2,0$) – $\bar{X}$ e R

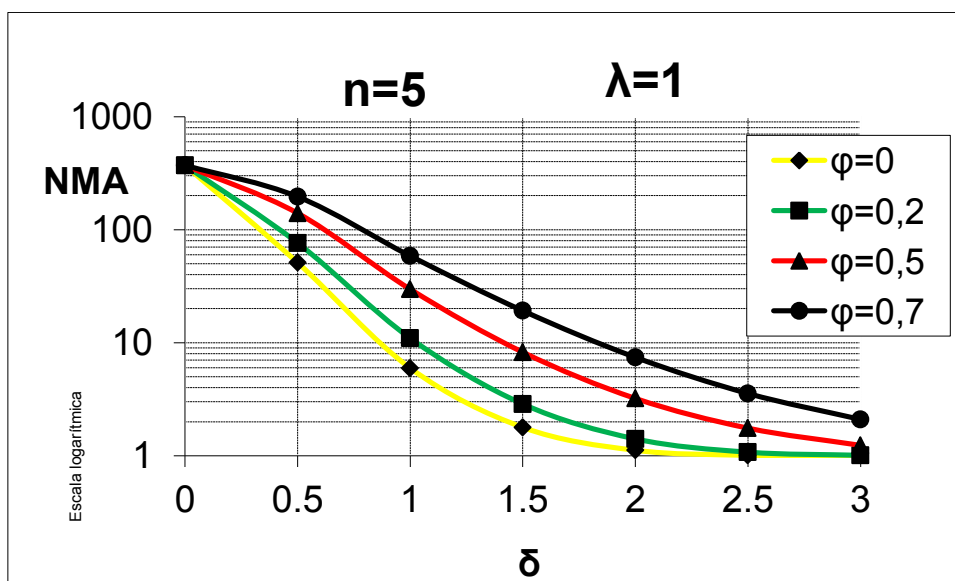


Figura 12 – NMAs obtidos para processos autocorrelacionados ($n=5, \lambda=1,0$) – $\bar{X}$ e R

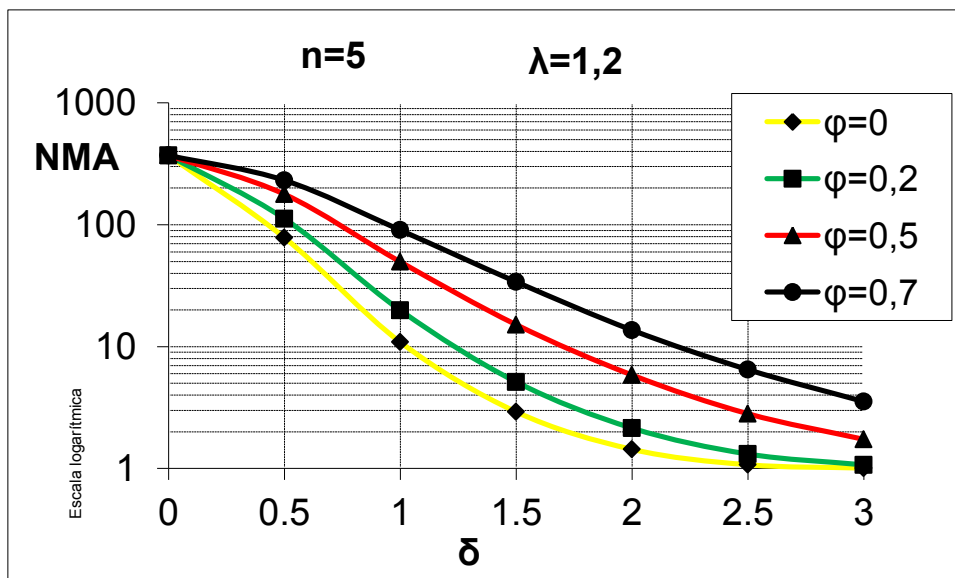


Figura 13 – NMAs obtidos para processos autocorrelacionados ($n=5$, $\lambda=1,5$) – $\bar{X}$ e R

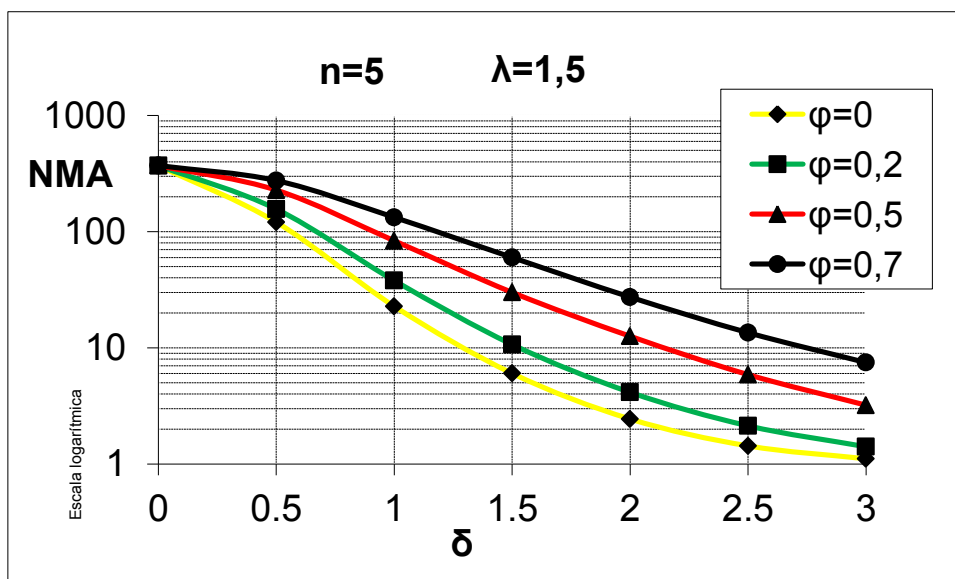


Figura 14 – NMAs obtidos para processos autocorrelacionados ($n=5$, $\lambda=1,5$) – $\bar{X}$ e R

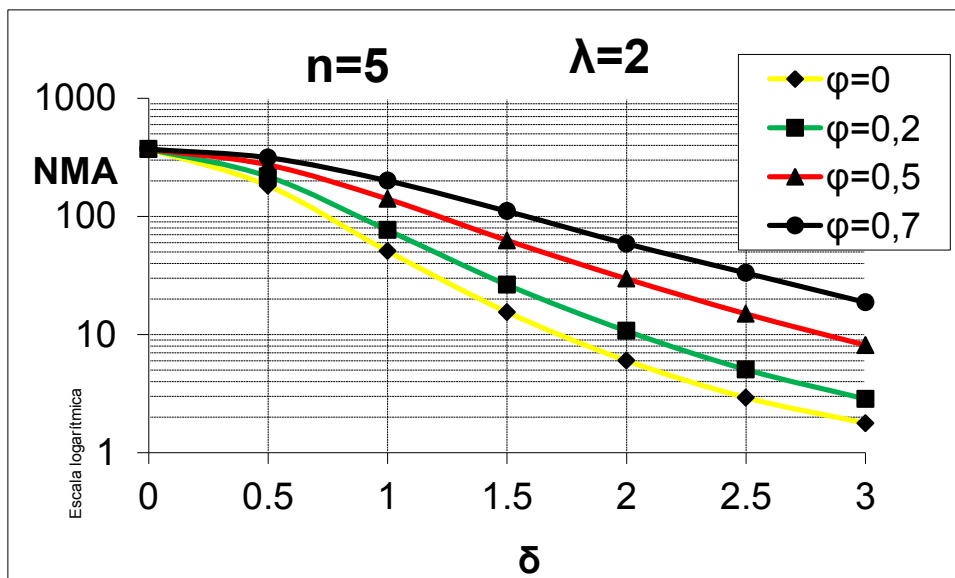


Figura 15 – NMAs obtidos para processos autocorrelacionados ($n=5$, $\lambda=1,5$) – $\bar{X}$ e R

4.4 Processos autocorrelacionados (Gráficos de $\bar{X}$ e S^2)

Para os processos autocorrelacionados é necessário ajustar os limites de controle para que o valor de 370,4 do NMA seja atingido, ou seja, é necessário alargar seus limites. As Tabelas de 13 a 20 mostram tal ajuste com o fator de abertura k alargado.

Tabela 13 - LC processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1$ ($\bar{X}$ e S^2)

ϕ	LIC	LSC	LCS ²	k
0,0	763,58	776,42	83,2	3,21
0,2	762,45	777,55	78,29	3,78
0,5	759,95	780,05	76,20	5,02
0,7	757,52	782,48	76,30	6,24

Tabela 14 - LC processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,2$ ($\bar{X}$ e S^2)

ϕ	LIC	LSC	LCS ²	k
0,0	762,30	777,70	119,81	3,21
0,2	760,93	779,07	112,20	3,78
0,5	757,94	782,06	109,70	5,02
0,7	755,01	784,99	109,95	6,24

Tabela 15 - LC processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,5$ ($\bar{X}$ e S^2)

ϕ	LIC	LSC	LCS ²	k
0,0	760,37	779,63	187,20	3,21
0,2	758,70	781,30	176,25	3,77
0,5	754,91	785,09	172,19	5,03
0,7	751,39	788,61	172,21	6,21

Tabela 16 - LC processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=2,0$ ($\bar{X}$ e S^2)

ϕ	LIC	LSC	LCS ²	k
0,0	757,17	782,83	332,80	3,21
0,2	754,88	785,12	311,54	3,78
0,5	749,93	790,07	306,51	5,02
0,7	745,13	794,87	308,48	6,22

Tabela 17 - LC processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1$ ($\bar{X}$ e S^2)

ϕ	LIC	LSC	LCS ²	k
0,0	764,26	775,74	71,20	3,21
0,2	763,16	776,84	68,80	3,83
0,5	760,54	779,46	73,48	5,29
0,7	757,71	782,29	77,90	6,87

Tabela 18 - LC processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,2$ ($\bar{X}$ e S^2)

ϕ	LIC	LSC	LCS ²	k
0,0	763,12	776,88	102,50	3,21
0,2	761,80	778,20	99,50	3,82
0,5	758,66	781,34	105,90	5,28
0,7	755,30	784,70	111,90	6,85

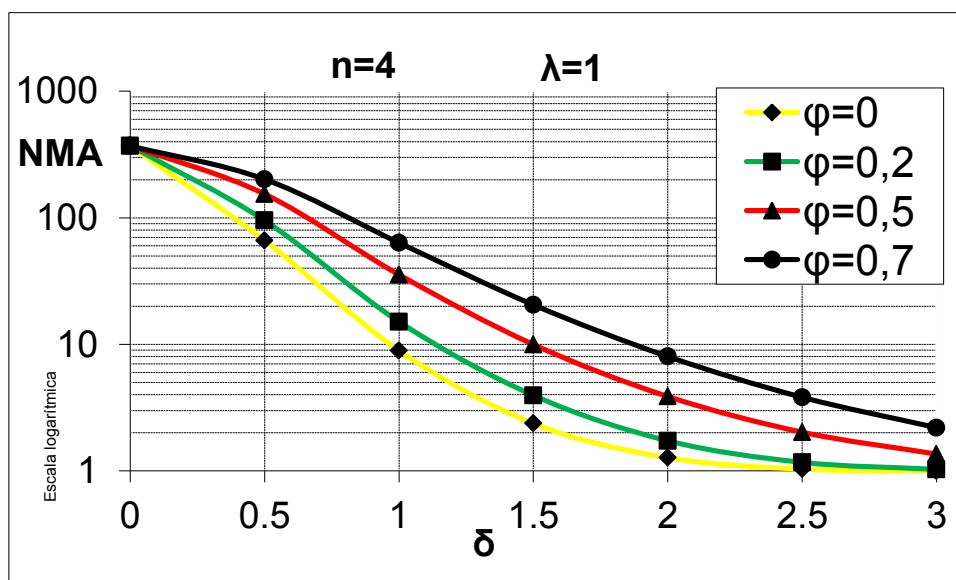
Tabela 19 - LC processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,5$ ($\bar{X}$ e S^2)

ϕ	LIC	LSC	LCS ²	k
0,0	761,40	778,60	160,22	3,21
0,2	759,74	780,26	155,28	3,82
0,5	755,83	784,17	165,93	5,28
0,7	751,65	788,35	176,82	6,84

Tabela 20 - LC processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=2,0$ ($\bar{X}$ e S^2)

ϕ	LIC	LSC	LCS ²	k
0,0	758,52	781,48	284,50	3,21
0,2	756,32	783,68	275,65	3,82
0,5	751,05	788,95	293,47	5,30
0,7	745,52	794,48	312,80	6,84

As Figuras de 16 a 19 apresenta os dados obtidos em forma de gráfico em função do NMA pelo σ para amostras de tamanho 4 com o efeito da autocorrelação e as Figuras de 20 a 23 para amostras de tamanho 5. Assim, pode-se observar o desempenho dos gráficos.

Figura 16 – NMAs obtidos para processos independentes ($n=4$, $\lambda=1,0$) - $\bar{X}$ e S^2

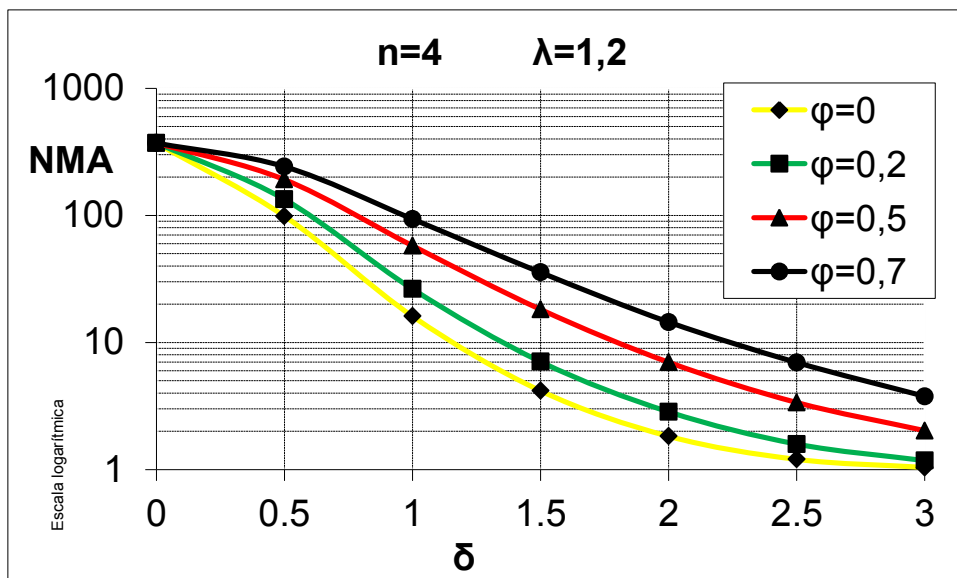


Figura 17 – NMAs obtidos para processos independentes ($n=4, \lambda=1,2$) - $\bar{X}$ e S^2

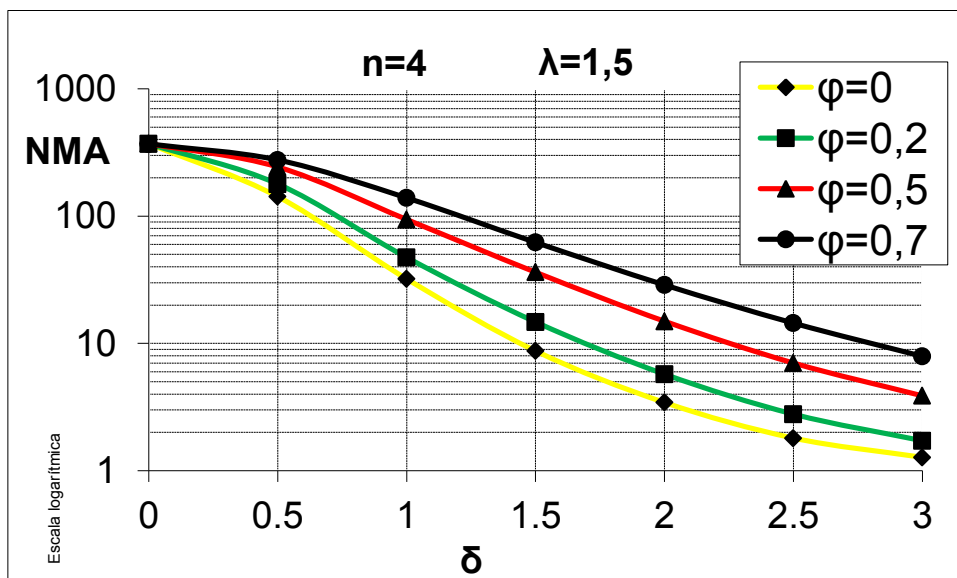


Figura 18 – NMAs obtidos para processos independentes ($n=4, \lambda=1,5$) - $\bar{X}$ e S^2

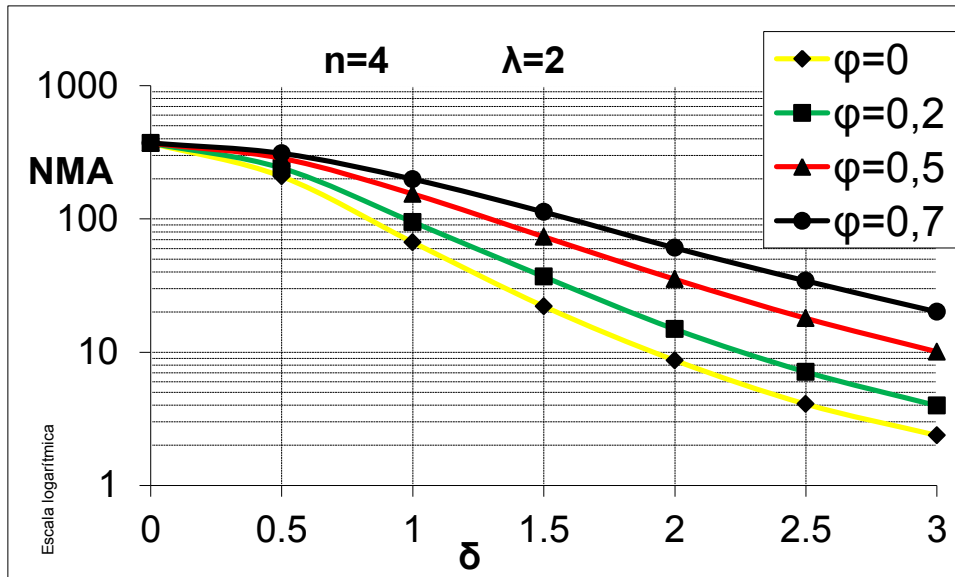


Figura 19 – NMAs obtidos para processos independentes ($n=4, \lambda=2,0$) - $\bar{X}$ e S^2

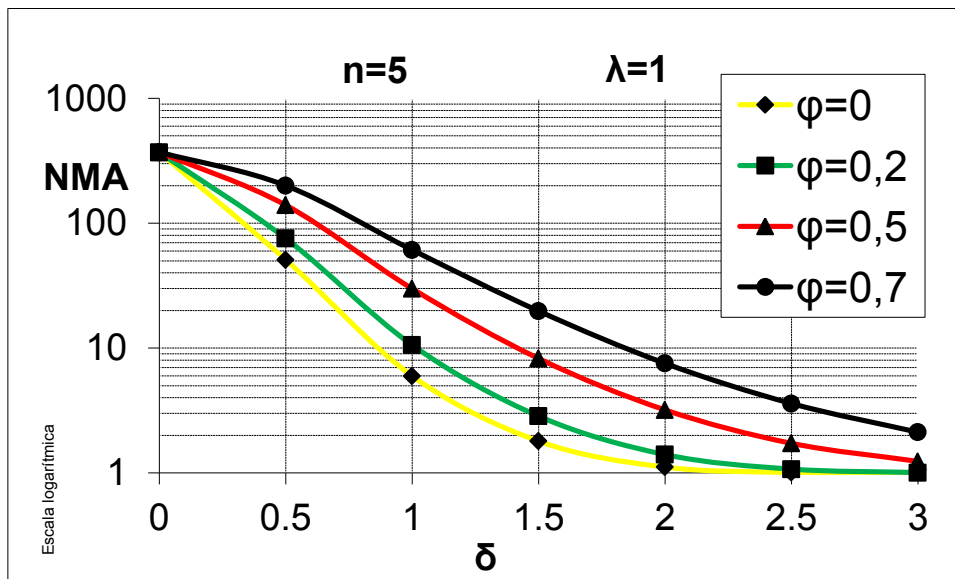


Figura 20 – NMAs obtidos para processos independentes ($n=5, \lambda=1,0$) - $\bar{X}$ e S^2

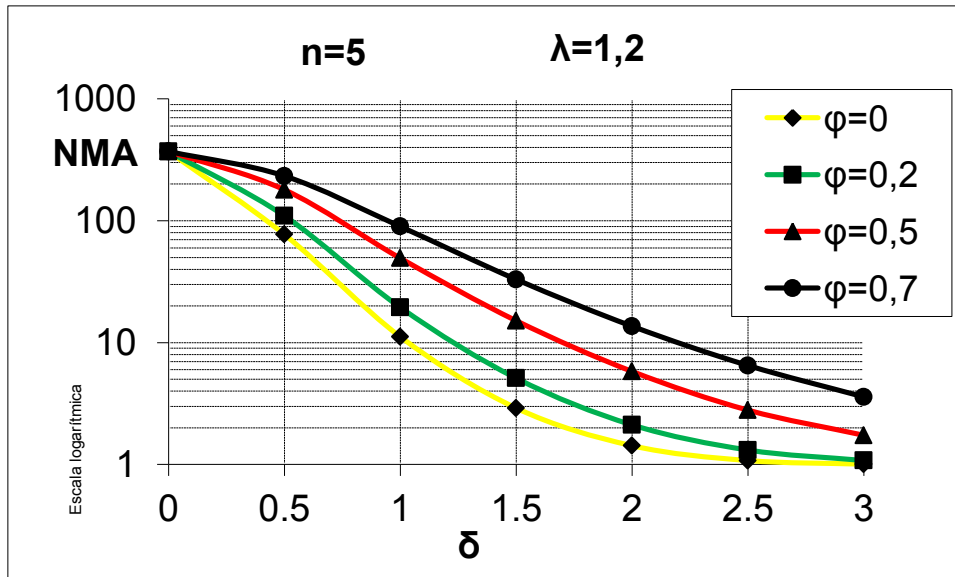


Figura 21 – NMAs obtidos para processos independentes ($n=5$, $\lambda=1,2$) - $\bar{X}$ e S^2

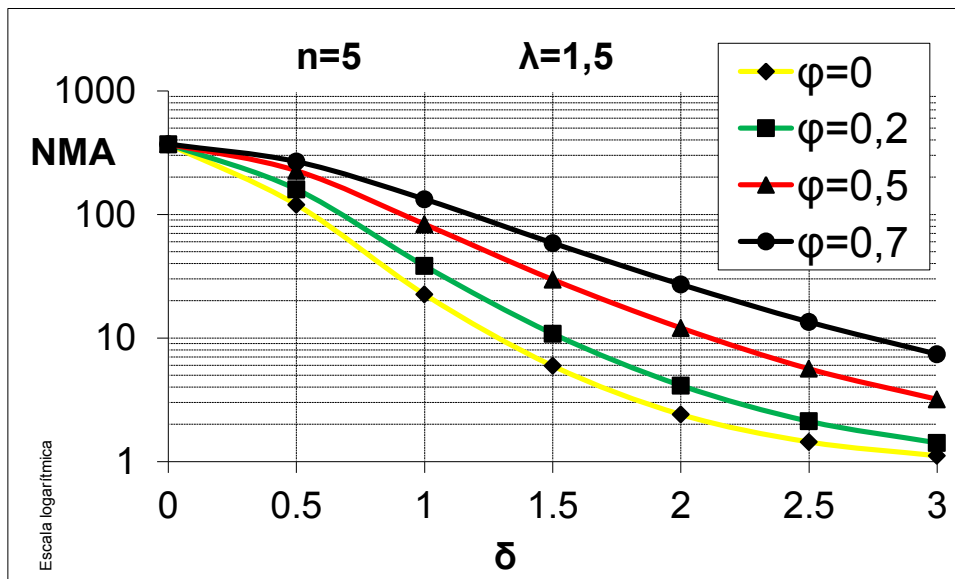


Figura 22 – NMAs obtidos para processos independentes ($n=5$, $\lambda=1,5$) - $\bar{X}$ e S^2

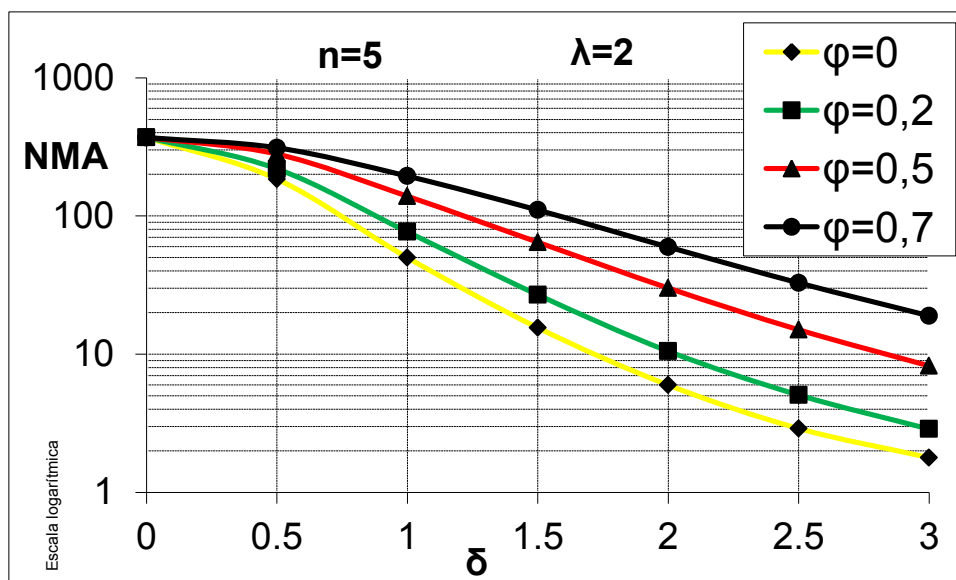


Figura 23 – NMAs obtidos para processos independentes ($n=5, \lambda=2,0$) - $\bar{X}$ e S^2

5 ANÁLISES DOS RESULTADOS

5.1 Análises dos limites de controle e dos NMAs para processos independentes

5.1.1 Gráficos de $\bar{X}$ e R

Observando as Tabelas 1 e 2, percebe-se que os limites de controle se alargam, tanto para média quanto para a amplitude, quando submetidos ao deslocamento do desvio-padrão. Observando as Figuras 4 e 5, percebe-se que com o deslocamento do desvio-padrão e da média, os valores dos NMAs diminuem significativamente, ou seja, o processo está sinalizando mais rápido os desajustes. Isto ocorre para as amostras de tamanho 4 como para as de tamanho 5.

5.1.2 Gráficos de $\bar{X}$ e S^2

Observando as Tabelas 3 e 4, percebe-se o mesmo efeito das tabelas dos gráficos de $\bar{X}$ e R, ou seja, os limites de controle se alargam, tanto para média quanto para a amplitude, quando submetidos ao deslocamento do desvio-padrão. Isto ocorre para as amostras de tamanho 4 como para as de tamanho 5.

5.2 Análises dos limites de controle e dos NMAs para processos autocorrelacionados

5.2.1 Gráficos de $\bar{X}$ e R

Pela análise das Tabelas de 5 a 12, nota-se que com o aumento do efeito da correlação, há um alargamento do fator de abertura k e que, com o deslocamento de λ , os valores de k permanecem semelhantes. Ao se analisar as Figuras de 8 a 15, em relação ao efeito da correlação, percebe-se que o gráfico de controle fica mais lento na sinalização de mudanças no processo (maior o valor do NMA) e que quanto maior λ , mais expressivo é esse efeito. Pela análise do aumento de δ , o gráfico de controle torna-se mais rápido, ou seja, sinaliza

alterações no processo rapidamente. É também interessante observar que ao se comparar os valores dos NMAs para os dois tamanhos de amostras, eles não se alteram significativamente.

Percebe-se que com o aumento de δ a frequência de ocorrência de alarmes aumenta para os gráficos de $\bar{X}$, por exemplo, ao se observar a Tabela 21, a taxa de 50,15% aumenta para 90,96% com um deslocamento da média de apenas 0,5 e, conseqüentemente, a frequência de alarmes de R diminui. Ao se analisar as Tabelas 22, 23 e 24 com o aumento de λ ocorre também o mesmo fenômeno, ou seja, há aumento da frequência de alarmes de $\bar{X}$ conforme δ aumenta. O mesmo ocorre com o aumento de δ como pode se observar pelas Tabelas 29, 30, 31 e 32.

5.2.2 Gráficos de $\bar{X}$ e S^2

Pela análise das Tabelas de 13 a 20, nota-se o mesmo efeito dos gráficos de $\bar{X}$ e R, ou seja, com o aumento do efeito da correlação, há um alargamento do fato de abertura k e que, com o deslocamento de λ , os valores de k permanecem semelhantes. Ao se analisar as Figuras de 16 a 23, também nota-se o mesmo efeito, ou seja, em relação ao efeito da correlação, percebe-se que o gráfico de controle fica mais lento na sinalização de mudanças no processo (maior o valor do NMA) e que quanto maior λ , mais expressivo é esse efeito. É também interessante observar que ao se comparar os valores dos NMAs para os dois tamanhos de amostras, eles não se alteram significativamente.

Percebe-se que com o aumento de δ a frequência de ocorrência de alarmes aumenta para os gráficos de $\bar{X}$, por exemplo, ao se observar a Tabela 61, a taxa de 50,15% aumenta para 90,47% com um deslocamento da média de apenas 0,5 e, conseqüentemente, a frequência de alarmes de S^2 diminui. Ao se analisar as Tabelas 62, 63 e 64 com o aumento de λ e de ϕ ocorre também o mesmo fenômeno, ou seja, há aumento da frequência de alarmes de $\bar{X}$ conforme δ aumenta.

Ao se comparar as Tabelas 29 e 30 com as Tabelas 61 e 62 constata-se que os NMAs são muito semelhantes para os gráficos de $\bar{X}$ e R e os gráficos de $\bar{X}$ e S^2 mesmo com o aumento de ϕ , δ e λ .

6 CONCLUSÃO

Este trabalho analisou o desempenho dos gráficos de controle de $\bar{X}$ e R dos gráficos de controle de $\bar{X}$ e S para avaliar seus desempenhos quando submetidos ao efeito da correlação. A escolha desses gráficos se deu pelo fato deles serem os principais gráficos de controle utilizados no monitoramento de características de qualidade representadas por variáveis contínuas (gráficos de controle por variáveis).

Para obtenção dos dados foi utilizado o software FORTRAN para simulação e o modelo proposto foi o AR(1) para processos que apresentam autocorrelação. Assim, foi possível construir os gráficos e realizar análise pertinente ao estudo.

Portanto, conclui-se que a autocorrelação reduz a capacidade de monitoramento do gráfico de $\bar{X}$ e de R e do gráfico de $\bar{X}$ e de S^2 e, conforme o aumento da autocorrelação, eles se tornam muito lentos na sinalização dos desajustes.

Observou-se que para a amostra de tamanho 4, os gráficos de controle ficam mais lentos na sinalização de mudanças no processo (maior o valor do NMA) e com o aumento de λ se torna mais expressivo esse efeito. Já com o aumento de δ o gráfico de controle sinaliza mais rapidamente alterações no processo. O mesmo ocorre para a amostragem de tamanho 5.

Com o aumento de λ a frequência de alarmes de $\bar{X}$ diminui e, por conseguinte, aumenta o de R devido ao fato de deslocar-se apenas o desvio-padrão como mostra a equação 6.

Ao analisar os limites de controle, percebe-se que há um aumento do fator de abertura k quando submetido ao efeito da correlação.

6.1 Sugestões para pesquisas futuras

Levando em consideração que a análise dos gráficos desse estudo foi baseada em modelos de simulação, seria interessante realizar o mesmo trabalho com dados reais obtidos de uma empresa fabril. Assim, pode-se averiguar o comportamento dos gráficos e avaliar se há diferença nos dois casos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARRÉ, R. A. **Gráficos de controle para o monitoramento de processos multivariados autocorrelacionados**. 2012. 52 f. Monografia de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica, Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

CLARO, F. A. E; COSTA, A. F. B; MACHADO, M. A. G. Gráficos de controle de EWMA e de $\bar{X}$ para monitoramento de processos autocorrelacionados, **Produção**, São Paulo, v.17, n.3, p.536-546, set./dez. 2007.

COSTA, A. F. B; EPPRECHT E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle Estatístico de Qualidade**. São Paulo: Editora Atlas, 2ª edição, 2005, 334p.

LEIRAS, A.; COSTA, A. F. B; EPPRECHT E. K. Planejamento do controle estatístico de processos com baixa fração não conforme restrito a amostras pequenas, **Produção**, São Paulo, v.17, n.1, p.139-150, jan./abr. 2007.

MIGUEL, P. A. C. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução, **Produção**, São Paulo, v.17, n.1, p.216-229, jan./abr. 2007.

MONTEIRO, A. F.; COSTA, A. F. B. Gráficos de controle de para o monitoramento de processos autocorrelacionados com regra especial de decisão. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 30, 2010, São Carlos. Anais... Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia de Produção.

MONTEIRO, A. F. **O Efeito do erro de medição no desempenho dos gráficos de controle de $\bar{X}$ com observações independentes e autocorrelacionadas**. 2011. 56 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to Statistical Quality Control**, New York: John Wiley and Sons, 4ª Edição, 2001, 674 p.

MONTGOMERY, D. C.; MASTRANGELO, C. M. Some statistical process control methods for autocorrelated data. **Journal of Quality Technology**, Milwaukee, v.23, p.179-193, 1991.

REYNOLDS, M. R. Jr., LU, C. -W. Control charts for monitoring processes with autocorrelated data. **Nonlinear Analysis, Theory, Methods & Applications**, v.30, p.4059-4067, 1997.

SHEWHART, W. **Statistical method:** from the point of view of quality control. Washington: Dover, 1939.

VAN BRACKLE, III, L. N., REYNOLDS, M. R. Jr., EWMA and CUSUM control charts in the presence of correlation. **Communication in Statistics - Simulation and computation**, Louisiana, v.26, p.979-1008, 1997.

VANDER WIEL, S.A. Monitoring process that wander using integrated moving average models. **Technometrics**, v.38, p.139-151, 1996.

APÊNDICE A – Algoritmos para cálculo de NMAs

Algoritmo 1 – NMAs para processos autocorrelacionados com subgrupos amostrais de tamanho 4 (Gráficos de controle da média e da amplitude)

```

USE msimsl

real X(5),XM/0/,NMA/0/,R,Xmax,Xmin,LIC,LSC

real LCS,VAR,sig,fi,media

real T,CM/0/,CR/0/

integer A/0/,B/1/,C/1/,D/0/,NAS(100000)

print*, 'media'

read*,media

print*, 'Grau correlacao'

read*,fi

print*, 'sigma'

read*,sig

print*, 'Limites de controle da media'

read*,VAR

print*, 'Limites de controle da variancia'

read*,LCS

LSC=media+VAR

LIC=media-VAR

do while(A<10000)

  do while(B<5)

    if(B==1)then

      X(B)=media+sig*RNNOF()

    else

      X(B)=(1-fi)*media + fi*X(B-1) + sig*RNNOF()

    endif

    XM=XM+X(B)

    B=B+1

```

end do

B=2

Xmin=X(1)

Xmax=X(1)

do while(B<5)

 if(X(B)<Xmin)then

 Xmin=X(B)

 endif

 if(X(B)>Xmax)then

 Xmax=X(B)

 endif

B=B+1

end do

XM=XM/4

if(XM<LIC.OR.XM>LSC)then

 NAS(A)=C

 A=A+1

 C=0

 CM=CM+1

endif

R=Xmax-Xmin

if(R>LCS)then

 NAS(A)=C

 A=A+1

 CR=CR+1

 C=0

endif

```

C=C+1

B=1

XM=0

end do

do while(D<10000)

    NMA=NMA+NAS(D)

    D=D+1

end do

NMA=NMA/10000

print*, 'NMA=', NMA

T=CM+CR

CM=(100*CM)/T

CR=(100*CR)/T

print*, 'CM=', CM

print*, 'CR=', CR

print*, 'T=', T

print*, 'LSC=', LSC

print*, 'LCS=', LCS

end

```

Algoritmo 2 – NMAs para processos autocorrelacionados com subgrupos amostrais de tamanho 5 (Gráficos de controle da média e da amplitude)

```

USE msimsl

real X(5), XM/0/, NMA/0/, R, Xmax, Xmin, LIC, LSC

real LCS, VAR, sig, fi, media

real T, CM/0/, CR/0/

integer A/0/, B/1/, C/1/, D/0/, NAS(100000)

print*, 'media'

```

```

read*,media

print*, 'Grau correlacao'

read*,fi

print*, 'sigma'

read*,sig

print*, 'Limites de controle da media'

read*,VAR

print*, 'Limites de controle da variancia'

read*,LCS

LSC=media+VAR

LIC=media-VAR

do while(A<10000)

  do while(B<6)

    if(B==1)then

      X(B)=media+sig*RNNOF()

    else

      X(B)=(1-fi)*media + fi*X(B-1) + sig*RNNOF()

    endif

    XM=XM+X(B)

    B=B+1

  end do

  B=2

  Xmin=X(1)

  Xmax=X(1)

  do while(B<6)

    if(X(B)<Xmin)then

      Xmin=X(B)

    endif

    if(X(B)>Xmax)then

```

```

        Xmax=X(B)
    endif
    B=B+1
end do

XM=XM/5
if(XM<LIC.OR.XM>LSC)then
    NAS(A)=C
    A=A+1
    C=0
    CM=CM+1
endif
R=Xmax-Xmin
if(R>LCS)then
    NAS(A)=C
    A=A+1
    CR=CR+1
    C=0
endif

C=C+1
B=1
XM=0
end do
do while(D<10000)
    NMA=NMA+NAS(D)
    D=D+1
end do

```

```

NMA=NMA/10000

print*,NMA=',NMA

T=CM+CR

CM=(100*CM)/T

CR=(100*CR)/T

print*,CM=',CM

print*,CR=',CR

print*,T=',T

print*,LSC=',LSC

print*,LCS=',LCS

end

```

Algoritmo 3 – NMAs para processos autocorrelacionados com subgrupos amostrais de tamanho 4 (Gráficos de controle da média e da variância)

```

USE msimsl

real X(5),XM/0/,NMA/0/,S,Xmax,Xmin,LIC,LSC

real LCS,VAR,sig,fi,media

real T,CM/0/,CR/0/

integer A/0/,B/1/,C/1/,D/0/,NAS(100000)

print*, 'media'

read*,media

print*, 'Grau correlacao'

read*,fi

print*, 'sigma'

read*,sig

print*, 'Limites de controle da media'

read*,VAR

print*, 'Limites de controle da variancia'

read*,LCS

LSC=media+VAR

```

LIC=media-VAR

do while(A<10000)

do while(B<5)

if(B==1)then

$X(B)=\text{media}+\text{sig}*\text{RNNOF}()$

else

$X(B)=(1-f_i)*\text{media} + f_i*X(B-1) + \text{sig}*\text{RNNOF}()$

endif

$XM=XM+X(B)$

$B=B+1$

end do

$B=2$

$X_{\min}=X(1)$

$X_{\max}=X(1)$

do while(B<5)

if($X(B)<X_{\min}$)then

$X_{\min}=X(B)$

endif

if($X(B)>X_{\max}$)then

$X_{\max}=X(B)$

endif

$B=B+1$

end do

$XM=XM/4$

if($XM<LIC$.OR. $XM>LSC$)then

$NAS(A)=C$

$A=A+1$

```

        C=0

        CM=CM+1

    endif

    S= (((X(1)-XM)**2)+((X(2)-XM)**2)+((X(3)-XM)**2)+((X(4)-XM)**2))/3

    if(S>LCS)then

        NAS(A)=C

        A=A+1

        CR=CR+1

        C=0

    endif


    C=C+1

    B=1

    XM=0

end do

do while(D<10000)

    NMA=NMA+NAS(D)

    D=D+1

end do

NMA=NMA/10000

print*, 'NMA=', NMA

T=CM+CR

CM=(100*CM)/T

CR=(100*CR)/T

print*, 'CM=', CM

print*, 'CR=', CR

print*, 'T=', T

print*, 'LSC=', LSC

print*, 'LCS=', LCS

```

end

Algoritmo 4 – NMAs para processos autocorrelacionados com subgrupos amostrais de tamanho 5 (Gráficos de controle da média e da variância)

```

USE msimsl

real X(5),XM/0/,NMA/0/,S,Xmax,Xmin,LIC,LSC

real LCS,VAR,sig,fi,media

real T,CM/0/,CR/0/

integer A/0/,B/1/,C/1/,D/0/,NAS(100000)

print*, 'media'

read*,media

print*, 'Grau correlacao'

read*,fi

print*, 'sigma'

read*,sig

print*, 'Limites de controle da media'

read*,VAR

print*, 'Limites de controle da variancia'

read*,LCS

LSC=media+VAR

LIC=media-VAR

do while(A<10000)

  do while(B<6)

    if(B==1)then

      X(B)=media+sig*RNNOF()

    else

      X(B)=(1-fi)*media + fi*X(B-1) + sig*RNNOF()

    endif

    XM=XM+X(B)

    B=B+1

```

end do

B=2

Xmin=X(1)

Xmax=X(1)

do while(B<6)

if(X(B)<Xmin)then

Xmin=X(B)

endif

if(X(B)>Xmax)then

Xmax=X(B)

endif

B=B+1

end do

XM=XM/5

if(XM<LIC.OR.XM>LSC)then

NAS(A)=C

A=A+1

C=0

CM=CM+1

endif

$S = (((X(1)-XM)**2) + ((X(2)-XM)**2) + ((X(3)-XM)**2) + ((X(4)-XM)**2) + ((X(5)-XM)**2))/4$

if(S>LCS)then

NAS(A)=C

A=A+1

CR=CR+1

C=0

endif

```
C=C+1

B=1

XM=0

end do

do while(D<10000)

    NMA=NMA+NAS(D)

    D=D+1

end do

NMA=NMA/10000

print*, 'NMA=', NMA

T=CM+CR

CM=(100*CM)/T

CR=(100*CR)/T

print*, 'CM=', CM

print*, 'CR=', CR

print*, 'T=', T

print*, 'LSC=', LSC

print*, 'LCS=', LCS

end
```

APÊNDICE B – NMAs obtidos para observações independentes

Tabela 21 – NMAs processo independente $n=4$, $\lambda=1,0$ ($\bar{X}$ e R)

$\lambda = 1,0$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	50,15	49,85	370,72
0,5	90,96	9,04	66,77
1,0	98,90	1,10	8,71
1,5	99,79	0,21	2,39
2,0	99,83	0,17	1,28
2,5	99,84	0,16	1,04
3,0	99,89	0,11	1,00

Tabela 22 – NMAs processo independente $n=4$, $\lambda=1,2$ ($\bar{X}$ e R)

$\lambda = 1,2$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	38,71	61,29	51,47
0,5	74,54	25,46	22,57
1,0	92,77	7,23	5,87
1,5	97,15	2,85	2,29
2,0	98,53	1,47	1,33
2,5	98,61	1,39	1,06
3,0	98,88	1,12	1,00

Tabela 23 – NMAs processo independente $n=4$, $\lambda=1,5$ ($\bar{X}$ e R)

$\lambda = 1,5$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	32,18	67,82	9,91
0,5	51,82	48,18	7,07
1,0	75,13	24,87	3,60
1,5	86,00	14,00	1,95
2,0	91,17	8,83	1,30
2,5	92,33	7,67	1,05
3,0	93,40	6,60	0,96

Tabela 24 – NMAs processo independente $n=4$, $\lambda=2,0$ ($\bar{X}$ e R)

$\lambda=2,0$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	29,77	70,23	2,73
0,5	37,28	62,72	2,46
1,0	52,30	47,70	1,88
1,5	64,33	35,67	1,40
2,0	71,02	28,98	1,09
2,5	75,76	24,24	0,94
3,0	78,01	21,99	0,85

Tabela 25 – NMAs processo independente $n=5$, $\lambda=1,0$ ($\bar{X}$ e R)

$\lambda=1,0$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	50,02	49,98	370,60
0,5	92,85	7,15	51,02
1,0	99,13	0,87	5,96
1,5	99,78	0,22	1,78
2,0	99,88	0,12	1,12
2,5	99,91	0,09	1,01
3,0	99,87	0,13	0,99

Tabela 26 – NMAs processo independente $n=5$, $\lambda=1,2$ ($\bar{X}$ e R)

$\lambda=1,2$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	35,53	64,47	48,21
0,5	74,90	25,10	18,76
1,0	94,09	5,91	4,47
1,5	97,21	2,79	1,78
2,0	98,30	1,70	1,15
2,5	98,64	1,36	1,01
3,0	98,58	1,42	0,99

Tabela 27 – NMAs processo independente $n=5$, $\lambda=1,5$ ($\bar{X}$ e R)

$\lambda = 1,5$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	28,31	71,69	8,55
0,5	49,75	50,25	5,99
1,0	76,16	23,84	2,91
1,5	86,89	13,11	1,63
2,0	90,54	9,46	1,13
2,5	91,57	8,43	0,97
3,0	92,47	7,53	0,94

Tabela 28 – NMAs processo independente $n=5$, $\lambda=2,0$ ($\bar{X}$ e R)

$\lambda = 2,0$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	25,12	74,88	2,35
0,5	33,84	66,16	2,08
1,0	50,10	49,90	1,58
1,5	62,53	37,47	1,16
2,0	70,17	29,83	0,96
2,5	73,08	26,92	0,84
3,0	75,14	24,86	0,78

APÊNDICE C – NMAs obtidos para observações autocorrelacionadas

Tabela 29 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,0$, $\phi=0,0$ ($\bar{X}$ e R)

$\phi=0,0$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	50,15	49,85	370,72
0,5	90,96	9,04	66,77
1,0	98,90	1,10	8,71
1,5	99,79	0,21	2,39
2,0	99,83	0,17	1,28
2,5	99,84	0,16	1,04
3,0	99,89	0,11	1,00

Tabela 30 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,0$, $\phi=0,2$ ($\bar{X}$ e R)

$\phi=0,2$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	50,34	49,66	370,89
0,5	86,97	13,03	93,46
1,0	97,89	2,11	14,85
1,5	99,53	0,47	3,95
2,0	99,79	0,21	1,72
2,5	99,85	0,15	1,17
3,0	99,88	0,12	1,03

Tabela 31 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,0$, $\phi=0,5$ ($\bar{X}$ e R)

$\phi=0,5$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	50,95	49,05	370.64
0,5	79,47	20,53	154.16
1,0	94,77	5,23	35.40
1,5	98,67	1,33	9.99
2,0	99,48	0,52	3.90
2,5	99,75	0,25	2.01
3,0	99,80	0,20	1.37

Tabela 32 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,0$, $\phi=0,7$ ($\bar{X}$ e R)

$\phi=0,7$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	50,72	49,28	370.43
0,5	73,28	26,72	193.95
1,0	91,55	8,45	61.38
1,5	97,17	2,83	20.26
2,0	99,03	0,97	7.96
2,5	99,58	0,42	3.79
3,0	99,71	0,29	2.22

Tabela 33 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,2$, $\phi=0,0$ ($\bar{X}$ e R)

$\phi=0,0$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	49,70	50,3	370.4675
0,5	86,71	13,29	97.3613
1,0	97,87	2,13	15.6803
1,5	99,60	0,40	4.1561
2,0	99,85	0,15	1.8323
2,5	99,81	0,19	1.2083
3,0	99,86	0,14	1.0358

Tabela 34 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,2$, $\phi=0,2$ ($\bar{X}$ e R)

$\phi=0,2$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	48,85	51,15	370.49
0,5	81,57	18,43	132.86
1,0	96,31	3,69	26.17
1,5	98,99	1,01	7.166
2,0	99,59	0,41	2.84
2,5	99,77	0,23	1.58
3,0	99,81	0,19	1.17

Tabela 35 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,2$, $\phi=0,5$ ($\bar{X}$ e R)

$\phi=0,5$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	50,08	49,92	370,64
0,5	74,80	25,20	192,81
1,0	92,70	7,30	57,94
1,5	97,42	2,58	18,20
2,0	98,98	1,02	7,06
2,5	99,55	0,45	3,47
3,0	99,74	0,26	1,98

Tabela 36 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,2$, $\phi=0,7$ ($\bar{X}$ e R)

$\phi=0,7$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	50,05	49,95	370,25
0,5	68,31	31,69	236,61
1,0	88,17	11,83	92,86
1,5	95,47	4,53	34,78
2,0	97,88	2,12	14,29
2,5	98,97	1,03	6,81
3,0	99,51	0,49	3,78

Tabela 37 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,5$, $\phi=0,0$ ($\bar{X}$ e R)

$\phi=0,0$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	49,50	50,5	370,76
0,5	81,00	19,00	143,69
1,0	95,84	4,16	31,96
1,5	98,57	1,43	8,72
2,0	99,47	0,53	3,37
2,5	99,64	0,36	1,83
3,0	99,87	0,13	1,27

Tabela 38 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,5$, $\phi=0,2$ ($\bar{X}$ e R)

$\phi=0,2$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	49,57	50,43	370,48
0,5	75,20	24,80	182,64
1,0	93,25	6,75	49,02
1,5	98,01	1,99	15,11
2,0	99,18	0,82	5,69
2,5	99,72	0,28	2,83
3,0	99,79	0,21	1,71

Tabela 39 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,5$, $\phi=0,5$ ($\bar{X}$ e R)

$\phi=0,5$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	50,68	49,32	370,11
0,5	67,77	32,23	235,60
1,0	86,71	13,29	95,36
1,5	95,07	4,93	35,96
2,0	97,94	2,06	14,66
2,5	99,04	0,96	7,07
3,0	99,34	0,66	3,89

Tabela 40 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,5$, $\phi=0,7$ ($\bar{X}$ e R)

$\phi=0,7$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	50,67	49,33	370,67
0,5	63,71	36,29	273,00
1,0	81,71	18,29	138,60
1,5	91,66	8,34	62,16
2,0	95,96	4,04	28,34
2,5	98,19	1,81	14,26
3,0	98,83	1,17	7,90

Tabela 41 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=2,0$, $\phi=0,0$ ($\bar{X}$ e R)

$\phi=0,0$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	50,82	49,18	370,19
0,5	72,20	27,80	208,24
1,0	91,04	8,96	66,96
1,5	96,82	3,18	22,27
2,0	98,63	1,37	8,60
2,5	99,36	0,64	4,10
3,0	99,65	0,35	2,37

Tabela 42 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=2,0$, $\phi=0,2$ ($\bar{X}$ e R)

$\phi=0,2$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	50,41	49,59	370,10
0,5	68,22	31,78	239,45
1,0	87,76	12,24	93,72
1,5	95,19	4,81	35,96
2,0	98,21	1,79	15,18
2,5	98,91	1,09	7,08
3,0	99,52	0,48	3,88

Tabela 43 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=2,0$, $\phi=0,5$ ($\bar{X}$ e R)

$\phi=0,5$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	49,30	50,70	370,39
0,5	59,60	40,40	283,98
1,0	78,75	21,25	153,07
1,5	89,65	10,35	74,42
2,0	95,13	4,87	36,29
2,5	97,56	2,44	18,75
3,0	98,55	1,45	10,04

Tabela 44 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=2,0$, $\phi=0,7$ ($\bar{X}$ e R)

$\phi=0,7$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	50,10	49,9	370,06
0,5	57,78	42,22	315,82
1,0	73,09	26,91	198,90
1,5	84,38	15,62	114,09
2,0	91,78	8,22	63,00
2,5	95,51	4,49	35,46
3,0	97,10	2,90	20,58

Tabela 45 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,0$, $\phi=0,0$ ($\bar{X}$ e R)

$\phi=0,0$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	49,94	50,06	370,60
0,5	92,85	7,15	51,02
1,0	99,13	0,87	5,96
1,5	99,78	0,22	1,78
2,0	99,88	0,12	1,12
2,5	99,91	0,09	1,01
3,0	99,87	0,13	0,99

Tabela 46 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,0$, $\phi=0,2$ ($\bar{X}$ e R)

$\phi=0,2$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	50,57	49,43	370,12
0,5	90,01	9,99	76,24
1,0	98,51	1,49	10,96
1,5	99,52	0,48	2,87
2,0	99,80	0,20	1,41
2,5	99,88	0,12	1,08
3,0	99,95	0,05	1,01

Tabela 47 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,0$, $\phi=0,5$ ($\bar{X}$ e R)

$\phi=0,5$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	49,90	50,10	370,19
0,5	81,65	18,35	139,84
1,0	95,64	4,36	29,71
1,5	98,98	1,02	8,24
2,0	99,52	0,48	3,22
2,5	99,76	0,24	1,75
3,0	99,89	0,11	1,24

Tabela 48 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,0$, $\phi=0,7$ ($\bar{X}$ e R)

$\phi=0,7$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	50,71	49,29	370,86
0,5	73,24	26,76	195,79
1,0	91,90	8,10	58,56
1,5	97,16	2,84	19,17
2,0	99,19	0,81	7,43
2,5	99,30	0,70	3,55
3,0	99,66	0,34	2,10

Tabela 49 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,2$, $\phi=0,0$ ($\bar{X}$ e R)

$\phi=0,0$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	50,77	49,23	370,06
0,5	89,35	10,65	78,44
1,0	98,38	1,62	10,88
1,5	99,50	0,50	2,92
2,0	99,76	0,24	1,44
2,5	99,84	0,16	1,07
3,0	99,89	0,11	1,01

Tabela 50 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,2$, $\phi=0,2$ ($\bar{X}$ e R)

$\phi=0,2$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	50,65	49,35	370,64
0,5	84,89	15,11	112,16
1,0	97,55	2,45	19,89
1,5	99,27	0,73	5,13
2,0	99,78	0,22	2,14
2,5	99,88	0,12	1,31
3,0	99,89	0,11	1,07

Tabela 51 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,2$, $\phi=0,5$ ($\bar{X}$ e R)

$\phi=0,5$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	50,2	49,80	370,81
0,5	75,91	24,09	178,10
1,0	93,09	6,91	49,63
1,5	98,02	1,98	15,14
2,0	99,32	0,68	5,85
2,5	99,61	0,39	2,81
3,0	99,84	0,16	1,73

Tabela 52 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,2$, $\phi=0,7$ ($\bar{X}$ e R)

$\phi=0,7$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	50,23	49,77	370,89
0,5	67,94	32,06	231,68
1,0	88,03	11,97	90,36
1,5	95,90	4,10	34,00
2,0	97,97	2,03	13,66
2,5	99,14	0,86	6,47
3,0	99,59	0,41	3,54

Tabela 53 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,5$, $\phi=0,0$ ($\bar{X}$ e R)

$\phi=0,0$			
δ	$\%\bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	49,48	50,52	370,08
0,5	84,70	15,30	120,54
1,0	96,90	3,10	22,75
1,5	99,29	0,71	6,02
2,0	99,65	0,35	2,44
2,5	99,83	0,17	1,43
3,0	99,84	0,16	1,11

Tabela 54 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,5$, $\phi=0,2$ ($\bar{X}$ e R)

$\phi=0,2$			
δ	$\%\bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	49,97	50,03	370,09
0,5	78,73	21,27	156,41
1,0	94,88	5,12	37,91
1,5	98,38	1,62	10,68
2,0	99,41	0,59	4,14
2,5	99,60	0,40	2,13
3,0	99,81	0,19	1,41

Tabela 55 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,5$, $\phi=0,5$ ($\bar{X}$ e R)

$\phi=0,5$			
δ	$\%\bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	50,31	49,69	370,08
0,5	68,96	31,04	227,85
1,0	88,78	11,22	83,48
1,5	95,91	4,09	29,99
2,0	98,42	1,58	12,59
2,5	99,26	0,74	5,88
3,0	99,65	0,35	3,21

Tabela 56 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,5$, $\phi=0,7$ ($\bar{X}$ e R)

$\phi=0,7$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	51,12	48,88	370,65
0,5	64,03	35,97	275,23
1,0	82,45	17,55	132,81
1,5	92,49	7,51	59,96
2,0	96,24	3,76	27,34
2,5	98,16	1,84	13,50
3,0	98,96	1,04	7,47

Tabela 57 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=2,0$, $\phi=0,0$ ($\bar{X}$ e R)

$\phi=0,0$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	50,32	49,68	370,87
0,5	75,81	24,19	181,19
1,0	93,39	6,61	50,64
1,5	97,82	2,18	15,47
2,0	99,10	0,90	6,01
2,5	99,53	0,47	2,92
3,0	99,81	0,19	1,78

Tabela 58 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=2,0$, $\phi=0,2$ ($\bar{X}$ e R)

$\phi=0,2$			
δ	$\% \bar{X}$	$\%R$	NMA
0,0	50,70	49,30	370,57
0,5	71,92	28,08	217,32
1,0	90,11	9,89	76,40
1,5	96,45	3,55	26,35
2,0	98,59	1,41	10,71
2,5	99,38	0,62	5,05
3,0	99,64	0,36	2,85

Tabela 59 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=2,0$, $\phi=0,5$ ($\bar{X}$ e R)

$\phi=0,5$			
δ	$\%\bar{X}$	%R	NMA
0,0	50,93	49,07	370,50
0,5	62,87	37,13	272,62
1,0	81,29	18,71	140,08
1,5	91,59	8,41	62,57
2,0	95,94	4,06	29,64
2,5	98,07	1,93	14,95
3,0	98,98	1,02	8,13

Tabela 60 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=2,0$, $\phi=0,7$ ($\bar{X}$ e R)

$\phi=0,7$			
δ	$\%\bar{X}$	%R	NMA
0,0	50,96	49,04	370,06
0,5	58,45	41,55	313,55
1,0	74,07	25,93	199,95
1,5	85,08	14,92	110,51
2,0	92,06	7,94	58,72
2,5	95,82	4,18	33,18
3,0	97,60	2,40	18,74

Tabela 61 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,0$, $\phi=0,0$ ($\bar{X}$ e S^2)

$\phi=0,0$			
δ	$\%\bar{X}$	% S^2	NMA
0,0	50,15	49,85	370,72
0,5	90,47	9,53	66,31
1,0	98,91	1,09	8,93
1,5	99,69	0,31	2,38
2,0	99,73	0,27	1,27
2,5	99,90	0,10	1,04
3,0	99,92	0,14	1,00

Tabela 62 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,0$, $\phi=0,2$ ($\bar{X}$ e S^2)

$\phi=0,2$			
δ	$\% \bar{X}$	$\% S^2$	NMA
0,0	50,68	49,32	370,12
0,5	87,70	12,30	95,28
1,0	98,22	1,78	15,10
1,5	99,45	0,55	3,96
2,0	99,71	0,29	1,73
2,5	99,87	0,13	1,17
3,0	99,81	0,19	1,03

Tabela 63 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,0$, $\phi=0,5$ ($\bar{X}$ e S^2)

$\phi=0,5$			
δ	$\% \bar{X}$	$\% S^2$	NMA
0,0	49,92	50,08	371,41
0,5	79,83	20,17	154,09
1,0	95,34	4,66	35,53
1,5	98,78	1,22	9,98
2,0	99,45	0,55	3,88
2,5	99,77	0,23	2,03
3,0	99,87	0,13	1,36

Tabela 64 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,0$, $\phi=0,7$ ($\bar{X}$ e S^2)

$\phi=0,7$			
δ	$\% \bar{X}$	$\% S^2$	NMA
0,0	49,69	50,31	370,02
0,5	72,03	27,97	201,57
1,0	91,10	8,90	63,49
1,5	97,37	2,63	20,54
2,0	98,97	1,03	8,03
2,5	99,47	0,53	3,82
3,0	99,71	0,29	2,20

Tabela 65 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,2$, $\phi=0,0$ ($\bar{X}$ e S^2)

$\phi=0,0$			
δ	$\% \bar{X}$	$\% S^2$	NMA
0,0	50,31	49,69	369,71
0,5	87,01	12,99	98,44
1,0	97,87	2,13	16,05
1,5	99,60	0,40	4,16
2,0	99,79	0,21	1,82
2,5	99,83	0,17	1,20
3,0	99,88	0,12	1,04

Tabela 66 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,2$, $\phi=0,2$ ($\bar{X}$ e S^2)

$\phi=0,2$			
δ	$\% \bar{X}$	$\% S^2$	NMA
0,0	49,79	50,21	370,81
0,5	82,02	17,98	133,51
1,0	96,09	3,91	26,29
1,5	98,91	1,09	7,04
2,0	99,57	0,43	2,84
2,5	99,83	0,17	1,59
3,0	99,80	0,20	1,17

Tabela 67 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,2$, $\phi=0,5$ ($\bar{X}$ e S^2)

$\phi=0,5$			
δ	$\% \bar{X}$	$\% S^2$	NMA
0,0	50,02	49,98	370,66
0,5	74,20	25,80	190,97
1,0	92,05	7,95	57,60
1,5	97,69	2,31	18,16
2,0	99,14	0,86	6,98
2,5	99,60	0,40	3,37
3,0	99,73	0,27	2,02

Tabela 68 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,2$, $\phi=0,7$ ($\bar{X}$ e S^2)

$\phi=0,7$			
δ	$\% \bar{X}$	$\% S^2$	NMA
0,0	49,37	50,63	370,13
0,5	66,75	33,25	241,56
1,0	87,00	13,00	93,54
1,5	94,87	5,13	35,53
2,0	98,00	2,00	14,45
2,5	99,18	0,82	6,95
3,0	99,51	0,49	3,76

Tabela 69 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,5$, $\phi=0,0$ ($\bar{X}$ e S^2)

$\phi=0,0$			
δ	$\% \bar{X}$	$\% S^2$	NMA
0,0	50,29	49,71	370,58
0,5	80,75	19,25	142,41
1,0	95,80	4,20	32,13
1,5	98,84	1,16	8,73
2,0	99,54	0,46	3,44
2,5	99,73	0,27	1,80
3,0	99,87	0,13	1,27

Tabela 70 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,5$, $\phi=0,2$ ($\bar{X}$ e S^2)

$\phi=0,2$			
δ	$\% \bar{X}$	$\% S^2$	NMA
0,0	50,11	49,89	370,03
0,5	76,12	23,88	179,00
1,0	93,55	6,45	47,40
1,5	98,07	1,93	14,74
2,0	99,28	0,72	5,74
2,5	99,46	0,54	2,78
3,0	99,82	0,18	1,72

Tabela 71– NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,5$, $\phi=0,5$ ($\bar{X}$ e S^2)

$\phi=0,5$			
δ	$\% \bar{X}$	$\% S^2$	NMA
0,0	51,07	48,93	370,76
0,5	68,89	31,11	243,49
1,0	88,18	11,82	94,18
1,5	95,09	4,91	36,25
2,0	98,04	1,96	14,94
2,5	99,08	0,92	7,01
3,0	99,54	0,46	3,88

Tabela 72– NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=1,5$, $\phi=0,7$ ($\bar{X}$ e S^2)

$\phi=0,7$			
δ	$\% \bar{X}$	$\% S^2$	NMA
0,0	50,22	49,78	369,42
0,5	63,05	36,95	276,45
1,0	81,71	18,29	139,18
1,5	91,55	8,45	62,16
2,0	95,83	4,17	28,83
2,5	97,91	2,09	14,44
3,0	98,82	1,18	7,92

Tabela 73 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=2,0$, $\phi=0,0$ ($\bar{X}$ e S^2)

$\phi=0,0$			
δ	$\% \bar{X}$	$\% S^2$	NMA
0,0	50,29	49,71	370,71
0,5	72,03	27,97	207,98
1,0	91,16	8,84	66,4
1,5	97,26	2,74	22,8
2,0	98,74	1,26	8,68
2,5	99,58	0,42	4,07
3,0	99,71	0,29	2,37

Tabela 74 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=2,0$, $\phi =0,2$ ($\bar{X}$ e S^2)

$\phi=0,2$			
δ	$\% \bar{X}$	$\% S^2$	NMA
0,0	48,38	51,62	370,20
0,5	67,01	32,99	240,56
1,0	86,02	13,98	94,78
1,5	95,20	4,8	36,83
2,0	98,04	1,96	14,88
2,5	98,77	1,23	7,10
3,0	99,41	0,59	3,97

Tabela 75 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=2,0$, $\phi =0,5$ ($\bar{X}$ e S^2)

$\phi=0,5$			
δ	$\% \bar{X}$	$\% S^2$	NMA
0,0	51,51	48,49	370,04
0,5	62,69	37,31	284,88
1,0	80,02	19,98	153,96
1,5	90,60	9,40	73,44
2,0	95,22	4,78	35,24
2,5	97,61	2,39	17,95
3,0	98,80	1,20	10,07

Tabela 76 – NMAs processo autocorrelacionado $n=4$, $\lambda=2,0$, $\phi =0,7$ ($\bar{X}$ e S^2)

$\phi=0,7$			
δ	$\% \bar{X}$	$\% S^2$	NMA
0,0	50,72	49,28	371,38
0,5	59,43	40,57	310,46
1,0	73,83	26,17	198,85
1,5	85,77	14,23	112,70
2,0	92,17	7,83	60,57
2,5	95,49	4,51	34,28
3,0	97,44	2,56	20,09

Tabela 77 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,0$, $\phi=0,0$ ($\bar{X}$ e S^2)

$\phi=0,0$			
δ	$\% \bar{X}$	$\% S^2$	NMA
0,0	50,95	49,05	370,21
0,5	93,43	6,57	51,05
1,0	99,40	0,60	5,99
1,5	99,78	0,22	1,80
2,0	99,80	0,20	1,11
2,5	99,89	0,11	1,01
3,0	99,89	0,11	1,00

Tabela 78 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,0$, $\phi=0,2$ ($\bar{X}$ e S^2)

$\phi=0,2$			
δ	$\% \bar{X}$	$\% S^2$	NMA
0,0	49,25	50,75	369,10
0,5	89,10	10,90	75,59
1,0	98,42	1,58	10,58
1,5	99,58	0,42	2,85
2,0	99,69	0,31	1,40
2,5	99,84	0,16	1,07
3,0	99,89	0,11	1,01

Tabela 79 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,0$, $\phi=0,5$ ($\bar{X}$ e S^2)

$\phi=0,5$			
δ	$\% \bar{X}$	$\% S^2$	NMA
0,0	50,22	49,78	370,57
0,5	81,32	18,68	139,58
1,0	95,60	4,40	29,89
1,5	98,77	1,23	8,26
2,0	99,60	0,40	3,20
2,5	99,79	0,21	1,73
3,0	99,85	0,15	1,24

Tabela 80 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,0$, $\phi=0,7$ ($\bar{X}$ e S^2)

$\phi=0,7$			
δ	$\% \bar{X}$	$\% S^2$	NMA
0,0	48,48	51,52	370,53
0,5	72,10	27,90	200,26
1,0	91,28	8,72	61,15
1,5	97,20	2,80	19,81
2,0	98,94	1,06	7,54
2,5	99,48	0,52	3,60
3,0	99,77	0,23	2,12

Tabela 81 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,2$, $\phi=0,0$ ($\bar{X}$ e S^2)

$\phi=0,0$			
δ	$\% \bar{X}$	$\% S^2$	NMA
0,0	50,21	49,79	370,13
0,5	90,24	9,76	77,15
1,0	98,49	1,51	11,17
1,5	99,40	0,60	2,90
2,0	99,82	0,18	1,43
2,5	99,82	0,18	1,08
3,0	99,89	0,11	1,01

Tabela 82 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,2$, $\phi=0,2$ ($\bar{X}$ e S^2)

$\phi=0,2$			
δ	$\% \bar{X}$	$\% S^2$	NMA
0,0	50,11	49,89	370,72
0,5	84,96	15,04	109,73
1,0	97,19	2,81	19,45
1,5	99,20	0,80	5,11
2,0	99,67	0,33	2,11
2,5	99,86	0,14	1,31
3,0	99,86	0,14	1,08

Tabela 83 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,2$, $\phi=0,5$ ($\bar{X}$ e S^2)

$\phi=0,5$			
δ	$\% \bar{X}$	$\% S^2$	NMA
0,0	51,02	48,98	370,82
0,5	75,96	24,04	179,63
1,0	93,23	6,77	49,31
1,5	98,11	1,89	15,13
2,0	99,27	0,73	5,80
2,5	99,69	0,31	2,79
3,0	99,87	0,13	1,74

Tabela 84 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,2$, $\phi=0,7$ ($\bar{X}$ e S^2)

$\phi=0,7$			
δ	$\% \bar{X}$	$\% S^2$	NMA
0,0	49,99	50,01	370,51
0,5	68,59	31,41	233,17
1,0	87,92	12,08	89,77
1,5	95,43	4,57	33,01
2,0	98,40	1,60	13,63
2,5	99,20	0,80	6,50
3,0	99,48	0,52	3,59

Tabela 85 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,5$, $\phi=0,0$ ($\bar{X}$ e S^2)

$\phi=0,0$			
δ	$\% \bar{X}$	$\% S^2$	NMA
0,0	50,29	49,71	369,83
0,5	83,98	16,02	119,88
1,0	96,97	3,03	22,51
1,5	99,31	0,69	5,94
2,0	99,60	0,40	2,40
2,5	99,78	0,22	1,44
3,0	99,84	0,16	1,11

Tabela 86 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,5$, $\phi=0,2$ ($\bar{X}$ e S^2)

$\phi=0,2$			
δ	$\% \bar{X}$	$\% S^2$	NMA
0,0	49,87	50,13	370,04
0,5	78,98	21,02	159,57
1,0	95,04	4,96	38,29
1,5	98,45	1,55	10,82
2,0	99,26	0,74	4,13
2,5	99,71	0,29	2,12
3,0	99,75	0,25	1,42

Tabela 87 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,5$, $\phi=0,5$ ($\bar{X}$ e S^2)

$\phi=0,5$			
δ	$\% \bar{X}$	$\% S^2$	NMA
0,0	50,85	49,15	370,63
0,5	69,85	30,15	225,72
1,0	89,01	10,99	83,31
1,5	96,09	3,91	29,70
2,0	98,17	1,83	12,06
2,5	99,35	0,65	5,63
3,0	99,55	0,45	3,19

Tabela 88 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=1,5$, $\phi=0,7$ ($\bar{X}$ e S^2)

$\phi=0,7$			
δ	$\% \bar{X}$	$\% S^2$	NMA
0,0	51,38	48,62	370,59
0,5	64,21	35,79	267,44
1,0	82,37	17,63	132,82
1,5	92,41	7,59	58,65
2,0	96,32	3,68	27,14
2,5	98,11	1,89	13,47
3,0	98,94	1,06	7,40

Tabela 89 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=2,0$, $\phi=0,0$ ($\bar{X}$ e S^2)

$\phi=0,0$			
δ	$\% \bar{X}$	$\% S^2$	NMA
0,0	50,03	49,97	369,95
0,5	75,75	25,25	184,74
1,0	93,21	6,79	49,99
1,5	97,94	2,06	15,54
2,0	99,26	0,74	5,98
2,5	99,54	0,46	2,90
3,0	99,77	0,23	1,79

Tabela 90 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=2,0$, $\phi=0,2$ ($\bar{X}$ e S^2)

$\phi=0,2$			
δ	$\% \bar{X}$	$\% S^2$	NMA
0,0	49,14	50,86	370,37
0,5	70,38	29,62	219,35
1,0	89,84	10,16	76,77
1,5	96,22	3,78	26,90
2,0	98,46	1,54	10,51
2,5	99,19	0,81	5,07
3,0	99,56	0,44	2,87

Tabela 91 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=2,0$, $\phi=0,5$ ($\bar{X}$ e S^2)

$\phi=0,5$			
δ	$\% \bar{X}$	$\% S^2$	NMA
0,0	49,60	50,40	370,52
0,5	61,25	48,75	280,46
1,0	80,05	19,95	138,95
1,5	90,90	9,10	64,61
2,0	96,02	3,98	30,09
2,5	98,01	1,99	15,02
3,0	98,95	1,05	8,23

Tabela 92 – NMAs processo autocorrelacionado $n=5$, $\lambda=2,0$, $\phi=0,7$ ($\bar{X}$ e S^2)

$\phi=0,7$			
δ	$\% \bar{X}$	$\% S^2$	NMA
0,0	49,92	50,08	369,45
0,5	58,47	41,53	311,50
1,0	73,61	26,39	194,31
1,5	85,92	14,08	110,35
2,0	92,33	7,67	59,64
2,5	95,90	4,10	32,80
3,0	97,61	2,39	18,96