

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
Escola de Engenharia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais –  
PPGEM

**AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DO PROCESSO DE LINGOTAMENTO  
CONTÍNUO POR MEIO DE GRÁFICOS DE CONTROLE COM VARIÁVEIS  
DEPENDENTES**

Vanusa Andrea Casarin

Tese para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais

Porto Alegre (RS)  
2012

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
Escola de Engenharia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais –  
PPGEM

**AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DO PROCESSO DE LINGOTAMENTO  
CONTÍNUO POR MEIO DE GRÁFICOS DE CONTROLE COM VARIÁVEIS  
DEPENDENTES**

Vanusa Andrea Casarin

Trabalho realizado no Laboratório de Fundição, Departamento de Engenharia Metalúrgica da Escola de Engenharia da UFRGS, dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGEM), como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia.

Área de Concentração: Processos de Fabricação

Porto Alegre (RS)

2012

Esta tese foi julgada adequada para obtenção do título de Doutor em Engenharia, área de concentração Processos de Fabricação e aprovada, em sua forma final, pelo Orientador, Coorientador e pela Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação.

Orientador: Prof. Dr. Jaime Alvares Spim Junior (PPGEM – UFRGS)

Coorientador: Prof. Dr. Adriano Mendonça Souza (CCNE – UFSM)

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Carlos Raimundo Frick Ferreira (LAFUN – UFRGS)

Prof. Dr. Nestor Cezar Heck (PPGEM – UFRGS)

Prof. Dr. Rejane Maria Candiota Tubino (PPGEM – UFRGS)

Prof. Dr. Vinícius Karlinski de Barcellos (IFRS)

Prof. Dr. Telmo Roberto Strohaecker  
Coordenador PPGEM – UFRGS

Dedico esta tese aos meus pais, Valdemar e Lourdes Casarin,  
pelo incansável apoio e incentivo nesses anos de estudo.

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Jaime Álvares Spim, meu orientador, pela oportunidade a mim dada, por seus ensinamentos, compreensão e firmeza com que norteou meus estudos e pesquisas para elaboração da tese.

Ao Prof. Adriano Mendonça Souza, coorientador desta pesquisa, meu especial agradecimento por sua dedicação, paciência, amizade e ensinamentos nos muitos momentos de estudo.

Aos membros da banca, Prof. Carlos Raimundo Frick Ferreira; Prof. Nestor Cezar Heck, Prof<sup>a</sup>. Rejane Maria Candiota Tubino e Prof. Vinícius Karlinski de Barcellos, os quais contribuíram com suas sugestões.

Aos meus colegas de estudo e de laboratório, em especial aos colegas Vinícius Karlinski e Viviane Santos.

À funcionária do LAFUN/UFRGS, Izabel.

Enfim, a todos os professores do PPGEM.

Ao PPGEM/UFRGS, pela oportunidade que me foi dada.

À empresa que cedeu os dados e aos seus colaboradores que atenciosamente disponibilizaram informações e depositaram confiança para a realização desta pesquisa.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro a mim destinado.

A Regiane Klidzio, amiga, incentivadora e companheira de estudo.

E aos amigos que sempre torceram por mim, em especial aqueles que fiz em Porto Alegre durante a realização do doutorado, por seu companheirismo, incentivo e ensinamentos de vida, em particular Berenice, Caroline Caramão e Mimno Ferreira.

## RESUMO

CASARIN, Vanusa Andrea. AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DO PROCESSO DE LINGOTAMENTO CONTÍNUO POR MEIO DE GRÁFICOS DE CONTROLE COM VARIÁVEIS DEPENDENTES. Porto Alegre, 2012. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

A presente pesquisa aborda a utilização de gráficos de controle em processo produtivo com variáveis autocorrelacionadas. Tem como objetivo verificar a estabilidade do processo de lingotamento contínuo na fabricação de tarugos por gráficos de controle aplicados aos resíduos oriundos da previsão dos modelos matemáticos por meio da modelagem linear e/ou não linear. Primeiramente, é observada a existência de correlação entre os dados, utilizando-se, então, a Análise de Componentes Principais. Com os dados livres de correlação, testa-se a autocorrelação nas Componentes Principais. A partir desse instante, são aplicados os modelos ARIMA, para encontrar os resíduos nos quais será testada a presença de volatilidade, podendo-se aplicar os modelos ARCH e/ou GARCH. Para exemplificar a metodologia utilizada na pesquisa, foi realizado um estudo de caso em uma empresa do RS, na célula da aciaria, especificamente na máquina de lingotamento contínuo onde são fabricados os tarugos para o Aço DIN20MnCr5, seção quadrada 240 mm. Foi possível a avaliação da estabilidade do processo para as variáveis originais por meio do gráfico  $\bar{x}$ . Posteriormente, os dados foram decompostos em Componentes Principais, avaliados por meio dos gráficos de controle  $\bar{x}$ ,  $\overline{MR}$  e EWMA, indicando as componentes com maior instabilidade e as variáveis com maior influência dentro do novo conjunto de dados. Identificado o conjunto de variáveis, essas foram modeladas, utilizando-se a metodologia de modelos lineares e não lineares para encontrar os resíduos e assim construir os gráficos. Os modelos matemáticos encontrados foram capazes de representar os processos produtivos, possibilitar a compreensão do comportamento das variáveis e auxiliar na monitoração do processo, e, além disso, mostrar as variáveis que contribuem para que o sistema esteja instável e ocasione a produção de sucata para o aço estudado.

Palavras-chave: componentes principais; autocorrelação; modelos lineares e não lineares; volatilidade; gráficos de controle.

## ABSTRACT

CASARIN, Vanusa Andrea. STABILITY EVALUATION OF CONTINUOUS CASTING PROCESS BY MEANS OF CONTROL GRAPHS WITH DEPENDENT VARIABLES. Porto Alegre, 2012. PhD thesis. Graduate Program in Mining, Metallurgical and Materials Engineering, Federal University of Rio Grande do Sul.

This research addresses the use of control charts in the production process with autocorrelated variables. It aims to determine the stability of the continuous casting process in the manufacture of billets through control charts applied to the residues that come from prediction (of waste) from of mathematical models, by means of (modeling) linear and/or nonlinear modelling. First, it is observed existence of correlation among data, then using Principal Component Analysis. With correlation-free data, the autocorrelation is tested in the Principal Components. From that moment ARIMA models are applied to find residues in which will be tested the presence of volatility maybe applying ARCH and/or GARCH models. To illustrate the methodology used in the survey was conducted a case study at the in a Steel Plant in the State of RS, in the Aciaria cell, specifically in the continuous casting machine where steel billets DIN20MnCr5 square section 240mm are manufactured. It was possible to evaluate the stability of the process for original variables through the graph  $\bar{x}$ . Subsequently, data were broken down into Principal Components, evaluated by means of control charts  $\bar{x}$ ,  $\overline{MR}$  and EWMA, indicating the components with higher instability and variables with greater influence within the new data set. Identified the set of variables, they were modeled using the methodology of linear and nonlinear models to find the residues and thus construct the graphs. Mathematical models were found capable of representing the production process, allowing understanding the variables behavior and assisting in process monitoring; showing the variables that contribute to the system is unstable and causes the scrap production for the steel studied.

Keywords: principal components; autocorrelation; linear and non linear models; volatility; control charts.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática do processo de Lingotamento Contínuo de Aços .....	26
Figura 2 - Mecanismos de transferência de calor no sistema metal/molde.....	27
Figura 3 - Representação esquemática de microestrutura de solidificação.....	28
Figura 4 - Esquema da aplicação da Análise de Componentes Principais .....	31
Figura 5 - Fluxograma do ciclo iterativo de Box e Jenkins.....	35
Figura 6 - Comportamento da FAC (a) e FACP (b) de um modelo AR(1).....	37
Figura 7 - Comportamento da FAC (a) e FACP (b) de um modelo MA(1).....	38
Figura 8 - Roteiro metodológico .....	60
Figura 9 - Gráfico $\bar{x}$ da CP1 da temperatura do aço.....	78
Figura 10 - Gráfico $\overline{MR}$ da CP1 da temperatura do aço.....	78
Figura 11 - Gráfico EWMA da CP1 da temperatura do aço .....	79
Figura 12 - Gráfico $\bar{x}$ para os resíduos da CP1 oriundos do modelo AR(1) da temperatura do aço.....	80
Figura 13 - Gráfico $\overline{MR}$ para os resíduos da CP1 oriundos do modelo AR(1) da temperatura do aço.....	80
Figura 14 - Gráfico EWMA para os resíduos da CP1 oriundos do modelo AR(1) com parâmetros $\lambda = 0,05$ e $L = 2,50$ da temperatura do aço .....	80
Figura 15 - Gráfico $\bar{x}$ da CP1 do peso do distribuidor.....	83
Figura 16 - Gráfico $\overline{MR}$ da CP1 do peso do distribuidor .....	83
Figura 17 - Gráfico EWMA da CP1 do peso do distribuidor.....	83
Figura 18 - Gráfico $\bar{x}$ dos resíduos da CP1 do modelo AR(2) do peso do distribuidor.....	85
Figura 19 - Gráfico $\overline{MR}$ dos resíduos da CP1 do modelo AR(2) do peso do distribuidor .....	85
Figura 20 - Gráfico EWMA para os resíduos da CP1 do modelo AR(2) com $\lambda = 0,05$ e $L = 2,50$ do peso do distribuidor .....	85
Figura 21 - Gráfico $\bar{x}$ dos resíduos quadráticos da CP1 do modelo AR(2)-GARCH(1,1) do peso do distribuidor .....	86
Figura 22 - Gráfico $\overline{MR}$ dos resíduos quadráticos da CP1 do modelo AR(2)-GARCH(1,1) do peso do distribuidor .....	87
Figura 23 - Gráfico EWMA dos resíduos quadráticos da CP1 do modelo AR(2)-GARCH(1,1) com $\lambda = 0,05$ e $L = 2,50$ do peso do distribuidor .....	87



Figura 24 - Gráfico $\bar{x}$ da CP2 do peso do distribuidor .....	89
Figura 25 - Gráfico $\overline{MR}$ da CP2 do peso do distribuidor .....	89
Figura 26 - Gráfico EWMA da CP2 do peso do distribuidor .....	89
Figura 27 - Gráfico $\bar{x}$ dos resíduos da CP2 do modelo ARIMA (3,1,1) do peso do distribuidor .....	90
Figura 28 - Gráfico $\overline{MR}$ dos resíduos da CP2 do modelo ARIMA(3,1,1) do peso do distribuidor .....	91
Figura 29 - Gráfico EWMA dos resíduos da CP2 do modelo ARIMA(3,1,1) com $\lambda = 0,05$ e $L = 2,50$ do peso do distribuidor .....	91
Figura 30 - Gráfico $\bar{x}$ dos resíduos quadráticos da CP2 do modelo ARIMA(3,1,1)-GARCH(1,1) do peso do distribuidor .....	92
Figura 31 - Gráfico $\overline{MR}$ dos resíduos quadráticos da CP2 do modelo ARIMA(3,1,1)-GARCH(1,1) do peso do distribuidor .....	91
Figura 32 - Gráfico EWMA dos resíduos quadráticos da CP2 do modelo ARIMA(3,1,1)-GARCH(1,1) com $\lambda = 0,05$ e $L = 2,50$ do peso do distribuidor .....	92
Figura 33 - Gráfico $\bar{x}$ da CP1 da velocidade dos veios .....	95
Figura 34 - Gráfico $\overline{MR}$ da CP1 da velocidade dos veios .....	95
Figura 35 - Gráfico EWMA da CP1 da velocidade dos veios .....	95
Figura 36 - Gráfico $\bar{x}$ dos resíduos da CP1 do modelo ARIMA(1,1,1) da velocidade dos veios 1, 2 e 3 .....	97
Figura 37 - Gráfico $\overline{MR}$ dos resíduos da CP1 do modelo ARIMA(1,1,1) da velocidade dos veios 1, 2 e 3 .....	97
Figura 38 - Gráfico EWMA dos resíduos da CP1 do modelo ARIMA(1,1,1) com $\lambda = 0,05$ e $L = 2,50$ da velocidade dos veios 1, 2 e 3 .....	97
Figura 39 - Gráfico $\bar{x}$ dos resíduos quadráticos da CP1 do modelo ARIMA(1,1,1)-GARCH(1,1) da velocidade dos veios 1, 2 e 3 .....	98
Figura 40 - Gráfico $\overline{MR}$ dos resíduos quadráticos da CP1 do modelo ARIMA(1,1,1)-GARCH(1,1) da velocidade dos veios 1, 2 e 3 .....	99

Figura 41 - Gráfico EWMA dos resíduos quadráticos da CP1 do modelo ARIMA(1,1,1)-GARCH(1,1) com $\lambda = 0,05$ e $L = 2,50$ da velocidade dos veios 1, 2 e 3.....	99
Figura 42 - Gráfico $\bar{x}$ da CP2 da velocidade dos veios 1, 2 e 3 .....	101
Figura 43 - Gráfico $\overline{MR}$ da CP2 da velocidade dos veios 1, 2 e 3 .....	101
Figura 44 - Gráfico EWMA da CP2 da velocidade dos veios 1, 2 e 3 .....	101
Figura 45 - Gráfico $\bar{x}$ dos resíduos da CP2 do modelo AR(1) da velocidade dos veios 1, 2 e 3 .....	103
Figura 46 - Gráfico $\overline{MR}$ dos resíduos da CP2 do modelo AR(1) da velocidade dos veios 1, 2 e 3 .....	103
Figura 47 - Gráfico EWMA dos resíduos do modelo AR(1) para a CP2 da variável velocidade dos veios 1, 2 e 3 com $\lambda = 0,05$ e $L = 2,50$ da velocidade dos veios 1, 2 e 3 .....	103
Figura 48 - Gráfico $\bar{x}$ para os resíduos do modelo ARI(1,1) da temperatura liquidus .....	105
Figura 49 - Gráfico $\overline{MR}$ para os resíduos do modelo ARI(1,1) da temperatura liquidus.....	105
Figura 50 - Gráfico EWMA para os resíduos do modelo ARI(1,1) com $\lambda = 0,05$ e $L = 2,50$ da temperatura liquidus .....	105
Figura 51 - Gráfico $\bar{x}$ da CP1 da composição química .....	107
Figura 52 - Gráfico $\overline{MR}$ da CP1 da composição química .....	107
Figura 53 - Gráfico EWMA da CP1 da composição química .....	107
Figura 54 -Gráfico $\bar{x}$ dos resíduos da CP1 do modelo ARI(1,1) da composição química....	109
Figura 55 - Gráfico $\overline{MR}$ dos resíduos da CP1 do modelo ARI(1,1) da composição química .....	109
Figura 56 - Gráfico EWMA dos resíduos da CP1 do modelo ARI(1,1) com $\lambda = 0,05$ e $L = 2,50$ da composição química.....	109
Figura 57 - Gráfico $\bar{x}$ dos resíduos quadráticos da CP1 do modelo ARI(1,1)-ARCH(1) da composição química .....	110
Figura 58 - Gráfico $\overline{MR}$ dos resíduos quadráticos da CP1 do modelo ARI(1,1)-ARCH(1) da composição química .....	111
Figura 59 - Gráfico EWMA dos resíduos quadráticos da CP1 do modelo ARI(1,1)-ARCH(1) com $\lambda = 0,05$ e $L = 2,50$ da composição química .....	111
Figura 60 - Gráfico $\bar{x}$ da CP2 da composição química .....	113
Figura 61 - Gráfico $\overline{MR}$ da CP2 da composição química.....	113

Figura 62 - Gráfico EWMA da CP2 da composição química .....	113
Figura 63 - Gráfico $\bar{x}$ dos resíduos da CP2 do modelo AR(1) da composição química .....	115
Figura 64 - Gráfico $\overline{MR}$ dos resíduos da CP2 do modelo AR(1) da composição química ..	115
Figura 65 - Gráfico EWMA dos resíduos da CP2 do modelo AR(1) com $\lambda = 0,05$ e $L = 2,50$ da composição química .....	115
Figura 66 - Gráfico $\bar{x}$ dos resíduos quadráticos da CP2 do modelo AR(1)-GARCH(1,1) da composição química .....	117
Figura 67- Gráfico $\overline{MR}$ dos resíduos quadráticos da CP2 do modelo AR(1)-GARCH(1,1) da composição .....	117
Figura 68 - Gráfico EWMA resíduos quadráticos da CP2 do modelo AR(1)-GARCH(1,1) com $\lambda = 0,05$ e $L = 2,50$ da composição química .....	117
Figura 69 - Esquema prático do desenvolvimento da pesquisa.....	121

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comportamento da FAC e FACP dos processos AR, MA e ARMA.....	39
Tabela 2 - Limites de controle para os gráficos $\bar{X}$ e R .....	49
Tabela 3 - Limites de controle para os gráficos $\bar{x}$ e $\overline{MR}$ .....	50
Tabela 4 - Autovalores e variância explicada de cada componente para a variável temperatura do aço.....	64
Tabela 5 - Autovalores e variância explicada de cada componente para a variável peso do distribuidor .....	64
Tabela 6 - Autovalores e variância explicada de cada componente para a variável velocidade dos veios 1, 2 e 3 .....	65
Tabela 7 - Autovalores e variância explicada de cada componente para a variável composição química .....	65
Tabela 8 - Composição das CP's da temperatura do aço .....	66
Tabela 9 - Composição das CP's do peso do distribuidor.....	67
Tabela 10 - Composição das CP's da velocidade dos veios 1, 2 e 3.....	67
Tabela 11 - Composição das CP's da composição química .....	68
Tabela 12 - Modelos ARIMA para a CP1 da temperatura do aço no distribuidor .....	69
Tabela 13 - Estimação dos parâmetros dos modelos ARIMA concorrentes, dos critérios AIC e BIC para a CP1 da variável peso do distribuidor .....	70
Tabela 14 - Estimação dos parâmetros dos modelos ARIMA concorrentes, dos critérios AIC e BIC para a CP2 da variável peso do distribuidor .....	70
Tabela 15 - Estimação dos parâmetros dos modelos ARIMA concorrentes, dos critérios AIC e BIC para a CP1 da variável velocidade veios 1, 2 e 3.....	71
Tabela 16 - Estimação dos parâmetros dos modelos ARIMA concorrentes, dos critérios AIC e BIC para a CP2 da variável velocidade veios 1, 2 e 3.....	71
Tabela 17 - Estimação dos parâmetros dos modelos ARIMA concorrentes, dos critérios AIC e BIC para a variável temperatura liquidus .....	72
Tabela 18 - Estimação dos parâmetros dos modelos ARIMA concorrentes, dos critérios AIC e BIC para a CP1 da variável composição química .....	72
Tabela 19 - Estimação dos parâmetros dos modelos ARIMA concorrentes, dos critérios AIC e BIC para a CP2 da variável composição química .....	73

Tabela 20 - Estimaco dos coeficientes, erro-padro, estatística z e <i>p-valor</i> do modelo AR-GARCH para a CP1 da variável peso do distribuidor .....	74
Tabela 21 - Estimaco dos coeficientes, erro-padro, estatística z e <i>p-valor</i> do modelo ARIMA-GARCH para a CP2 da variável peso do distribuidor .....	75
Tabela 22 - Estimaco dos coeficientes, erro-padro, estatística z e <i>p-valor</i> do modelo ARIMA-GARCH para a CP1 da variável velocidade dos veios .....	75
Tabela 23 - Estimaco dos coeficientes, erro-padro, estatística z e <i>p-valor</i> do modelo ARI-ARCH para a CP1 da variável composico química.....	76
Tabela 24 - Estimaco dos coeficientes, erro-padro, estatística z e <i>p-valor</i> do modelo AR-GARCH para a CP2 da variável composico química .....	77
Tabela 25 - Pontos amostrais fora dos limites de controle para a CP1 da variável peso do distribuidor .....	88
Tabela 26 - Pontos amostrais fora dos limites de controle para a CP2 da variável peso do distribuidor .....	94
Tabela 27 - Pontos amostrais fora dos limites de controle para a CP1 da variável velocidade dos veios 1, 2 e 3 .....	101
Tabela 28 - Pontos amostrais fora dos limites de controle para a CP2 da variável velocidade dos veios 1, 2 e 3 .....	104
Tabela 29 - Pontos amostrais fora dos limites de controle para a CP1 da variável composico química .....	112
Tabela 30 - Pontos amostrais fora dos limites de controle para a CP2 da variável composico química .....	119

## LISTA DE SIGLAS

- ACP - Análise de Componentes Principais
- ADF - Teste de raiz unitária de Dickey e Fuller Aumentado (em inglês: Augmented Dickey-Fuller)
- AIC - Critério de Informação Akaike (em inglês: Akaike Information Criterion)
- ARL - Comprimento Médio de Sequências (em inglês: Average Runs Length)
- AR - Autorregressivo
- ARCH - Heterocedasticidade Condicional Autorregressiva (em inglês: Autoregressive Conditional Heterocedasticity)
- ARCH-LM - Teste Multiplicador de Lagrange (em inglês: ARCH - Lagrange Multipliers)
- ARI - Modelos Autorregressivos Integrados
- ARIMA - Modelos Autorregressivos Integrados de Médias Móveis (em inglês: Autoregressive Integrates Moving Average)
- ARIMA-ARCH - Modelo ARIMA considerando Heterocedasticidade Autorregressiva
- ARFIMA - Autorregressivo Fracionalmente Integrado de Médias Móveis
- ARMA - Autorregressivo de Média Móvel
- BIC - Critério de Informação Bayesiano (em inglês: Bayesian Information Criterion)
- CEP - Controle Estatístico de Processo
- CEPM - Controle Estatístico de Processo Múltiplo
- CP - Componente Principal
- CUSUM - Soma Cumulativa
- d - Número de diferenças
- DF - Teste de raiz unitária de Dickey e Fuller
- F - Estatística F-Snedecor
- EWMA - Médias Móveis Exponencialmente Ponderadas
- FAC - Função de Autocorrelação
- FACP - Função de Autocorrelação Parcial
- GARCH - Heterocedasticidade Condicional Autorregressiva Generalizada (em inglês: General Autoregressive Conditional Heterocedasticity)
- GC - Gráficos de Controle
- Gráfico R - Gráfico de Amplitude Móvel
- IC - Intervalo de Confiança

i.i.d - Independentes e Identicamente Distribuídas

IMA - Médias Móveis Integradas

InALC++ - Inteligência Artificial no Lingotamento Contínuo

JB - Teste Jarque-Bera

KPSS - Teste de raiz unitária proposto pelos autores Kwiatkowski, Phillips, Schmidt e Shin

Lag - Intervalo de tempo entre as observações

LC - Limites de Controle

LIC - Limite Inferior de Controle

LSC - Limite Superior de Controle

MA - Média Móvel

MQO - Mínimos Quadrados Ordinários

$\overline{MR}$  - Gráfico de controle para a média da amplitude móvel

MV - Máxima Verossimilhança

p - Parte Autorregressiva

q - Parte Média Móvel

Q(K) - Estatística Q de Ljung-Box

RB - Ruído Branco

$T^2$  - Estatística Multivariada de Hotelling

Teste  $t$  - Teste  $t$ -student

$\chi^2$  - Distribuição Qui-quadrado

$\overline{X}$  - Gráfico de controle para a Média de Shewhart

$\bar{x}$  - Gráfico para medidas individuais

## LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A - Testes de Diagnósticos.....	132
Apêndice B - Fatores para cartas de controle por variáveis .....	138
Apêndice C - Valores originais das variáveis temperatura do aço no distribuidor, peso do distribuidor, velocidade dos veios 1, 2 e 3, temperatura liquidus e composição química.....	139
Apêndice D - Análise da estabilidade do processo para a variável original temperatura do aço no distribuidor .....	140
Apêndice E - Análise da estabilidade do processo para a variável original peso do distribuidor .....	141
Apêndice F - Análise da estabilidade do processo para a variável original velocidade do veio 1 .....	143
Apêndice G - Análise da estabilidade do processo para a variável original velocidade do veio 2 .....	145
Apêndice H - Análise da estabilidade do processo para a variável original velocidade do veio 3 .....	147
Apêndice I - Análise da estabilidade do processo para a variável original temperatura liquidus .....	149
Apêndice J - Análise da estabilidade do processo para a variável original composição química .....	150
Apêndice K - FAC e FACP das variáveis originais referentes à temperatura do aço no distribuidor .....	152
Apêndice L - FAC e FACP das variáveis originais referentes ao peso do distribuidor .....	155
Apêndice M - FAC e FACP das variáveis originais referentes a velocidade do veio 1 .....	158
Apêndice N - FAC e FACP das variáveis originais referentes a velocidade do veio 2.....	161
Apêndice O - FAC e FACP das variáveis originais referentes a velocidade do veio 3.....	165
Apêndice P - FAC e FACP da variável original para a temperatura liquidus .....	168
Apêndice Q - FAC e FACP das variáveis originais referentes a composição química.....	169
Apêndice R - Correlação entre as temperaturas do aço no distribuidor .....	174
Apêndice S - Correlação entre os pesos do distribuidor.....	175
Apêndice T - Correlação entre as velocidades dos veios 1, 2 e 3.....	176
Apêndice U - Correlação entre os elementos da composição química.....	178
Apêndice V - Componentes principais da variável temperatura do aço no distribuidor.....	179



Apêndice W - Componentes principais da variável peso do distribuidor .....	184
Apêndice X - Componentes principais da variável velocidade dos veios 1,2 e 3 .....	189
Apêndice Y - Componentes principais da variável composição química .....	203
Apêndice Z - Análise de autocorrelação da CP da variável temperatura do aço no distribuidor .....	208
Apêndice AA - Análise de autocorrelação das CP da variável peso do distribuidor .....	210
Apêndice AB – Análise de autocorrelação das CP da variável velocidade dos veios 1, 2 e 3 .....	212
Apêndice AC - Análise de autocorrelação variável temperatura liquidus.....	214
Apêndice AD - Análise de autocorrelação das CP da variável composição química .....	215
Apêndice AE- Verificação da presença de heterocedasticidade condicional para a temperatura do aço no distribuidor .....	217
Apêndice AF - Verificação da presença de heterocedasticidade condicional para o peso do distribuidor .....	219
Apêndice AG - Verificação da presença de heterocedasticidade condicional para a velocidade dos veios 1, 2 e 3 .....	223
Apêndice AH - Verificação da presença de heterocedasticidade condicional para a temperatura liquidus .....	227
Apêndice AI - Verificação da presença de heterocedasticidade condicional para a composição química .....	229

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
1.1 TEMA DA PESQUISA .....	20
1.2 JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DA PESQUISA .....	21
1.3 OBJETIVOS .....	22
1.3.1 Objetivo Geral.....	22
1.3.2 Objetivos Específicos.....	23
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA .....	23
1.5 ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA .....	24
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>25</b>
2.1 LINGOTAMENTO CONTÍNUO .....	25
2.2 CICLO DA SUCATA .....	29
2.3 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS .....	30
2.4 MODELOS ARIMA .....	34
2.5 MODELOS ARCH E GARCH .....	41
2.6 GRÁFICOS DE CONTROLE.....	47
2.7 COMENTÁRIOS GERAIS DO CAPÍTULO .....	53
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>54</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	54
3.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO E DAS VARIÁVEIS A SEREM ANALISADAS.....	54
3.3 DEFEITOS .....	57
3.4 ETAPAS METODOLÓGICAS.....	58
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>61</b>
4.1 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA.....	61
4.2 ANÁLISE DA ESTABILIDADE DO PROCESSO PARA AS VARIÁVEIS ORIGINAIS.....	61
4.3 FAC E FACP DAS VARIÁVEIS ORIGINAIS.....	62
4.4 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS ORIGINAIS.....	62
4.5 ANÁLISE DAS COMPONENTES PRINCIPAIS.....	63
4.6 ANÁLISE DE AUTOCORRELAÇÃO DAS CP's.....	68
4.7 ESTIMAÇÃO DOS MODELOS ARIMA CONCORRENTES E ESCOLHA DO MELHOR MODELO .....	68
4.8 VERIFICAÇÃO DA PRESENÇA DE HETEROCEDASTICIDADE CONDICIONAL ..	73
4.9 ESTIMAÇÃO DOS MODELOS MISTOS CONCORRENTES ARIMA-GARCH .....	73
4.10 ANÁLISE DA ESTABILIDADE DO PROCESSO .....	77
4.11 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O TRABALHO .....	119
<b>5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>122</b>
5.1 CONCLUSÕES .....	122
5.2 RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.....	124
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>125</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>132</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O processo de lingotamento pode ser contínuo ou convencional. Nesta pesquisa, trata-se do Lingotamento Contínuo (LC), o qual é considerado como um processo de transferência de calor, solidificando o aço líquido num produto sólido semiacabado sob a forma de blocos, tarugos, pré-formas, placas e tiras (GARCIA et al., 2006; RIZZO, 2006).

Os produtos semiacabados são fabricados pela máquina de lingotamento, consistindo na solidificação contínua do metal líquido. A máquina é alimentada pela panela por meio de uma válvula submersa, onde um forte fluxo de calor é imposto no veio do lingotamento, formando uma camada sólida dentro do molde de cobre resfriado à água, no chamado resfriamento primário ou região do molde. Após o resfriamento primário, ocorre o resfriamento à água por meio do borrifamento, numa mistura de água e ar sobre a superfície do tarugo por meio de *sprays*, no chamado resfriamento secundário ou região dos chuveiros. Esse processo é aplicado até o tarugo ser cortado e despejado na mesa rolante, cujo resfriamento se dá diretamente pelo ar, no chamado resfriamento terciário ou região de radiação livre.

As variáveis envolvidas no processo de lingotamento contínuo para a presente pesquisa são: temperatura do aço no distribuidor, peso do distribuidor, velocidade dos veios 1, 2 e 3, temperatura liquidus e composição química, as quais serão estudadas na etapa da metodologia.

Segundo Zhang et al. (2007), é necessária a compreensão das propriedades dos materiais utilizados e sua resposta aos métodos de fabricação para que os defeitos sejam eliminados ou então minimizados. Em decorrência das mudanças no mercado mundial, muitas empresas de determinados setores, como as indústrias de fabricação de aço, tiveram que se adequar aos novos modelos de processos produtivos por meio da reutilização de matérias-primas.

A produção do aço, a partir de sucata, constitui-se em um processo plenamente sustentável, pois ajuda a reduzir a quantidade de materiais dispostos em aterros ou em locais inapropriados, diminuindo o consumo de energia e água, além de reduzir a geração de resíduos. Devido a esses fatores, controlar as variáveis envolvidas num processo produtivo é uma busca permanente do controle da qualidade na produção de um determinado bem ou serviço (PALADINI, 1990).

A problemática da pesquisa refere-se à análise da estabilidade do processo produtivo. Assim, além de compreender as propriedades dos materiais, é necessário compreender o

comportamento conjunto das variáveis e seus efeitos, dado que o processo apresenta características multivariadas, isto é, muitas variáveis interrelacionadas e com dependência entre os instantes de tempo observados.

Grande volume de investimentos em modernização, seja em infraestrutura, seja em equipamentos ou coleta de dados nas indústrias, são realizados com a expectativa de melhor coletar, armazenar e analisar dados industriais em tempo real. De acordo com Huespe et al. (2000), a produção de aço pelo processo de lingotamento contínuo tem tido considerável aumento devido à qualidade e ao custo reduzido.

Isso permite dizer que, muito provavelmente, o número de defeitos aumente durante o processo produtivo e que a indústria do aço também faça uso da análise estatística para a melhoria da qualidade de seus produtos e processos. Portanto, metodologias estatísticas estão disponíveis às indústrias com a finalidade de auxiliarem no gerenciamento dessas informações.

Dentre as técnicas disponíveis, a análise multivariada pode ser mais apropriada do que a univariada, pois leva em consideração as interrelações que podem existir entre as respostas. É necessário existir a definição de um valor-alvo para essas variáveis serem controladas, de modo que se elas sofrerem desvios do alvo desejado, os defeitos ocorrerão.

Por meio da estatística multivariada e com o foco na Análise de Componentes Principais (ACP), torna-se possível analisar a relação de grandes quantidades de dados industriais sistematicamente. Nas situações em que não ocorra a independência entre as observações, ou seja, quando existe autocorrelação significativa entre elas, Montgomery e Runger (2009) sugerem tratar a autocorrelação de maneira que seja possível construir Gráficos de Controle (GC), sem a presença desse viés.

Com a ACP, tem-se a vantagem da redução da quantidade de variáveis proporcionando melhor tratamento das mesmas e, muitas vezes, facilitando a interpretação e a modelagem (KANOA e NAKAGAWA, 2008). Jackson (1959) utilizou a ACP para reduzir a dimensão do problema que estudava e propôs a aplicação do gráfico  $T^2$  de Hotelling nas componentes selecionadas.

Jackson e Mudholkar (1979), de acordo com Kanoa e Nakagawa (2008), investigaram a ACP como uma ferramenta de Controle Estatístico de Processo Múltiplo (CEPM) e introduziram a análise de resíduos.

Os modelos lineares ARIMA (Autorregressivos Integrados de Médias Móveis) são responsáveis por modelar a média condicional e os modelos ARCH (Heterocedasticidade Condicional Autorregressiva) para modelar a volatilidade. Esses modelos não são apenas úteis

para realizar previsões mas também para eliminar a autocorrelação presente na variável afim de possibilitar que os seus resíduos possam ser utilizados em estudos futuros.

Referindo-se aos modelos não lineares da família ARCH (Heterocedasticidade Condicional Autorregressiva), utilizados em séries financeiras para análise de investimentos, onde se exige a prévia identificação do comportamento de risco do mercado, existem muitos modelos estatísticos, os quais assumem que a variância do termo do distúrbio é constante ao longo do tempo. Porém, sabe-se que muitas variáveis podem exibir, *a priori*, períodos de grande volatilidade, seguidos de intervalos com volatilidade mais amena. Nessas circunstâncias, a hipótese de homocedasticidade é inapropriada. Sendo a volatilidade constantemente utilizada como uma medida de risco, torna-se de grande utilidade não só o estudo de seu comportamento mas também o conhecimento de como certos fatos a influenciam.

No processo de lingotamento contínuo, os produtos com a qualidade desejada podem ser obtidos mantendo os parâmetros do processo de tal forma que todas as condições críticas sejam satisfeitas.

Outra ferramenta disponível para proporcionar uma melhoria significativa da qualidade dos produtos de aço é o Controle Estatístico de Processo (CEP). Gráficos convencionais como os de controle de Shewhart, Soma Cumulativa (CUSUM - *Cumulative Sum*) e de Média Móvel Exponencialmente Ponderada (EWMA - *Exponentially Weighted Moving Average*) estão bem estabelecidos para monitoramento de processos.

O Laboratório de Fundição (LAFUN) da UFRGS, em conjunto com a empresa, desenvolveu um programa de simulação da solidificação de aços no processo de lingotamento contínuo. O software, chamado InALC++ (Inteligência Artificial no Lingotamento Contínuo) simula a solidificação de tarugos em forma de tarugos para diferentes qualidades de aço e diferentes condições de trabalho, como alterações de velocidade, temperatura e refrigeração para análise preliminar de resultados (BARCELLOS, 2010).

## 1.1 TEMA DA PESQUISA

O tema da presente pesquisa é a utilização de gráficos de controle em processos produtivos que se apresentem autocorrelacionados. Como se sabe, essa autocorrelação viola os pressupostos para a aplicação de GC. Sendo assim, utiliza-se a abordagem de modelos de

previsão lineares ARIMA e os modelos não lineares ARCH a fim de encontrar os resíduos oriundos desse modelo, os quais são livres de autocorrelação, e possibilitar a aplicação dos GC desejados. Sendo assim, é possível aferir o controle de qualidade do processo de lingotamento contínuo utilizando modelos matemáticos que avaliem a média e a variabilidade quando o processo se apresentar autocorrelacionado. Portanto, o tema da referida pesquisa é a utilização das metodologias de controle de qualidade, análise multivariada e modelos de previsão, para aferir a estabilidade do processo.

## 1.2 JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DA PESQUISA

A questão chave no processo operacional de lingotamento contínuo é atingir um funcionamento estável após o início das operações de transição e, em seguida, manter a estabilidade do processo. Portanto, a capacidade de prever e evitar falhas no funcionamento utilizando conhecimentos de engenharia e métodos de análise podem proporcionar excelentes benefícios ao processo de solidificação (ZHANG e DUDZIC, 2006).

Nesse contexto, sendo o foco da pesquisa o lingotamento contínuo, faz-se necessário verificar a influência das variáveis denominadas parâmetros do processo na máquina de lingotamento contínuo por meio da utilização da ACP, dos modelos ARIMA e dos GC. As variáveis são a temperatura do aço no distribuidor composta por 8 pontos de coletas referenciados como Temp\_2 a Temp\_9; o peso do distribuidor, composto por 9 pontos de coletas (P\_dist2 a P\_dist9); velocidade dos veios 1, 2 e 3 composta por 27 pontos de coletas (Vel\_V1\_1 a Vel\_V1\_9; Vel\_V2\_1 a Vel\_V2\_9; Vel\_V3\_1 a Vel\_V3\_9); temperatura liquidus (Temp\_Liquidus) composta por apenas um ponto de coleta e a composição química composta por 10 elementos determinados para a pesquisa.

Busca-se evidenciar as causas da ocorrência de sucata no processo produtivo por meio da análise dos resíduos produzidos pelo modelo matemático. Também verifica-se a existência de volatilidade nas séries dos processos produtivos industriais e se essa volatilidade pode ser captada pelos modelos heterocedásticos<sup>1</sup>.

Os modelos ARCH, que tratam da modelagem da volatilidade, são aplicados mais, especificamente, nas áreas de Economia e Econometria que, ao invés de considerarem a heterocedasticidade dos resíduos um problema, consideram como uma característica a ser

---

<sup>1</sup> Modelos heterocedásticos são aqueles onde a variância não é constante.

modelada, ou melhor, como uma variância a ser modelada (SÁFADI e ANDRADE FILHO, 2007). Busca-se mostrar que tais modelos são úteis na área industrial.

A importância da pesquisa na área acadêmica se faz por ser inovadora no uso de GC auxiliado pela medida de volatilidade na interpretação dos GC convencionais aplicados na média do processo, em especial do lingotamento contínuo. A modelagem conjunta dos modelos não lineares, representada pelos modelos ARCH, também é importante por fornecer parâmetros mais fidedignos com a finalidade de encontrar os resíduos que reflitam a realidade do processo de forma mais acurada.

As contribuições da pesquisa para a empresa são a capacidade de identificar os problemas que afetam o processo produtivo de tarugos, e quais as variáveis e os parâmetros do processo que mais afetam esse processo e ocasionam defeitos. Também é investigado se o período em que houve a presença de volatilidade corresponde a um período de falta de controle detectado pelos gráficos.

Isso faz com que a equipe de produção possa monitorar o sistema por meio do CEP para evitar que ocorram produtos não conformes e, conseqüentemente, os custos de produção sejam menores, trazendo benefícios tanto à empresa quanto à sociedade.

No processo de lingotamento contínuo, os defeitos ocasionados por problemas operacionais nem sempre são detectados ou removidos durante a sua produção. Isso faz com que o controle das variáveis envolvidas no processo se torne imprescindível, pois o material com defeito terá que ser removido, retornando como sucata e gerando dispêndios para a empresa.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo geral

Esta pesquisa tem como objetivo geral verificar a estabilidade do processo de lingotamento contínuo na fabricação de tarugos por meio de gráficos de controle aplicado aos resíduos<sup>2</sup> oriundos da modelagem matemática linear e/ou não linear.

---

<sup>2</sup> Resíduo: é a diferença entre o valor real e o valor previsto, i.e.,  $e_t = z_t - \hat{z}_t$ .

### 1.3.2 Objetivos específicos

O objetivo geral só será alcançado à medida que for possível cumprir os objetivos específicos descritos a seguir:

- remover a correlação entre as variáveis e reduzir o conjunto das novas variáveis a serem analisadas, quando se apresentarem correlacionadas, por meio da utilização da Análise de Componentes Principais;
- realizar a modelagem das variáveis utilizando modelos lineares ARIMA e não lineares ARCH e/ou GARCH;
- utilizar a volatilidade estimada para auxiliar na interpretação dos gráficos de controle da média e nas previsões;
- identificar as variáveis que influenciam ou afetam na formação de defeitos de solidificação do aço.

### 1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A carência de literatura específica tratando da determinação da influência da volatilidade em processos produtivos multivariados é o fator positivo à contribuição desta proposta e, em contrapartida, é também um obstáculo para a sua realização.

Esta pesquisa restringe-se à área da aciaria no processo de fabricação de tarugos de aço. A análise dos custos dos diferentes níveis dos fatores controláveis não está inclusa neste trabalho. Considera-se, porém, que melhorando a qualidade do produto ou processo, reduzem-se os custos.

Em relação ao estudo da volatilidade, serão analisados apenas os modelos de heterocedasticidade ARCH e GARCH, não sendo investigadas, portanto, as suas demais variações.



## 1.5 ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa está organizada de modo que no capítulo 1 são abordados o tema, a justificativa e a importância, os objetivos e a respectiva delimitação.

No capítulo 2, faz-se a revisão da literatura, abrangendo os assuntos do lingotamento contínuo, ciclo da sucata, Análise de Componentes Principais para avaliação do sistema produtivo quanto ao seu estado de controle e também a seleção das variáveis que deverão ser modeladas, modelos de previsão ARIMA, ARCH e/ou GARCH para modelar a média condicional e a volatilidade, respectivamente; testes de diagnóstico e gráficos de controle utilizados para monitoramento do processo produtivo, classificando-o quanto a sua estabilidade e mostrando se um ajuste deve ou não ser feito e onde deve ou não ser feito.

No capítulo 3, é apresentada a metodologia.

No capítulo 4, é mostrada a aplicação da metodologia a um caso real na indústria de aços.

E no capítulo 5 mostram-se algumas conclusões do desenvolvimento da pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo está dividido em itens, os quais servirão de suporte para o desenvolvimento da pesquisa. No item 2.1, aborda-se o processo do lingotamento contínuo, foco norteador deste estudo. No item 2.2, será discutido o ciclo da sucata na empresa. No item 2.3, a Análise de Componentes Principais, enfatizando sua importância no controle de qualidade. No item 2.4, é abordado o assunto dos modelos de previsão ARIMA, os quais servem para modelar a média condicional. No item 2.5, são discutidos os modelos ARCH e GARCH, ou seja, modelam a volatilidade, seguidos dos principais testes estatísticos utilizados. No item 2.6, aborda-se a metodologia dos GC, ferramenta importante no controle de qualidade, que servirá para avaliar o processo quanto a sua estabilidade. Dessa forma, busca-se apresentar como essas técnicas serão desenvolvidas e utilizadas na pesquisa.

### 2.1 LINGOTAMENTO CONTÍNUO

No processo de lingotamento contínuo, há um sistema de fluxo que transporta o aço líquido com a vazão desejada desde a panela, passando pelo distribuidor até o molde que, além de conferir forma à peça, atua como absorvedor de calor responsável pela extração de calor do metal e garante a transformação do líquido em sólido. As condições do fluxo devem minimizar a exposição ao ar, evitar a captura de escória ou de outro material estranho, ajudar na remoção de inclusões para a camada de escória e favorecer uma solidificação uniforme (BARCELLOS, 2011; GARCIA, 2007).

A Figura 1 mostra uma visão esquemática da máquina de lingotamento contínuo.

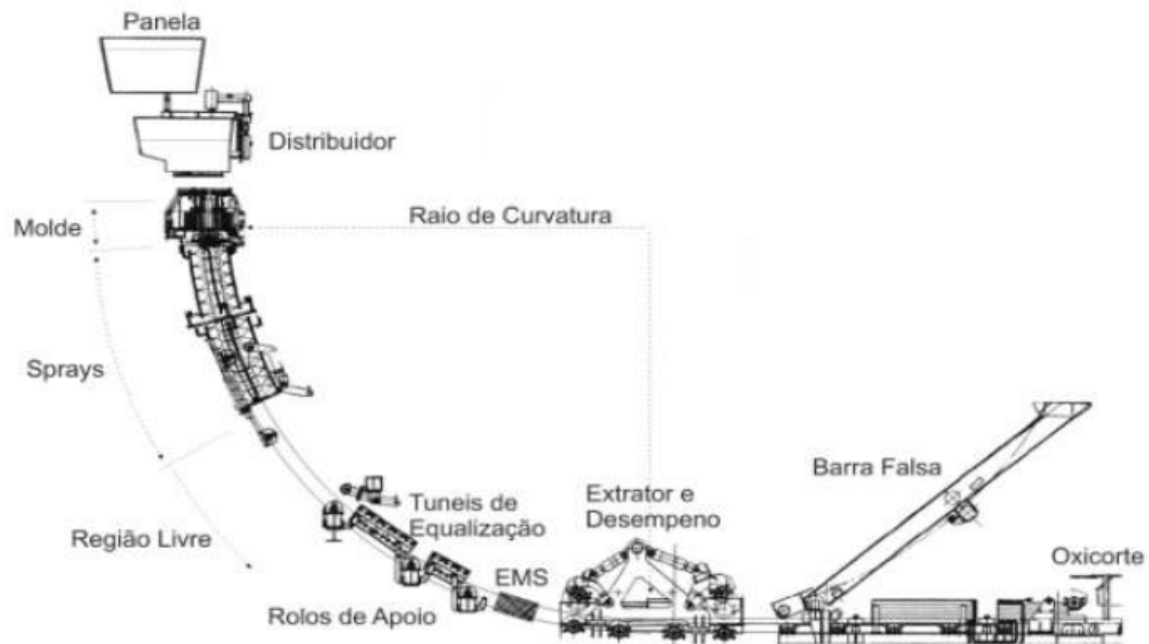


Figura 1 - Representação esquemática do processo de Lingotamento Contínuo de Aços (BARCELLOS, 2011)

A região do molde tem importância fundamental sobre a qualidade do produto e desenvolvimento adequado do processo de LC. Nessa região, é formada a pele inicial, a que tem por finalidade sustentar o aço líquido nas regiões inferiores e abaixo da saída do molde, bem como suportar a pressão ferrostática crescente à medida que o veio desce para regiões inferiores da máquina.

De acordo com Garcia et al. (2006), durante o processo de solidificação, o calor é transferido do metal líquido pelos mecanismos de condução, convecção e radiação. Faz referência, também, a algumas etapas de transferência de calor a partir do centro do tarugo na região do molde:

- condução e convecção no metal líquido;
- condução por meio da casca sólida;
- condução na parede do molde;
- convecção na água de refrigeração;
- convecção e radiação na superfície do tarugo na região dos *sprays*.

A atuação dos mecanismos de transferência de calor durante o processo de solidificação é representado na Figura 2.

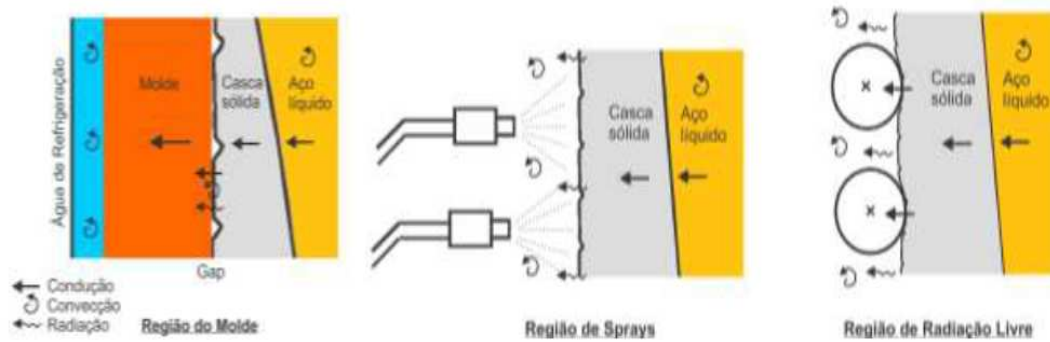


Figura 2 - Mecanismos de transferência de calor no sistema metal/molde (BARCELLOS, 2011)

Em relação aos sistemas de refrigeração, o maior controle ocorre no molde, uma vez, que existem sensores de temperatura na entrada e saída do circuito fechado de água e manômetros posicionados na entrada e saída do molde. Alterações na vazão de água do sistema são realizadas em função das dimensões dos moldes e da composição química dos aços. Para as zonas de chuveiros, cada veio tem seu circuito de água, apresenta válvula de controle de vazão, transmissor de pressão e medidor de fluxo.

A remoção de calor do aço líquido dentro dos veios é constituída de três etapas principais:

- remoção do superaquecimento do aço líquido que entra no molde vindo do distribuidor;
- remoção do calor latente de fusão da frente de solidificação;
- remoção do calor sensível (resfriamento abaixo da temperatura *solidus*) da camada sólida.

A eficiência do processo de lingotamento contínuo, em termos de produção e qualidade, depende muito da velocidade de lingotamento adotada. Entre os principais fatores que influenciam na determinação das velocidades de lingotamento, destacam-se: tipo e dimensão do produto, temperatura de lingotamento, relação quantidade de água e quantidade de aço e características de projeto da máquina.

De acordo com Thomas (2001), no LC ocorrem fenômenos físicos tais como:

- presença de partículas de inclusão;
- presença de bolhas de gás no metal líquido transportadas pelo líquido turbulento;
- formação de camada de escória;
- camada de pó fluxante sobre o metal líquido e na interface metal/molde;
- formação de estruturas de solidificação;
- formação de trincas, as quais dependem das temperaturas, tensões, microestruturas, etc.

No processo de LC, segundo Rizzo (2006), a solidificação dos metais apresenta dois aspectos:

- a) mecânico: ligado à composição química do metal;
- b) térmico: ligado à história térmica do metal, à forma de transferência de calor e à distribuição de temperaturas no interior da peça a cada instante do processo.

Após a solidificação, a estrutura formada determina as propriedades do produto acabado. As características mecânicas do produto dependem do tamanho do grão, espaçamentos dendríticos, lamelares ou fibrosos, das heterogeneidades da composição química, tamanho, forma e distribuição das inclusões, entre outros. Esses aspectos relacionados à microestrutura dependem das condições de solidificação do aço ainda com o metal no estado líquido (Garcia, 2007).

A partir da composição química, a dinâmica do processo de solidificação é que se encarregará de determinar a microestrutura resultante. A microestrutura, associada à distribuição de defeitos e heterogeneidades químicas, definirá as características mecânicas e químicas do produto solidificado. A Figura 3 mostra a representação esquemática de uma microestrutura de solidificação.

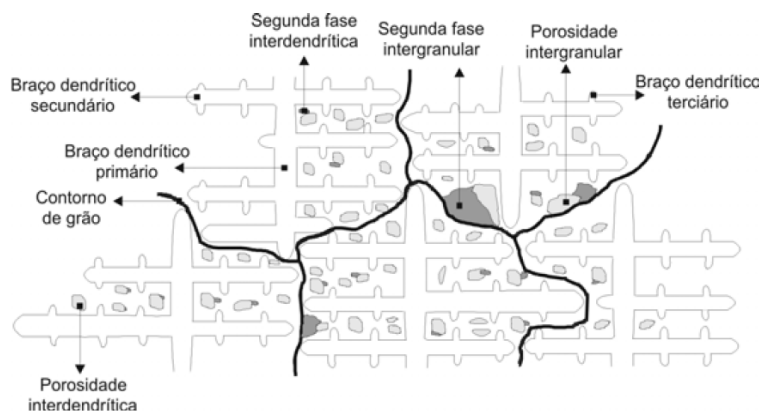


Figura 3 - Representação esquemática de microestrutura de solidificação (GARCIA, 2007)

Como o foco principal do estudo são as sucatas produzidas pela máquina de lingotamento contínuo durante o processo de fabricação do produto semiacabado, é importante ressaltar que os defeitos podem ser ocasionados por problemas mecânicos e metalúrgicos durante o lingotamento como também por falhas no processo de fabricação do aço nas áreas de refino.

Os defeitos ocorridos durante o processo do lingotamento contínuo podem ocasionar grandes dispêndios à empresa. E há uma série de variáveis que podem ser responsáveis pelos mesmos, como, por exemplo, água, pó do molde, corrente do agitador eletromagnético, peso do distribuidor, peso da panela, temperatura do distribuidor, velocidade do veio, composição

química, temperatura do molde, temperatura de superfície, lubrificação, entre outras. Quando essas variáveis apresentam dependência entre si, existe a presença de correlação, o que caracteriza um processo multivariado e a aplicação de GC univariados torna a sua interpretação insuficiente. Vale ressaltar que é preciso um monitoramento dessas variáveis de modo que, em caso de irregularidade na qualidade dos produtos, as causas devem ser analisadas para que desperdícios sejam evitados.

De acordo com Stefanescu (1988), os defeitos podem ser detectados por meio de inspeção visual, dimensional, teste de peso e dureza. Um dos principais refere-se à formação de trincas que podem alcançar qualquer ponto da superfície ou do interior do tarugo. Além disso, podem ser ocasionadas pelo efeito de fatores de composição do aço como a concentração de carbono ou de elementos de liga, falta de uniformidade no resfriamento do tarugo na região do molde, oscilação do molde envolvendo movimento do mesmo, pó fluxante, transferência de calor e nível do menisco, e alinhamento dos rolos onde ocorre o final da solidificação, entre inúmeros outros fatores.

Na indústria, a produção do aço por meio do lingotamento contínuo e de forma rotineira com qualidade, uniforme e confiável, constitui-se num ativo valioso dentro do processo. O trabalho de desenvolvimento do processo deve ser contínuo, num esforço para melhorar o controle e a produção, sobretudo no que diz respeito à prevenção de macroinclusões, trincas internas e superficiais. Esse processo de continuidade caracteriza um processo de autocorrelação de um instante para o outro entre as observações dos dados coletados. A aplicação de GC em dados autocorrelacionados produz uma detecção errônea de pontos fora de controle, pois a autocorrelação produz alarmes falsos (SAYURI IDE et al., 2009). Nesses casos, o ideal é remover a autocorrelação por meio de um modelo de previsão ou de um modelo matemático apropriado e, então, trabalhar com os resíduos oriundos desses modelos.

## 2.2 CICLO DA SUCATA

A empresa preocupa-se com a reciclagem e o reaproveitamento das matérias-primas e produtos. No período estudado, setembro de 2009 a dezembro de 2010, ela produziu considerável volume de sucata referente a defeitos com trincas internas, superficiais e macroinclusões.

O consumo de sucata traz benefícios que incluem redução das emissões de CO<sub>2</sub>, otimização dos processos, diminuição do uso de energia, obtenção de custos mais competitivos e aumento da produtividade. O fortalecimento da rede de coleta de sucata contribui, também, com a diminuição do volume de materiais destinados a aterros e resulta em empregos e rendas para muitos trabalhadores.

A maior parte da sucata reciclada são materiais que deixam de ser úteis à sociedade, como fogões, geladeiras e carros velhos. Esses materiais são reaproveitados e transformados em novos produtos de aço. A empresa recicla também o aço resultante do processo produtivo das indústrias, como a de automóveis, embalagens e eletrodomésticos.

Por meio de seus pontos de recebimento e de sua rede de transporte, a empresa coleta tanto o material obsoleto quanto as sobras do processo produtivo das indústrias. Quando esse material chega às unidades da empresa, é, então, classificado, separado e processado. Após essa operação, a sucata está pronta para ser transformada em aço novamente.

Na empresa, a sucata é fundida junto com outros elementos e transformada em aço líquido. O aço líquido passa por diversas etapas do processo produtivo e dá origem aos mais variados produtos para atender à construção civil, agropecuária e indústria.

Os novos produtos de aço são consumidos pela sociedade até se tornarem novamente obsoletos. Quando chegam ao fim de sua vida útil, são reciclados outra vez e dão início a um novo ciclo. O aço pode ser reciclado infinitas vezes, sem nunca perder suas propriedades.

### 2.3 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

A Análise de Componentes Principais (ACP) é um dos métodos multivariados mais simples que, segundo Casarin et al. (2012), tem um dos seus principais usos quando as variáveis são originárias de processos em que diversas características devem ser observadas ao mesmo tempo. Autores como Morrison (1976), Reinsel (1993), Johnson e Wichern (1998), Souza et al. (2011) estudam essa técnica que, por meio da ACP, é possível reduzir o conjunto de variáveis originais a serem analisadas, especialmente quando essas estão interrelacionadas. É feito com a transformação um novo conjunto de variáveis que mantém ao máximo a variabilidade do conjunto. As novas variáveis, denominadas de Componentes Principais (CP's), são independentes e não correlacionadas, o que favorece a análise, principalmente quando vários fatores estão envolvidos, como é o caso do Controle Estatístico de Processos.

A ACP possibilita a avaliação do sistema produtivo quanto ao seu estado de controle, pois suas componentes podem ser utilizadas para a avaliação por meio de GC. Também é possível selecionar as componentes de maior relevância dentre aquelas estimadas e, desta forma, selecionar as componentes que deverão ser modeladas, as quais devem ser independentes e não correlacionadas. De acordo com Khattree e Naik (2000), a técnica proporciona, pelo estudo de correlação entre as componentes e as variáveis originais, o conhecimento de quais são as variáveis originais de maior relevância no sistema. E possibilita, dessa forma, que estudos mais aprofundados de controle de qualidade ou de outra área de interesse sejam concentrados nessas variáveis originais mostradas como sendo as de maior relevância no sistema.

Ao utilizar a ACP, são reveladas as relações que não eram previamente consideradas e, assim, permitem interpretações que não iriam aparecer de outro modo (Johnson e Wichern, 1998), o que na teoria é conhecido como fatores, isto é, as correlações entre as variáveis originais apresentam fatores desconhecidos que são revelados pela técnica de ACP e que possuem influência no sistema estudado.

Para a determinação das componentes principais, é necessário se calcular a matriz de variância-covariância ( $\Sigma$ ) ou a matriz de correlação (R), encontrar os autovalores e os autovetores e escrever as combinações lineares, que serão as novas variáveis, denominadas de CP's (SOUZA e VICINI, 2007). A Figura 4 apresenta uma sequência para a extração de componentes principais.

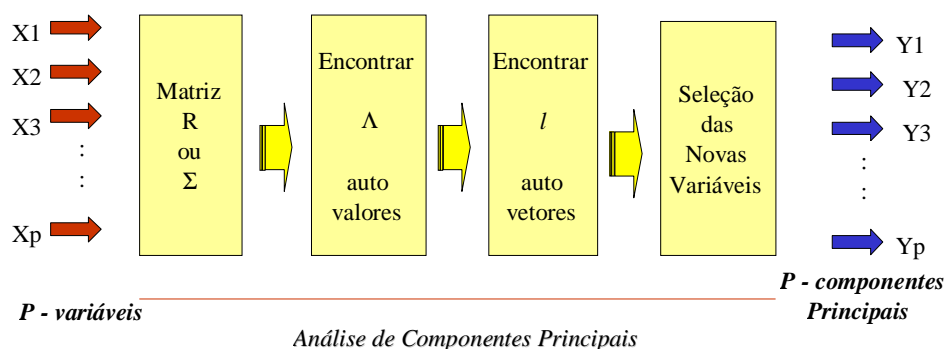


Figura 4 - Esquema da aplicação da Análise de Componentes Principais (Fonte: MARCHESAN, et al., 2011)

Para gerar as componentes principais, supõe-se que  $X$  seja um vetor de  $p$ -variáveis aleatórias e que a estrutura de variância e correlação entre as variáveis seja de interesse para o estudo, isto é, que essas variáveis apresentem um grau de correlação significativo e mostrem que existe uma ligação forte entre uma variável e outra. Se  $p$  for muito pequeno ou se as



correlações entre as variáveis forem muito pequenas, a investigação das variáveis individualmente deve ser preferida, pois fica mais fácil trabalhar com as variáveis isoladas que possuem baixa correlação do que realizar o procedimento de estimação das ACP's conforme Figura 4. Caso isso não ocorra, pode-se utilizar a metodologia de ACP, a qual possibilita investigar poucas CP's e não todo o conjunto das variáveis originais, além de manter a maioria das informações das matrizes de variância e correlação.

As CP's são extraídas em ordem decrescente de sua variância, ou seja, da mais explicativa para a menos explicativa. Teoricamente, o número de componentes é sempre igual ao número de variáveis, entretanto, algumas poucas componentes são responsáveis por grande parte da explicação total.

Considerar os valores das CP's ao invés dos valores originais, implica perda de informações refletidas pelo grau de explicação ou pela variância explicada por cada componente, mas existe, mesmo assim, um ganho na análise de poucas novas variáveis.

O uso da ACP teve, inicialmente, o propósito de reduzir a dimensionalidade de conjuntos de dados multivariados, sem ocorrência de perda significativa de informações. Em seguida, a ACP tornou-se útil na identificação de variáveis fora de controle. Mostrou-se, inclusive, mais eficiente do que o gráfico  $T^2$  para detectar pequenas mudanças do alvo (WOODALL e NCUMBE, 1985).

Segundo Nomikos e MacGregor (1994), na fabricação de produtos em que os processos produtivos ocorrem em diversas fases, a ACP auxilia na identificação da componente que pertence a cada fase, bem como identifica as variáveis que compõem essa componente. Também identifica a variável que pode afetar o processo e em que momento isso ocorre.

As componentes principais são utilizadas na busca de causas especiais responsáveis pela falta de controle do processo quando essas forem apontadas como fora de controle pelos gráficos de controle.

Quando uma mudança ocorre em uma componente principal detectada pelo GC, geralmente não se conhece qual variável está afetando a combinação linear, mas deve-se recorrer ao cálculo de correlação entre a componente e as variáveis para determinar qual a variável de maior influência e identificar, assim, a variável que possivelmente estaria afetando a componente.

Considerando um vetor  $Y$  de variáveis aleatórias com média  $\mu$  e matriz de variância-covariância ( $\Sigma$ ), procura-se encontrar um novo conjunto de variáveis  $Y_1, Y_2, \dots, Y_p$ , que são não

correlacionadas e cujos desvios são descritos em ordem decrescente de acordo com os seus próprios valores, conforme equação (1).

$$Y_j = a_{1j}X_1 + a_{2j}X_2 + \dots + a_{pj}X_{p1} = a_j X \quad (1)$$

A constante do vetor deve seguir as condições das equações (2) e (3).

$$\sum_{j=1}^p a_{ij}^2 = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^p a_{ij}a_{kj} = 0 \quad (3)$$

Para satisfazer as condições de normalidade e ortogonalidade, é estimada a equação, (4) utilizando-se o teste multiplicador de Lagrange. Esse método permite encontrar os autovalores e autovetores, respectivamente. Durante o processo de estimação de acordo com a equação (2), essa garante o sistema de uma solução única, e a equação (3) mostra que, para  $i \neq k$  com  $i, k = 1, 2, \dots, p$ , as componentes principais são independentes e ortogonais.

$$|\Sigma - \lambda_i| a_1 = 0 \quad (4)$$

A equação 4 deve ser singular, ou seja, quando definido como um vetor nulo, o sistema deve ter uma solução não nula para  $a_1$ , se  $\lambda$  é um autovalor da matriz  $\Sigma$ .

De acordo com Corrar et al. (2007), Rigão e Souza (2005), sendo todos os  $\vec{x}_i$  elementos do vetor, é possível determinar os coeficientes de  $Y_i$ . Deste modo, a CP  $i^{th}$  é expressa pela equação (5).

$$Y_j = a_{1j}X_1 + a_{2j}X_2 + \dots + a_{pj}X_{p1} \quad (5)$$

A CP segue as condições descritas nas equações (6), (7) e (8):

$$i) \hat{V}ar(Y_i) = \hat{\Lambda}_i \text{ então } \hat{V}ar(Y_1) > \hat{V}ar(Y_2) > \dots > \hat{V}ar(Y_p) \quad (6)$$

$$ii) \sum \hat{V}ar(X_i) = \Sigma \hat{\Lambda}_i = \Sigma \hat{V}ar(Y_i) \quad (7)$$

$$iii) \hat{C}ov(Y_i, Y_j) = 0, \text{ desde que } \sum_{j=i}^p a_{ij}a_{kj} = 0 \quad (8)$$

A valor da variância explicada para cada CP é expressa em termos percentuais e é mostrada na equação (9).

$$\frac{\hat{V}ar(Y_i)}{\sum_{i=1}^p \hat{V}ar(Y_i)} \cdot 100 = \frac{\hat{\Lambda}_i}{\sum_{i=1}^p \hat{\Lambda}_i} \cdot 100 = \frac{\hat{\Lambda}_i}{\text{traço}(\Sigma)} \cdot 100 \quad (9)$$

A ACP é utilizada nesta pesquisa para eliminar a correlação entre as variáveis envolvidas no processo do lingotamento contínuo, bem como para reduzir o conjunto de

variáveis a serem analisadas. Dessa forma, o processo será explicado por poucas componentes principais.

## 2.4 MODELOS ARIMA

A abordagem de Box e Jenkins (1970) é uma metodologia utilizada na análise de modelos paramétricos<sup>3</sup>, a qual consiste em ajustar modelos Autorregressivos Integrados de Médias Móveis,  $ARIMA(p,d,q)$  a um conjunto de dados, onde  $p$  representa a parte autorregressiva,  $d$  representa o número de diferenças dados na série para estacionarizá-la<sup>4</sup> e  $q$  representa a parte de médias móveis. Os modelos, quando não apresentam diferenciação em suas séries, podem ainda ser denominados  $ARMA(p,q)$ , quando só apresentam a parte autorregressiva,  $AR(p)$ , ou quando apresentam apenas a parte de médias móveis,  $MA(q)$ .

Os modelos de Box e Jenkins são modelos matemáticos que captam o comportamento da correlação seriada ou autocorrelação para realizar previsões futuras da série em estudo. Se esse modelo estimado for usado para previsão, deve-se supor que as características desse modelo são constantes no tempo e, particularmente, no período futuro (GUJARATI, 2006).

Segundo Moretin e Tolo (2004), outro objetivo do estudo de séries temporais é verificar se as observações da série apresentam dependência serial, a qual será analisada e modelada, bem como será estudada a relação da série com outras séries temporais. A construção de modelos de Box e Jenkins é baseada em um ciclo iterativo, no qual a escolha do modelo é feita com base nos próprios dados.

Pereira e Requeijo (2008), na Figura 5, mostram o fluxograma do ciclo iterativo de Box e Jenkins.

---

<sup>3</sup> Paramétrico significa que a variável de interesse deve ter um parâmetro conhecido no caso da distribuição normal  $\mu$  e  $\sigma^2$ .

<sup>4</sup> Estacionariedade: série ou processo que oscila em torno da média constante, com variância também constante, conhecida como homocedástica.

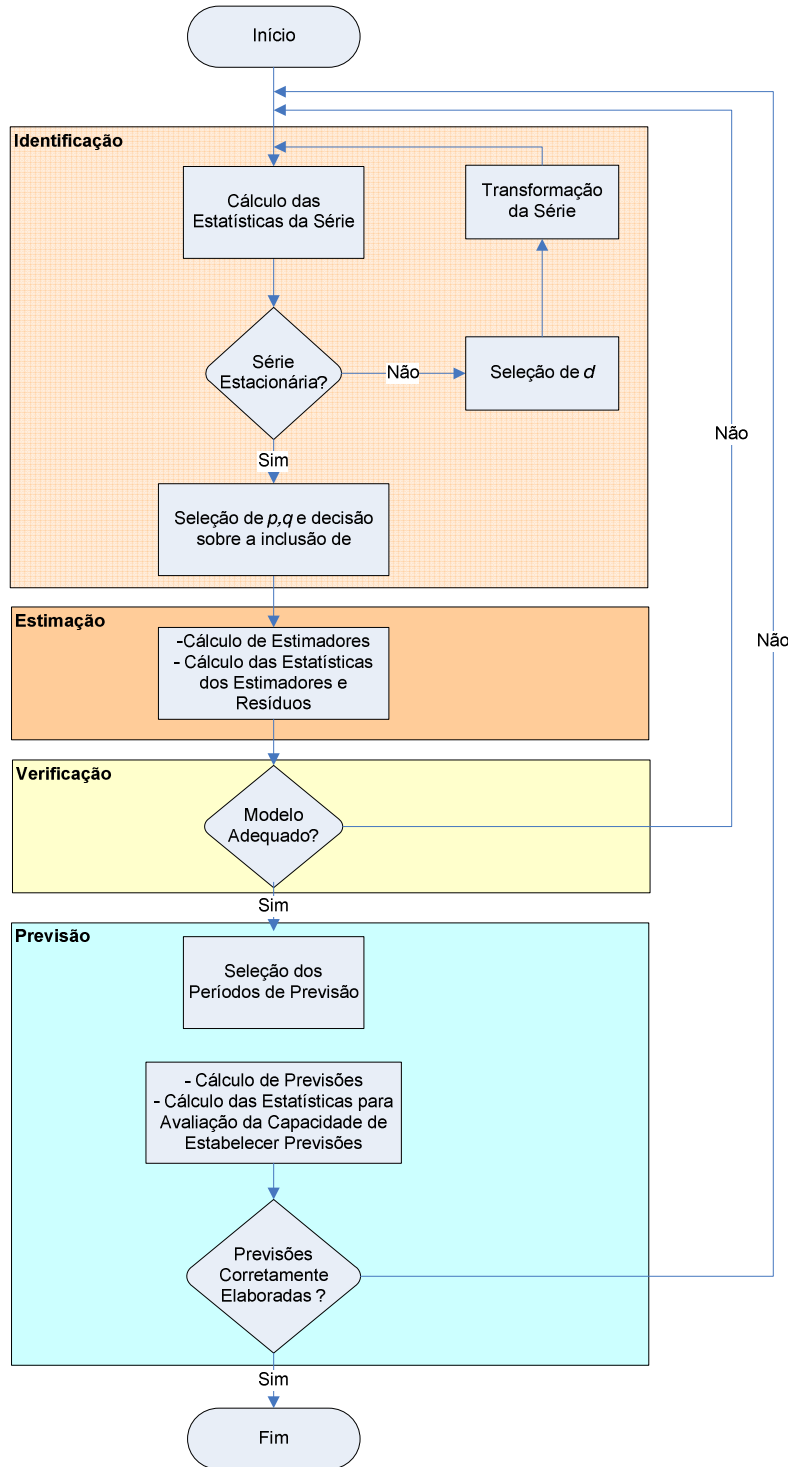


Figura 5 - Fluxograma do ciclo iterativo de Box e Jenkins (PEREIRA e REQUEIJO, 2008)

Os modelos de Box e Jenkins, de acordo com Morettin e Tolo (2004), são baseados em processos estocásticos<sup>5</sup> e devem apresentar algumas características para que os mesmos possam ser estimados. A primeira delas é que as observações deverão ser espaçadas em intervalos iguais no tempo, e a série deverá ter no mínimo 50 observações. A segunda

<sup>5</sup> Processo estocástico ou aleatório é aquele controlado por leis probabilísticas. A variável aleatória ou estocástica é aquela que pode assumir qualquer conjunto de valores positivos ou negativos, com uma dada probabilidade.

característica é que a série dos dados deve ser estacionária, ou seja, devem ser mantidas as mesmas características estocásticas ao longo da série, como, por exemplo, a mesma média, variância e covariância, conhecida como homocedástica. Assim, as médias das partes não devem ser significativamente diferentes das médias de toda a amostra.

Por fim, a série pode ainda ser não estacionária, ou seja, a amostra pode tornar-se estacionária por processo de diferenciação ou integração. Somente dessa forma, com séries temporais estacionarizadas, é possível a aplicação da metodologia de Box e Jenkins. Assim, os modelos são classificados em estacionários e não estacionários.

Segundo Pedroso et al. (2007), uma variável diferenciada é, normalmente, representada pelo acompanhamento do símbolo  $\Delta$ . Dessa forma, a variável  $y$  com a primeira diferença será  $\Delta y = y_t - y_{t-1}$ , ou seja,  $y$  diferenciado é igual aos valores de  $y$  no período anterior ( $t-1$ ). Sua ordem pode ser representada pela letra  $d$ . No caso, para a primeira diferença,  $d = 1$ ; para a segunda diferença,  $d = 2$ ; e  $\Delta^2 y = y_{t-1} - y_{t-2}$ .

A fórmula geral de um modelo ARIMA, considerando que a série foi diferenciada uma vez para estacionarizá-la, é representada pelas equações (10) e (11).

$$W_t = \Delta y = y_t - y_{t-1}. \quad (10)$$

$$W_t = \phi_1 W_{t-1} + \dots + \phi_p W_{t-p} + e_t - \theta_1 e_{t-1} - \dots - \theta_q e_{t-q}. \quad (11)$$

Os modelos ARIMA são desenvolvidos a seguir, conforme os autores Hill, Griffiths e Judge (1999), Dell Castillo (2002), Morettin (2008) e Bueno (2008).

#### - Modelo AR( $p$ )

Modelos ou processos autorregressivos são caracterizados quando uma variável aleatória está relacionada com os próprios valores passados e com os erros aleatórios. Deve-se considerar os erros na regressão. Sendo a variável  $y_t$  no modelo dado pela equação (12):

$$y_t = \mu + \phi_1 y_{t-1} + e_t \quad (12)$$

É definido como sendo um modelo autorregressivo porque, sob determinadas suposições, satisfaz a seguinte condição dada pela equação (13):

$$E[y_t / y_{t-1}] = \mu + \phi_1 y_{t-1} \quad (13)$$

Considerando um processo autorregressivo de ordem  $p$  ou processo AR( $p$ ), considera-se o seguinte modelo na equação (14):

$$y_t - \mu = \phi_1 (y_{t-1} - \mu) + \phi_2 (y_{t-2} - \mu) + \dots + \phi_p (y_{t-p} - \mu) + e_t \quad (14)$$

onde  $\mu$ ,  $\gamma_1 \dots \gamma_p$  são os parâmetros reais e  $e_t \sim RB(0, \sigma^2)$ .

O modelo AR(1) é representado pela expressão mostrada na equação (15):

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + e_t \quad (15)$$

Neste caso, o comportamento futuro da variável pode ser explicado pelo seu comportamento passado, no qual cada período anterior é representado por um coeficiente  $\phi$ .

Para determinar a ordem dos termos  $p$  e  $q$ , são usadas as funções de autocorrelação (FAC) e autocorrelação parcial (FACP) como mostra a Figura 6(a) e 6(b), respectivamente, com decaimento rápido na FAC e um  $lag^6$  significativo, e na FACP mostra-se a ordem do modelo.

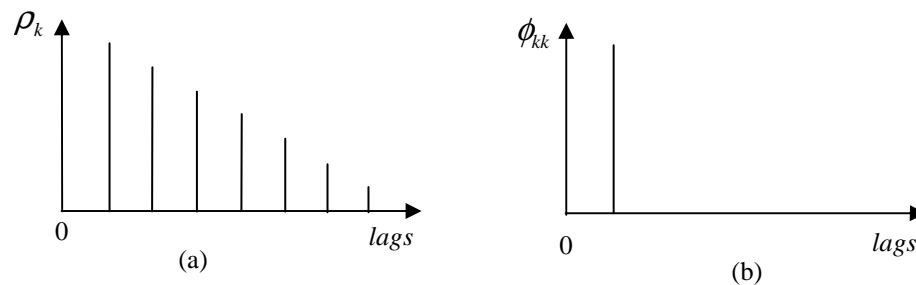


Figura 6 - Comportamento da FAC (a) e FACP (b) de um modelo AR(1)

De acordo com a Figura 6, a FAC ( $\rho_k$ ) desse modelo declina exponencialmente à medida que  $k$  aumenta, mostrando que a série poderá ser estacionária. Enquanto a FACP ( $\phi_{kk}$ ) é truncada em  $k = 1 = p$ , fornecendo a ordem do modelo, neste caso AR(1).

#### - Modelo MA( $q$ )

Um modelo de médias móveis ou MA( $q$ ) é aquele em que a série observada é um somatório dos erros passados da variável. Assim, o modelo de médias móveis é representado pela equação (16):

$$y_t = \mu + e_t - \theta e_{t-1} - \dots - \theta_q e_{t-q} \quad (16)$$

onde  $\mu$ ,  $\theta_1 \dots \theta_p$  são constantes reais e  $e_t \sim RB(0, \sigma^2)$ .

Segue-se que  $\theta_t$  é estacionário, de média  $\mu$  e como  $e_t$  como são não correlacionados, a variância do processo pode ser obtida pela expressão (17)

<sup>6</sup> Lag: intervalo de tempo entre as observações.

$$\sigma_y^2 = \sigma^2(1 + \theta_1^2 + \dots + \theta_q^2) e_{t-1}. \quad (17)$$

O modelo MA(1) é representado pela expressão da equação (18):

$$y_t = e_t - \theta_1 e_{t-1}. \quad (18)$$

A identificação do modelo é feita por meio da FAC e FACP, ilustrado na Figura 7 (a) e 7(b), respectivamente.

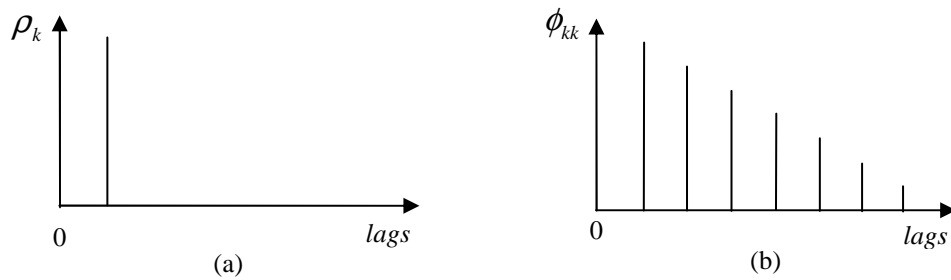


Figura 7 - Comportamento da FAC (a) e FACP (b) de um modelo MA(1)

Conforme a Figura 7, a FAC ( $\rho_k$ ) é semelhante a FAC de um AR(1), ou seja, é truncada em  $k = 1 = q$  fornecendo a ordem 1 para o modelo. Quanto à FACP ( $\phi_{kk}$ ), é necessário transformar o MA(1) em um modelo autorregressivo, o que faz com que a FACP decresça exponencialmente e caracterize-se como estacionária, tendo assim o modelo MA(1).

#### - Modelo ARMA(p,q)

A partir dos modelos AR(p), descritos por seus valores passados, e MA(q), descrito pelos erros aleatórios correntes e passados, pode-se construir um novo modelo, mais abrangente, que é o modelo autorregressivo de médias móveis ou modelo ARMA(p, q).

Este modelo é definido algebricamente pela equação (19):

$$y_t - \mu = \phi_1(y_{t-1} - \mu) + \dots + \phi_p(y_{t-p} - \mu) + e_t - \theta_1 e_{t-1} - \dots - \theta_q e_{t-q} \quad (19)$$

onde  $e_t \sim RB(0, \sigma^2)$  e a média do processo é  $\mu$ . Usando os operadores autorregressivos e de médias móveis, o modelo pode ser escrito na forma da equação (20):

$$\phi(B)\tilde{y}_t = \theta(B)e_t \quad (20)$$

onde  $\tilde{y}_t = y_t - \mu$ , sendo que  $\mu = 0$ . Quando  $\mu \neq 0$ , o modelo é escrito da seguinte forma (equação 21):

$$y_t = \phi_0 + \theta_1 y_{t-1} + \dots + \phi_p y_{t-p} + e_t - \theta_1 e_{t-1} - \dots - \theta_q e_{t-q} \quad (21)$$

onde  $\theta_0 = \mu(1 - \phi_1 - \dots - \phi_p)$ .

O modelo escrito para ARMA(1,1) é dado pela equação (22):

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + e_t - \theta_1 e_{t-1}. \quad (22)$$

A Tabela 1 apresenta, de forma resumida, o comportamento da FAC e FACP dos processos AR, MA e ARMA.

Tabela 1 - Comportamento da FAC e FACP dos processos AR, MA e ARMA

Processo	FAC ( $\rho_k$ )	FACP ( $\phi_{kk}$ )
AR( $p$ )	declinante	apresenta picos significativos até $p$ defasagens (truncada em $k = p$ )
MA( $q$ )	apresenta picos significativos até $q$ defasagens (truncada em $k = q$ )	declina exponencialmente
ARMA( $p,q$ )	diminui exponencialmente	diminui exponencialmente

Fonte: Bueno (2008)

- ARIMA( $p,d,q$ )

Para trabalhar com séries temporais, é importante que as variáveis sejam estacionárias, porém, como a grande maioria é não estacionária, é preciso aplicar um modelo ARIMA para tornar o conjunto de dados estacionários. Para uma série de dados ser estacionária, suas variáveis não podem apresentar tendências e devem ser estáveis ao longo do tempo (STOCK e WATSON, 2004).

Segundo Morettin (2008), os modelos ARIMA para processos não estacionários são responsáveis por capturar e modelar processos de memória curta, pois a FAC decresce rapidamente para zero. Se o processo não apresentar esta característica, outros modelos devem ser empregados para estimar processos de memória longa, como, por exemplo, modelos ARFIMA.

Segundo Pedrini e Ten Catten (2008), para tornar uma série estacionária, ao diferenciá-la, ocorre a perda das  $d$  primeiras informações. Para este caso, se alguma das informações perdidas estiver fora de controle, não há como estimar os resíduos para o modelo, o que levaria a conclusões errôneas sobre a estabilidade do processo.

O processo ARIMA é representado pela expressão da equação (23):

$$\phi(B)\Delta^d y_t = \theta(B)e_t \quad (23)$$

onde  $B$  é operador retroativo ou operador de defasagens,  $d$  é inteiro positivo e representa a diferença conforme a ordem de integração;  $\phi$  e  $\theta$  são os parâmetros dos processos autorregressivos e de média móvel de ordem  $p$  e  $q$ , respectivamente, e  $e_t \sim RB(0, \sigma^2)$ .



Por meio das séries temporais, procura-se verificar o comportamento do conjunto de dados que compõem a série em estudo, encontrando o modelo que melhor a represente. Esse pode ser um modelo autorregressivo  $AR(p)$ , modelo de médias móveis  $MA(q)$ , modelo autorregressivo de médias móveis  $ARMA(p,q)$  ou, ainda, um modelo autorregressivo integrado de médias móveis  $ARIMA(p,d,q)$ . Para definir o melhor modelo, segundo Gujarati (2006), deve-se seguir um conjunto de etapas: identificação, estimação, verificação e previsão conforme mostrado na Figura 5.

Esses modelos também são discutidos pelos autores Box et al. (1994), Makridakis et al. (1998), Morettin e Toloi (2004) e Morettin (2008).

Para identificar o melhor modelo dentre todos os modelos candidatos a representar a série temporal, além da FAC e da FACP, pode-se utilizar os critérios penalizadores AIC (Akaike Information Criterion) e BIC (Bayesian Information Criterion). Esse procedimento faz uso de critérios de seleção de modelos construídos com base na variância estimada, no tamanho da amostra e nos valores de  $p$  e  $q$ , objetiva penalizar os modelos com maior número de parâmetros, escolhendo-se o modelo que apresentar o menor valor para AIC ou BIC.

Para estimar um modelo ARIMA, pode-se utilizar o Método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) ou o método de Máxima Verossimilhança (MV) que, segundo autores como Anselin (1988) e Gujarati (2006) é superior ao método dos MQO, quando o tamanho da série é pequeno. Nesta pesquisa foi usado o Método da MV.

Após escolher o melhor modelo ARIMA e estimar seus parâmetros, parte-se para a etapa de verificação do modelo a fim de observar se o mesmo ajustou-se aos dados da série temporal, adotando-o para fazer a previsão. Se isso não ocorrer, é necessário identificar e estimar o modelo novamente. Essa etapa é baseada na análise dos resíduos obtidos do modelo, os quais devem ser do tipo ruído branco.

Segundo Morretin e Toloi (2004), a série ruído branco tem uma sequência de variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas (*i.i.d.*), com média zero e variância constante igual a  $\sigma^2$ , não autocorrelacionado e que segue uma distribuição Normal. Os coeficientes de autocorrelação devem ser estatisticamente iguais a zero, observados por meio da FAC e da FACP. Essas funções devem ser aplicadas à série de resíduos. É escolhido o modelo que apresentar o menor valor para AIC e BIC entre os modelos concorrentes estimados. Se os coeficientes encontrados forem maiores que zero, demonstra-se que ainda

existem informações não captadas pelo modelo e que podem gerar previsões pobres, pois o modelo não é adequado.

Os critérios AIC e BIC são equivalentes e medem a verossimilhança<sup>7</sup> do modelo. Esses critérios são calculados por meio das expressões das equações (24) e (25):

$$\text{Critério de AKAIKE (AIC)} \Rightarrow AIC = \ell n \hat{\sigma}_e^2 + \frac{2(p+q)}{n}, \quad (24)$$

$$\text{Critério de BAYES (BIC)} \Rightarrow BIC = \ell n \hat{\sigma}_e^2 + \frac{(p+q)\ell n n}{n}, \quad (25)$$

onde  $\hat{\sigma}_e^2$  é a variância estimada dos erros,  $n$  é o tamanho da amostra, e  $p$  e  $q$  são valores dos parâmetros.

Se os resíduos do modelo estimado são estimativas do ruído branco, o modelo está adequadamente especificado. O teste de *Ljung-Box* serve para reforçar essa afirmativa, pois compara o valor da estatística de teste com os valores tabelados da distribuição Qui-quadrado ( $\chi^2$ ) com  $p$  graus de liberdade.

Se os resíduos forem ruído branco, mas em cada instante de tempo forem elevados ao quadrado, e esses resíduos quadráticos forem autocorrelacionados, tem-se uma série em que existe uma dependência possível de ser modelada, denominada de variância condicional ou de volatilidade. Segundo Enders (1995), se isso acontecer, essa volatilidade pode ser modelada por meio de modelos não lineares do tipo ARCH, chamados modelos autorregressivos de heterocedasticidade condicional. Além de verificar a autocorrelação nos resíduos, necessita-se verificar a sua normalidade e os sinais de heterocedasticidade condicional nos resíduos quadráticos.

## 2.5 MODELOS ARCH E GARCH

O componente de volatilidade foi descrito, inicialmente, como movimentos de uma série temporal que não segue um padrão regular, determinado por uma série de resíduos com média zero e variância constante, resultante da remoção das componentes de sazonalidade, ciclo e tendência (BOWERMAN e O'CONNELL, 1979).

Estudos posteriores evidenciaram que em parte das séries temporais, particularmente, nas séries financeiras, a volatilidade dos dados não é estável, não apresenta pois, a

---

<sup>7</sup> Função de verossimilhança: métodos de obtenção de estimadores.

propriedade da homocedasticidade. Dessa forma, a volatilidade poderia ser modelada e descrita como *volatilidade incondicional*, fato constante, e *volatilidade condicional*, aquela que pode oscilar ao longo do tempo, ser identificada e analisada a partir dos modelos de análise de heterocedasticidade condicional (ENGLE, 1982; BOLLERSLEV, 1986).

Em 1982, Engle desenvolveu o modelo ARCH (Heterocedasticidade Condicional Autorregressiva) com o objetivo de estimar a variância da inflação. De acordo com Morettin (2008), o modelo ARCH( $p$ ) introduz a variância condicional do erro determinada pela defasagem dos erros ao quadrado.

O modelo ARCH é um modelo não linear devido aos resíduos serem quadráticos, no que se refere a sua equação de variância, pois essa é uma função não linear de valores da série defasados<sup>8</sup> no tempo. Esse modelo é adequado para representar as alterações de variância para séries temporais que exibem períodos de grande volatilidade alternados com períodos de relativa tranquilidade.

Modelos da família ARCH são usados para dados com coletas de tempo pequenas, de hora em hora ou de minuto em minuto, por exemplo, quando as observações são, portanto, equidistantes. Há situações em que a variância do termo do erro não é uma função de uma variável explicativa, mas varia ao longo do tempo, de forma que essa depende da importância dos erros no passado. Nessas situações, muitas vezes, há evidência de uma aglomeração de erros grandes e pequenos. Se ao modelar uma série de dados e encontrarem-se períodos de grande volatilidade (erros elevados) e períodos de baixa volatilidade, constata-se que existe um tipo de heterocedasticidade presente que faz com que a variância do erro da regressão se torne dependente da volatilidade dos erros do passado (PINDYCK e RUBINFELD, 2004). Para verificar a existência de heterocedasticidade condicional nos resíduos, pode-se aplicar o teste ARCH-LM (ARCH - Lagrange Multipliers) na série dos resíduos quadráticos.

No modelo ARCH, a modelagem da volatilidade condicional fornece peso maior às observações mais recentes. Contudo, necessita de hipóteses sobre a distribuição condicional dos retornos, em geral, assumida como distribuição Normal. Esse tipo de modelagem não é capaz de prever choques, mas apresenta um bom desempenho ao adaptar-se aos choques ou à ocorrência de grandes perdas após alguns períodos e evita erros sistemáticos na estimativa do valor em risco (BESSADA et al., 2009; HULL, 2011; MARINS, 2009).

---

<sup>8</sup> Defasagem é o lapso de tempo em que a variável dependente reage à independente.

Para Campos (2007) e Lamounier (2001), o termo de erro  $e_t$ , condicionado à informação disponível no período  $(t-1)$ , é distribuído conforme a seguinte notação (equação 26):

$$e_t \sim N\left[0, \left(\alpha_0 + \alpha_1 e_{t-1}^2\right)\right] \quad (26)$$

onde: para garantir que a variância condicional ou volatilidade seja positiva para todo  $t$ , são impostas restrições quanto aos sinais dos coeficientes:  $\alpha_0 > 0, \alpha_i \geq 0 (i = 1, \dots, q)$ . Sendo que  $q$  é o número de defasagens ao quadrado dos erros,  $\sigma$  é a variância condicional,  $\alpha_0$  e  $\alpha_i$  são os parâmetros explicativos da variância do termo de erro  $e_t$ . O coeficiente  $\alpha_i$  mede a persistência de choques sobre a variância, sendo que coeficientes próximos a 1 indicam que impactos de choques na variável levam algum tempo para se dispersarem. Quanto maior o valor de  $q$ , mais longos são os episódios de volatilidade.

De acordo com Gujarati (2006) e Campos (2007), no modelo ARCH a variância de  $e$ , no período de tempo  $t$ , depende do tamanho do quadrado do termo de erro no período  $t-1$ , ou seja, depende de  $e_{t-1}^2$ . Esse é o processo ARCH(1) que pode ser generalizado para “ $m$ ” defasagens de  $e^2$ .

O modelo ARCH( $m$ ), sendo ( $m$ ) a ordem do modelo, baseia-se na ideia de que o retorno  $e_t$  é não correlacionado serialmente, mas a variância condicional ou volatilidade dependem de retornos passados por meio de uma função quadrática (COELHO Jr. et al., 2009; SILVA et al., 2005).

De acordo com Morettin (2008), o modelo ARCH( $m$ ) é definido pelas equações (27) e (28):

$$a_t = \sqrt{h_t} e_t \quad (27)$$

$$h_t = \alpha_0 + \alpha_1 e_{t-1}^2 + \dots + \alpha_m e_{t-m}^2 \quad (28)$$

onde  $h_t$  é a variância condicional no tempo  $t$ ;  $e_t \sim (0,1)$  ou  $e_t \sim t_\nu$  (distribuição  $t$  de Student com  $\nu$  graus de liberdade) é uma sequência de variáveis aleatórias independentes identicamente distribuídas (*i.i.d*);  $\alpha_0 > 0, \alpha_i \geq 0$  para todo  $t = 2 \dots m$  e  $\sum \alpha_i < 1$ .

Sob a condição de estacionariedade, a variância será dada pela equação (29):

$$Var(e_t) = \frac{\alpha_0}{1 - \sum_{i=1}^m \alpha_i} \quad (29)$$

A alta persistência na volatilidade das séries sob estudo faz com que o valor de  $m$  seja elevado no modelo ARCH, ou seja, necessita-se de um grande número de parâmetros estimados.

Séries temporais podem exibir sinais de volatilidade e de *clusters* de volatilidade se a assimetria é diferente de zero e a curtose é maior que três. A assimetria retrata a forma de distribuição dos dados, e a curtose indica que a série apresenta uma distribuição leptocúrtica em relação à normal, isto é, os dados estão agrupados no centro com algumas observações nos extremos das caudas. O excesso de curtose, observado em muitas séries temporais, pode também ser explicado pelo modelo ARCH (CAMPOS, 2007).

Segundo Morettin e Toloi (2004), devem-se obter modelos de ordem baixa e escolher o melhor modelo com base nos critérios penalizadores, AIC e BIC, de acordo com os valores assumidos pela assimetria e curtose, valores da *log-verossimilhança* ou de alguma função perda.

Usa-se o Método de Máxima Verossimilhança para estimar os parâmetros, cuja implementação pressupõe que se faça uma hipótese sobre a verdadeira distribuição. Geralmente, utiliza-se a distribuição Normal (CAMPOS, 2007). Para obter os parâmetros iniciais, aplica-se o método de MQO ou por ajustamento de um modelo da família ARMA, ou, ainda, pelos parâmetros obtidos com o teste ARCH-LM.

Para verificar se o modelo encontrado é adequado, calcula-se a estatística  $Q(K)$  de *Ljung-Box* para a sequência de resíduos quadráticos padronizados.

Assim, num modelo ARCH, quando a variância de um conjunto de dados não permanece constante ao longo do tempo, a série é considerada heterocedástica, ou seja, com a presença de volatilidade condicional. Isso implica que as observações atuais dependem das observações imediatamente anteriores, onde o modelo autorregressivo permite a incorporação das observações passadas nas observações do presente. Isso é formalizado descrevendo a variância de  $e_t$  condicional a  $e_{t-1}$  como uma função linear do quadrado de  $e_{t-1}$ . Série de dados onde ocorre variação como de preços tendem a apresentar períodos de volatilidade mais alta e períodos de volatilidade mais baixa, ou seja, ela é afetada simetricamente por inovações positivas ou negativas.

Para construir um modelo ARCH, algumas etapas devem ser seguidas:

- *Identificação*

Para construir um modelo ARCH, deve-se inicialmente ajustar um modelo matemático ARIMA, a fim de remover a autocorrelação serial. A identificação da ordem do modelo ARCH deve ser de ordem baixa e com base nos critérios AIC e BIC, valores da *log-verossimilhança* e alguma função perda (MORETTIN e TOLOI, 2004).

Após a construção do modelo ARIMA, verifica-se se a série apresenta heterocedasticidade condicional por meio do teste *Ljung-Box*, ARCH-LM e estatística *F* proposto por Engle (1982).

#### - Estimação

De acordo com Campos (2007) e Bollerslev e Wooldridge (1992), para estimar os parâmetros do modelo ARCH, deve-se utilizar o Método de Máxima Verossimilhança, cuja implementação pressupõe que se faça uma hipótese sobre a verdadeira distribuição, frequentemente, assumida como seguindo a distribuição Normal.

A função de verossimilhança para a distribuição Normal dos erros, segundo Morettin (2008), é dada como mostra a equação (30):

$$L(e_1, \dots, e_T | \alpha) = \prod_{t=m+1}^T \frac{1}{(2\pi h_t)^{1/2}} \exp\left\{-\frac{e_t^2}{2h_t}\right\} f(e_1, \dots, e_m | \alpha) \quad (30)$$

em que:

$(e_1, \dots, e_T | \alpha)$  é o vetor de parâmetros a serem estimados da equação da média e da variância;

$h_t$  são as variâncias iniciais do processo de otimização, necessárias ao algoritmo;

$m$  é o número de variâncias para iniciar o processo de otimização.

A obtenção dos parâmetros iniciais é obtida por MQO ou por ajustamento de um modelo da família ARIMA ou, ainda, pelos parâmetros obtidos com o teste ARCH-LM.

#### - Verificação

Para um modelo ARCH( $e$ ), os resíduos padronizados do modelo são dados como mostra a equação (31):

$$\tilde{e}_t = \frac{e_t}{\sqrt{h_t}} \quad (31)$$

Essas observações ou resíduos padronizados são variáveis aleatórias *i.i.d* com distribuição normal padrão ou *t-Student* de forma que, para verificar a adequabilidade do

modelo, calcula-se a estatística  $Q(K)$  de *Ljung-Box* para a sequência  $\tilde{\epsilon}_t$ . Também pode-se calcular os coeficientes de assimetria e curtose e fazer o gráfico  $Q-Q$  *plot* a fim de testar a suposição de Normalidade (TEIXEIRA et al., 2008). Pode-se aplicar o teste ARCH-LM para a série dos resíduos quadráticos padronizados ( $\tilde{\epsilon}_t^2$ ) a fim de verificar a existência de heterocedasticidade condicional.

#### - Previsão

As previsões para a volatilidade utilizando o modelo ARCH( $m$ ) são obtidas recursivamente. Assim, a equação (32)

$$\hat{h}_t(l) = \alpha_0 + \alpha_1 e_t^2 + \alpha_2 e_{t-1}^2 + \dots + \alpha_m e_{t-m+1}^2 \quad (32)$$

é a previsão um passo a frente ( $h_{t+1}$ ), com origem fixada no instante  $t$ . As previsões  $\ell$  passos a frente com origem em  $t$  são dadas pela equação (33):

$$\hat{h}_t(l) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^m \alpha_i \hat{h}_t(l-i) \quad (33)$$

em que  $\hat{h}_t(l-i) = e_{t+l-i}^2$ , se  $l-i \leq 0$ .

Assim, para a aplicação dos modelos ARCH, é preciso que a série temporal analisada apresente volatilidade nos seus resíduos quadráticos provenientes do modelo estimado para a série em estudo.

De acordo com Costa e Baidya (2001), quando o processo gerador da série original é um modelo ARIMA e seu resíduo ao quadrado apresenta autocorrelação, seguindo um modelo ARCH, ajusta-se aos resíduos quadráticos um modelo misto do tipo ARIMA-ARCH para a média e variância condicional, respectivamente. Assim, surgem outras extensões do modelo ARIMA-ARCH, como AR-ARCH, ARMA-ARCH e ARFIMA-ARCH.

O modelo ARCH generalizado ou GARCH( $p,q$ ) proposto por Bollerslev (1987) constitui importante ferramenta para a estimação e previsão da volatilidade, sendo  $p$  o número dos termos autorregressivos (ao quadrado) do termo de erro e  $q$  o número das defasagens da variância do termo de erro. Assim, a variância condicional depende não só dos quadrados dos choques aleatórios ocorridos no instante de tempo imediatamente anterior, mas também das próprias variâncias condicionais nos instantes de tempo imediatamente anteriores. Os modelos ARCH e GARCH podem ser estimados pelo método da MV seguindo um processo iterativo.

O modelo GARCH, segundo Bollerslev (1987) e Kang et al. (2009), é dado da seguinte forma mostrada nas equações (34) e (35):

$$a_t = \sqrt{h_t} \varepsilon_t \quad (34)$$

$$h_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i a_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^q \beta_j h_{t-j} \quad (35)$$

A soma dos parâmetros ARCH( $\alpha$ ) e GARCH( $\beta$ ) deve ser positiva e quantifica a persistência dos choques de volatilidade. Se a soma dos parâmetros for próxima de 1, existe indicativo de que os choques de volatilidade serão persistentes, havendo uma convergência da previsão da variância condicional direcionar-se para uma constante lentamente.

Ao modelar uma série temporal, diversos pressupostos devem ser satisfeitos. Para tanto, têm-se os testes de raiz unitária para analisar a estacionariedade, os testes de normalidade, a estatística *Ljung-Box* para detectar autocorrelação e os testes para detectar a heterocedasticidade condicional. Os testes de diagnósticos encontram-se no Apêndice A.

## 2.6 GRÁFICOS DE CONTROLE

Os gráficos de controle auxiliam na melhoria contínua da qualidade do produto. Podem ser usados para reduzir não conformidades em tempo real e mostrar, quando necessário, a necessidade da existência de ações no processo que está sendo monitorado. Essa técnica é estudada por autores como RYAN (1989), JOHNSON e WICHERN (1998), LOWRY e MONTGOMERY (1995), KOURTI e MACGREGOR (1996), APARISE (1997), BERSIMIS et al. (2007).

Para que o gráfico multivariado seja construído, é necessário aplicar a análise multivariada que, de acordo com Montgomery (1991), torna-se útil quando existem múltiplos parâmetros e seus efeitos não são independentes. Também quando alguns parâmetros são parciais ou são medidas de outros parâmetros, o que configuraria uma correlação. No caso das variáveis serem fortemente correlacionadas, alguns procedimentos podem ser sugeridos, mas nesta pesquisa será utilizada a Análise de Componentes Principais para a identificação da variável ou das variáveis causadoras da instabilidade do processo.



Autores como Robinson e Hu (1978), Crowder (1987), Lucas e Saccucci (1990ab), Lowry et al. (1992), Montgomery et al. (1994), Lowry e Montgomery (1995), Box e Luceño (1997ab), Bersimis et al. (2007), Claro et al. (2007) discutem o assunto.

Em processos produtivos multivariados de acordo com os autores acima, o recomendado seria utilizar gráfico de controle multivariado como  $T^2$  de Hotelling, mas esse apresenta a desvantagem de se ter um trabalho excessivo para avaliar qual seria a provável variável que está fora de controle, trabalho muito maior do que a utilização de componentes principais. Outra desvantagem é que esse gráfico ainda não permite a utilização conjunta dos modelos ARCH e, como os dados se apresentam autocorrelacionados, opta-se por gráficos de controle aplicados aos resíduos, como gráficos  $\bar{x}$  e  $\overline{MR}$  para medidas individuais ( $n = 1$ ), ou seja, para média e amplitude móvel, respectivamente, e gráficos EWMA com  $\lambda = 0,05$  e  $L = 2,50$ .

De acordo com Del Castillo (2002), construir gráficos de controle baseados em resíduos de modelos matemáticos ajustados aos dados e que incorporam na sua estrutura a autocorrelação dos mesmos, é uma alternativa para evitar problemas causados pela violação das suposições de não correlação entre as observações. Os resíduos gerados pelos modelos devem ser aproximadamente normais e independentes, com média zero e variância constante, isto é, homocedásticos.

O ajuste do modelo aos dados para eliminar a autocorrelação somente é válida para os casos em que a dependência serial na variável sob monitoramento é uma causa especial e deve ser eliminada. Se é parte inerente da variabilidade resultante das causas comuns e não pode ser removida, deve-se levá-la em consideração no planejamento dos gráficos de controle, evitando estimativas incorretas nos seus parâmetros, as quais refletem em aumento da taxa de alarmes falsos ou no número de amostras necessárias para a detecção de deslocamentos na média do processo (LU e REYNOLDS, 1999).

Segundo Fox (1972) e Chang (1982), quando as observações coletadas no processo apresentam um grande afastamento das outras observações ou são inconsistentes com as mesmas, elas são consideradas *outliers* e podem passar despercebidas em gráficos de controle de resíduos de processos com dados autocorrelacionados, pois o modelo matemático utilizado para remover a correlação serial pode incorporar o comportamento do *outlier* na sua estrutura, atenuando seu efeito na série de resíduos, e dificultar a detecção da observação anômala.

Existem algumas soluções para o caso de processos autocorrelacionados, como as de aumentar o intervalo de tempo entre observações, utilizar limites de controle “alargados” e

que os subgrupos sejam identicamente distribuídos, onde os resíduos do modelo estimado tenham variância constante, isto é, sejam homocedásticos. A violação desse pressuposto revela que a variância irá diferir ao longo do tempo, e os resíduos serão heterocedásticos (CLARO et al., 2007; VASILOPOULOS e STAMBOULIS, 1978).

Autores como Montgomery (2004) e Mitra (1998) realizaram estudos relacionados aos gráficos de controle X-barras ( $\bar{X}$ ) e R, os quais são comumente utilizados quando a característica da qualidade de interesse é expressa por um número em uma escala contínua de medida. O gráfico X-barras é utilizado com o propósito de controlar a média do processo, enquanto o gráfico R é empregado para controlar a variabilidade de uma variável ao longo do tempo, mostrados nas equações 36 e 37. Os limites de controle desses gráficos são apresentados na Tabela 2. As constantes  $A_2$ ,  $D_4$  e  $D_3$  são fatores que variam em função do tamanho do subgrupo conforme mostra o Apêndice B. As equações (36) e (37) mostram que:

$$\bar{x} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_m}{m} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{x}_i, \quad (36)$$

com  $i = 1, 2, \dots, m$ , que é a média da  $i$ -ésima amostra:

$$\bar{x}_i = \frac{x_{i1} + x_{i2} + \dots + x_{in}}{n},$$

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m R_i, \quad (37)$$

com  $i = 1, 2, \dots, m$  que é a amplitude da  $i$ -ésima amostra.

Tabela 2 - Limites de controle para os gráficos  $\bar{X}$  e R

Gráfico	Limite inferior de controle	Limite central	Limite superior de controle
$\bar{X}$	$\bar{x} - A_2 \bar{R}$	$\bar{x}$	$\bar{x} + A_2 \bar{R}$
R	$D_3 \bar{R}$	$\bar{R}$	$D_4 \bar{R}$

Em muitas situações, a amostra usada para controle de processo consiste em uma unidade ( $n = 1$ ), sendo esse gráfico chamado de  $\bar{x}$  e  $\overline{MR}$ , cujos limites de controle são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Limites de controle para os gráficos  $\bar{x}$  e  $\overline{MR}$ 

Gráfico	Limite inferior de controle	Limite central	Limite superior de controle
$\bar{x}$	$\bar{x} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2}$	$\bar{x}$	$\bar{x} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2}$
$\overline{MR}$	$D_3 \overline{MR}$	$\overline{MR}$	$D_4 \overline{MR}$

Em geral, a maioria dos processos industriais não está sob controle quando analisados pela primeira vez, pois apresentam alguns pontos fora dos limites de controle. E se o objetivo é obter limites significativos para o monitoramento da produção atual e futura, esses limites devem ser baseados em dados de um processo que estava sob controle, sendo necessário empregar a técnica de descarte de alguns pontos que estão fora de controle para obtenção de valores revisados mais consistentes.

Se um ponto correspondente a um subgrupo cai fora dos limites de controle de um gráfico, pode-se descartá-lo no cálculo dos valores revisados dos dois gráficos (média e amplitude móvel) ou apenas no cálculo dos valores revisados do gráfico em que o ponto caiu fora dos limites de controle. Esse procedimento deve ser repetido até que todos os pontos do gráfico estejam dentro da faixa de controle. Essa etapa de ajuste chama-se Fase I. Quando os limites experimentais são adotados para uso atual e futuro no monitoramento das variáveis envolvidas no processo, chama-se Fase II, onde o processo está estável e apto para o monitoramento, sendo esse o foco da pesquisa.

Para que um processo seja considerado sob controle estatístico, é necessário que ele seja estável, tanto em relação à média, quanto em relação à variabilidade da característica da qualidade de interesse.

Nestes gráficos, além de verificar a presença de autocorrelação e homocedasticidade, deve-se verificar a hipótese de normalidade, pois os gráficos para medidas individuais são muito sensíveis a desvios de normalidade. Como geralmente são aplicados aos resíduos de modelos matemáticos estimados, se o modelo estiver ajustado aos dados, seus resíduos satisfazem as suposições necessárias para a aplicação dos gráficos.

Se o objetivo é monitorar resíduos ( $\varepsilon$ ), a amplitude móvel é expressa por  $MR_i = |\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1}|$  e os limites de controle do gráfico de medidas individuais, e sabendo-se que a média dos resíduos é  $\bar{\varepsilon} = 0$ , todos esses quesitos são dados pelas equações (38), (39) e (40):

$$LSC = \bar{\varepsilon} + 3 \frac{\overline{MR}_\varepsilon}{d_2} \rightarrow LSC = +3 \frac{\overline{MR}_\varepsilon}{d_2} \quad (38)$$

$$LC = \bar{\varepsilon} \quad \rightarrow \quad LC = 0 \quad (39)$$

$$LIC = \bar{\varepsilon} - 3 \frac{\overline{MR_{\varepsilon}}}{d_2} \quad \rightarrow \quad LIC = -3 \frac{\overline{MR_{\varepsilon}}}{d_2} \quad (40)$$

O GC EWMA, segundo Montgomery (2004), é uma alternativa eficiente para monitorar a média do processo quando a finalidade é detectar pequenas mudanças no processo.

De acordo com Bersimis et al. (2007), os gráficos EWMA podem complementar ou substituir o gráfico  $T^2$  de Hotelling e permitir, em função do estudo em análise, a obtenção de uma solução mais precisa, a um custo e prazos menores que os requeridos pelas metodologias tradicionais.

A estatística EWMA possui um mecanismo que incorpora as informações de todas as observações anteriores mais a informação atual. Essas informações são ponderadas, possibilitando atribuir aos valores passados um determinado grau de importância conforme desejado, sendo atualizado recursivamente (CROWDER, 1987; LUCAS e SACCUCCI, 1990ab; MONTGOMERY et al., 1994; BOX e LUCEÑO, 1997ab; BERSIMIS et al., 2007) conforme mostrado na equação (41):

$$Y_i = \lambda \bar{X}_i + (1 - \lambda) Y_{i-1} \quad (41)$$

Os limites de controle do gráfico são dados pela equação (42):

$$LC = \mu_0 \pm k \sigma_x \sqrt{\left( \frac{\lambda}{2 - \lambda} \right)} \quad (42)$$

onde  $0 \leq \lambda \leq 1$  e  $Y_0 = \mu_0$ .

Conforme a equação 41, a série  $Y_i$  é suavizada por meio da constante de ponderação  $\lambda$ , que multiplica os valores da série original  $X_i$ , mais o complemento da constante de ponderação vezes o valor de  $Y_{i-1}$ . Esse valor inicial nunca é conhecido, então utiliza-se a média do processo  $Y_0 = \bar{X}$ , que dá origem, assim, à nova série  $Y_i$ , que é uma média ponderada de todas as amostras anteriores. Ainda  $i = 1, 2, \dots, n$  observações,  $\mu_0$  é o valor alvo que se deseja alcançar e  $\sigma$  é o desvio padrão dos  $Y_i$ 's e  $k$  é o comprimento dos limites de controle.

A constante de ponderação  $\lambda$  deve estar sempre entre zero e um ( $0 \leq \lambda \leq 1$ ). Pode ser ajustada para fornecer maior ou menor ponderação às observações atuais, resultando em vários processos de suavização. Para baixos valores de  $\lambda$ , o gráfico detecta pequenos desajustes com maior rapidez, fazendo com que dados históricos tenham peso grande no

cálculo de  $Y_i$  enquanto que valores altos de  $\lambda$  fazem com que a última observação tenha o maior peso no cálculo de  $Y_i$ . Segundo Box e Luceño (1997ab), a utilização do valor de  $\lambda = 0,2$  é considerado uma boa escolha.

De acordo com Casarin (2012), para a construção do gráfico de controle EWMA, é necessário definir os valores de  $k$  e  $\lambda$ , os quais são os parâmetros do gráfico. Diversas combinações de deslocamentos de pontos da média e dos parâmetros  $\lambda$  e  $k$  são fornecidos a fim de escolher o valor do  $ARL^9$ , pois recomenda-se inicialmente que seja especificado esse valor e a mudança no processo que se deseja detectar para depois serem determinados os parâmetros.

A estatística EWMA pode ser utilizada como gráfico de controle e supor a independência entre as observações se o processo seguir um modelo de médias móveis (ROBINSON e HU, 1978; LUCAS e SACCUCCI, 1990ab).

Adaptando-se o gráfico de controle EWMA aos resíduos, obtém-se pela equação (43):

$$Y_i = \lambda \varepsilon_i + (1 - \lambda) Y_{i-1} \quad (43)$$

onde  $\varepsilon_i$  é o resíduo resultante da  $i$ -ésima observação,  $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma_\varepsilon)$ , isto é, possui distribuição normal com média zero e desvio padrão igual a  $\sigma_\varepsilon$ .

Dessa forma, os limites de controle superior, central e inferior para monitoração dos resíduos são dados respectivamente pelas equações (44), (45) e (46):

$$LSC = L\sigma_\varepsilon \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right) [1 - (1-\lambda)^{2i}]} \quad (44)$$

$$LC = 0 \quad (45)$$

$$LIC = -L\sigma_\varepsilon \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right) [1 - (1-\lambda)^{2i}]} \quad (46)$$

O processo será considerado sob controle se todos os pontos estiverem dentro dos limites estabelecidos pelas equações.

Se todos os pontos plotados no gráfico de controle estiverem dentro dos limites estabelecidos, o processo será considerado sob controle. Geralmente, utilizando-se, conjuntamente, gráficos de Shewhart e EWMA, obtém-se um controle combinado do processo, sendo que o primeiro avalia o sistema por meio do X-barra, procurando por grandes variações, e o segundo é usado para avaliar pequenas discrepâncias.

---

<sup>9</sup> “Average Run Length” ( $ARL$ ) representa o número de observações ou amostras necessárias para o gráfico de controle sinalizar que alguma mudança ocorreu no processo quando o mesmo for considerado sob controle (TRACY et al. 1997).

## 2.7 COMENTÁRIOS GERAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo, discutiu-se, inicialmente, o processo de lingotamento contínuo, objeto desta pesquisa e verificado na empresa. A análise desse processo é de extrema importância para a fabricação de tarugos de aço.

Em seguida, abordou-se a técnica de componentes principais que serviu e serve como um identificador das variáveis fora de controle. Com o uso dessa técnica, foi possível realizar o monitoramento das variáveis que compõem o processo de lingotamento.

Na sequência, apresentou-se uma descrição teórica sobre modelos de previsão. Os escolhidos foram os modelos ARIMA, os quais possibilitam modelar a média condicional da série obtida pela análise das CP's e os modelos ARCH e GARCH, os quais verificam a média e a variância condicional das variáveis envolvidas no processo. Esses modelos de previsão são empregados em séries univariadas.

Por fim, foram elencadas as técnicas de gráficos de controle, ou seja, as ferramentas utilizadas para classificar o processo quanto a sua estabilidade. Aplicaram-se os gráficos  $\bar{x}$ ,  $\overline{MR}$  e EWMA em todas as variáveis e nos resíduos a fim de identificar o conjunto de variáveis que geram instabilidade no sistema e se o ajuste deve ou não ser feito e em que momento deve-se interferir no processo.

A metodologia empregada nesta pesquisa é o assunto do próximo capítulo.

### 3 METODOLOGIA

No capítulo 2, apresenta-se a revisão da literatura, abordando os assuntos lingotamento contínuo, Análise de Componentes Principais, modelos lineares ARIMA, não lineares ARCH e GARCH e gráficos de controle. Por meio dessas técnicas é que será desenvolvida a metodologia utilizada neste capítulo, base para alcançar os objetivos propostos nesta pesquisa.

A metodologia será utilizada para verificar a estabilidade (Fase II) do sistema de lingotamento contínuo responsável pela fabricação de tarugos s de aço, seção quadrada 240 mm, por meio de uma série de variáveis, considerando que o processo esteja ajustado (Fase I).

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa é aplicada e quantitativa. Quanto aos objetivos, é classificada como descritivo-explicativa, e quanto aos procedimentos, pode ser caracterizada como *ex-post facto*<sup>10</sup>.

O detalhamento da metodologia engloba um estudo de caso numa empresa fabricante de aços. Diferentes métodos de previsão são empregados. Estabeleceu-se a utilização da técnica multivariada de componentes principais e os modelos ARIMA. Testa-se nessas a heterocedasticidade dos resíduos para posterior modelagem por meio dos modelos ARCH. Também aplicam-se os gráficos de controle para medidas individuais, amplitudes móveis e médias móveis exponencialmente ponderadas.

#### 3.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO E DAS VARIÁVEIS A SEREM ANALISADAS

O lingotamento contínuo é um processo de aciaria, cujo objetivo principal é a solidificação do aço por meio da remoção do calor do aço líquido, visando formar o produto (tarugo / blocos / placas) em sua dimensão final.

---

<sup>10</sup> Pesquisa *ex-post-facto* tem o propósito de verificar a existência de relações entre as variáveis.

A máquina de lingotamento contínuo da empresa opera com três veios, panela de 65 toneladas e distribuidor para 12 toneladas de aço. O sistema possui altura de 9,61 metros do solo até o nível do piso onde está instalado o distribuidor. O raio fixo da máquina é de 9 metros e a distância linear até o início do corte (oxicorte) é de 24 metros. A distância do menisco ao rolo endireitador é de 14 metros, sendo que essa distância representa o ponto de início do desempenho do tarugo ou ponto onde a solidificação do tarugo deve estar completa. O equipamento contém dois agitadores eletromagnéticos. Um está posicionado na região abaixo da segunda zona de chuveiros, permitindo um deslocamento de posição em torno de 1 metro, e o outro está posicionado antes do rolo extrator e da região de desempenho (BARCELLOS, 2011).

Para que o tarugo lingotado seja produzido com a qualidade desejada, é preciso controlar o processo desde a entrada das sucatas, as quais são sobras de processos da própria empresa ou sobras de outras empresas (parafusos, estamparia, forjaria, cavacos, tiras de aço, etc.), até a saída do produto no oxicorte, além, é claro, de toda a mecânica da máquina.

O estudo baseia-se na produção de tarugos de seção quadrada 240 mm, sendo esta 1/3 da produção total do lingotamento contínuo na empresa. Como apresenta sucateamento elevado, corrobora para a escolha do desenvolvimento da pesquisa nessa seção. O produto característico dessa rota é barra laminada redonda de 70 a 130 mm.

Os dados foram coletados na aciaria, no banco de dados da empresa, sendo disponibilizados em planilha eletrônica, a fim de facilitar a importação dos dados pelos programas estatísticos utilizados. Constam as informações por corrida que dura aproximadamente 1 hora com até 9 medições para a temperatura do aço no distribuidor, peso do distribuidor e velocidade dos veios. Vale lembrar que a coleta dos dados de cada corrida na máquina de lingotamento contínuo foi efetuada em intervalos de aproximadamente 1 hora, perfazendo um total de 228 corridas do Aço DIN20MnCr5, no período de setembro de 2009 a dezembro de 2010. A empresa selecionou este aço para o estudo por ser o que mais causa defeitos de trincas internas e superficiais e macroinclusão nos tarugos da seção quadrada 240 mm conforme Apêndice C.

Esse período foi determinado em consenso junto com a equipe responsável pelas informações. Essa equipe tem todos os dados acerca do sucateamento por códigos. Ademais, todas as peças passam pela linha de inspeção dessa equipe.

Para atender ao objetivo proposto na pesquisa, foram selecionadas 55 variáveis e distribuídas da seguinte maneira: temperatura (8 medições em graus Celsius); peso do distribuidor (9 medições em toneladas); velocidades dos veios 1, 2 e 3 (27 medições em



metros/minutos); temperatura liquidus (1 medição em graus Celsius) segundo ponderação usada na empresa e composição química (10 elementos em percentual). Os elementos da composição química são: As (arsênio), Btot (boro total), Ca (cálcio), N<sub>2</sub> (gás nitrogênio), Nb (nióbio), Pb (chumbo), Sb (antimônio), Titot (titânio total), Zn (zinco) e Zr (zircônio). Todos esses elementos foram definidos e fornecidos pela empresa.

O banco de dados é composto de 136 variáveis mas, em conjunto com as equipes de Apoio e Aciaria da empresa, reduziram-se essas variáveis para 55. Essas serão ajustadas para a ACP e modelos ARIMA e/ou ARCH-GARCH.

Os programas computacionais usados para processar esses dados são: *Statistica* versão 7.0 para traçar os gráficos de controle individuais e *Eviews* 8.0 para encontrar as componentes principais e fazer a modelagem ARIMA, além de planilha eletrônica.

As variáveis usadas nessa primeira etapa são:

- peso do distribuidor (t): depois do transporte do forno elétrico onde o aço é fundido, o aço desce para o distribuidor onde pode ser medida a variação do peso dele no distribuidor, sendo usadas nesta pesquisa para o seu sistema de medições nove leituras, distribuídas igualmente ao longo da corrida;
- temperatura do aço no distribuidor (°C): considera-se para este estudo a temperatura da variável Temp\_2 até a Temp\_9, pois a variável Temp\_1 foi descartada por recomendação do corpo técnico da empresa. Essa variável, como é a primeira a ser medida no distribuidor, apresenta-se bastante instável em relação às demais, dado que sofre maior influência por receber aço líquido da etapa anterior;
- velocidade dos veios 1, 2 e 3 (m/min): o aço lingotado segue em três veios formando os tarugos; foram efetuadas 9 leituras distribuídas igualmente ao longo da corrida;
- temperatura liquidus (°C): temperatura líquida do aço;
- composição química (%): composições químicas do aço (As, Btot, Ca...).

Essas variáveis foram escolhidas para os testes a fim de identificar quais variáveis estão fora de controle e quais estão provocando trincas superficiais e internas e macroinclusão no aço DIN20MnCr5 na fabricação de tarugos. Isso não significa que essas são as únicas variáveis a fazerem parte da relação que compõem o sistema.

### 3.3 DEFEITOS

Os defeitos de maior impacto na produção dos tarugos na empresa para o aço em estudo são trincas superficiais, trincas internas e macroinclusão.

As trincas superficiais são oxidadas pelo ar. Não permitem que sejam caldeadas pelo processo de laminação. As trincas internas são menos suscetíveis à oxidação, mas podem aflorar para a superfície durante os processos de lingotamento contínuo e de laminação. Esses defeitos são extremamente indesejáveis, pois prejudicam as propriedades mecânicas, principalmente a resistência à fadiga, quando há esforços mecânicos cíclicos. Quanto à macrosegregação, o líquido enriquecido de soluto é progressivamente deslocado para as últimas regiões a ocorrer a solidificação, provocando, também, defeitos (GARCIA, et al., 2006).

Quando esses defeitos são detectados, seja na produção ou laminação, dependendo da dimensão, têm que ser retirados da linha ou da laminação e retornarem ao processo produtivo como sucata para ser novamente processado e transformado em tarugo.

Para que os defeitos não ocorram, é necessária a combinação de diversas variáveis integrantes do processo como a composição química, refrigeração e velocidade, entre outras, além de fatores operacionais, como a manutenção de equipamentos. Também, segundo Garcia et al. (2006), envolve-se o conhecimento dos parâmetros térmicos que regem a solidificação, bem como a interação mecânica entre a máquina de lingotamento contínuo e o tarugo, em frente ao atrito do molde, pressão dos rolos, entre outros.

Os tarugos apresentam na sua estrutura marcas de oscilação ocorridas durante o processo produtivo, o que não caracteriza defeitos superficiais. Esses defeitos podem ser detectados por meio de testes de partículas magnéticas (luz negra). As trincas internas são inspecionadas por meio de ultrassom na célula “preparação de tarugos”.

Os defeitos relativos à macroinclusão podem ocorrer ainda no aço enquanto líquido e detectados por meio de controle por amostragem na aciaria ou no processo de laminação por meio da inspeção automática, reinspeção (partículas magnéticas, macrografia e micrografia). Como a pesquisa tem o propósito de manter o processo estável, a monitoração está centrada na avaliação das variáveis, de modo a proporcionar a redução de refugos.

A fim de investigar as causas que provocam esses defeitos nos tarugos de aço, é que a pesquisa foi desenvolvida, apresentando-se no item a seguir a metodologia proposta para as variáveis em estudo.

### 3.4 ETAPAS METODOLÓGICAS

As etapas metodológicas para o cumprimento dos objetivos perfazem os seguintes passos:

1. Coleta dos dados na empresa na etapa de fabricação de tarugos conforme item 3.2;
2. Preparação dos dados em uma planilha eletrônica para uso tanto na etapa de ACP quanto na modelagem;
3. Aplicação de estatísticas descritivas para caracterizar as variáveis em estudo, tais como o cálculo das correlações entre as variáveis. Pois se as variáveis forem correlacionadas, deve-se aplicar a ACP de modo a eliminar o efeito de correlação e possibilitar a aplicação de modelos ARIMA e gráficos de controle. Decompondo as variáveis originais, obtém-se um novo conjunto de variáveis não correlacionadas. Também é possível reduzir a dimensionalidade do problema estudado com a possibilidade de identificar as variáveis de maior contribuição na formação da CP;
4. Após a extração das CP's, passa-se à etapa de verificação da existência de autocorrelação. Esse efeito é caracterizado pela alta dependência entre uma observação e outra. Se esse efeito não estiver presente, pode-se aplicar diretamente os GC sem prejuízo na sua interpretação. Se as observações estiverem autocorrelacionadas, passa-se à etapa da estimação dos modelos ARIMA, assim estima-se e estuda-se o comportamento médio do processo de produção do aço lingotado nas mais diferentes etapas;
5. Na busca de encontrar o melhor modelo matemático que represente corretamente o processo gerador de cada série, estimam-se diversos modelos denominados de concorrentes e escolhe-se o modelo que obteve o menor valor para AIC e BIC e o menor número de parâmetros;
6. Com a definição do modelo matemático, é feita a análise dos resíduos e a análise dos resíduos quadráticos para elaborar os gráficos de controle, utilizando os resíduos do modelo matemático estimado:
  - 6a. Se os resíduos são RB e não existe volatilidade, traçam-se os gráficos de controle  $\bar{x}$ ,  $\overline{MR}$  e EWMA nos dados originais e nos resíduos e avalia-se se o processo está sob controle;
  - 6b. Se os resíduos são RB e existe volatilidade, traçam-se os gráficos de controle  $\bar{x}$ ,  $\overline{MR}$  e EWMA nos dados originais, nos resíduos e na volatilidade e avalia-se se o processo está sob controle.

7. Após a estimação do modelo da classe geral ARIMA e a aplicação dos GC, detém-se no estudo da volatilidade, que é determinada utilizando os resíduos quadráticos do modelo ARIMA selecionado. A heterocedasticidade ou volatilidade é testada utilizando o teste LM-ARCH-LM como forma de uma decisão acurada;
8. Se não existir o efeito de volatilidade, a análise está concluída, mas se esta for detectada, parte-se para a modelagem ARCH-GARCH, mais uma vez optando pela que produza melhores estatísticas de ajustes AIC e BIC. A modelagem ARCH-GARCH será utilizada para auxiliar na interpretação dos GC, principalmente pela inspeção dos parâmetros de persistência que mostram por quanto tempo um determinado fenômeno ocorrerá;
9. Com a definição do modelo ARCH-GARCH, faz-se um diagnóstico dos resíduos e, em seguida, aplicam-se os gráficos de controle, conforme os itens (6a) e (6b), ao nível de significância de 5% adotado para os testes de hipóteses;
10. Em todos os conjuntos de variáveis serão tratados os GC nas variáveis originais, nas variáveis sem o efeito da correlação, depois de aplicado a ACP e, por fim, sem o efeito da correlação e da autocorrelação, após aplicada a modelagem. Assim, é possível verificar os alarmes falsos que ocorrem quando as variáveis estão sob o efeito destes fatores;
11. Os softwares utilizados são *Statistica* versão 7.0, *EViews* versão 8.0 e planilha eletrônica.

Apresenta-se a seguir, na Figura 8, o roteiro metodológico empregado na empresa sob estudo.

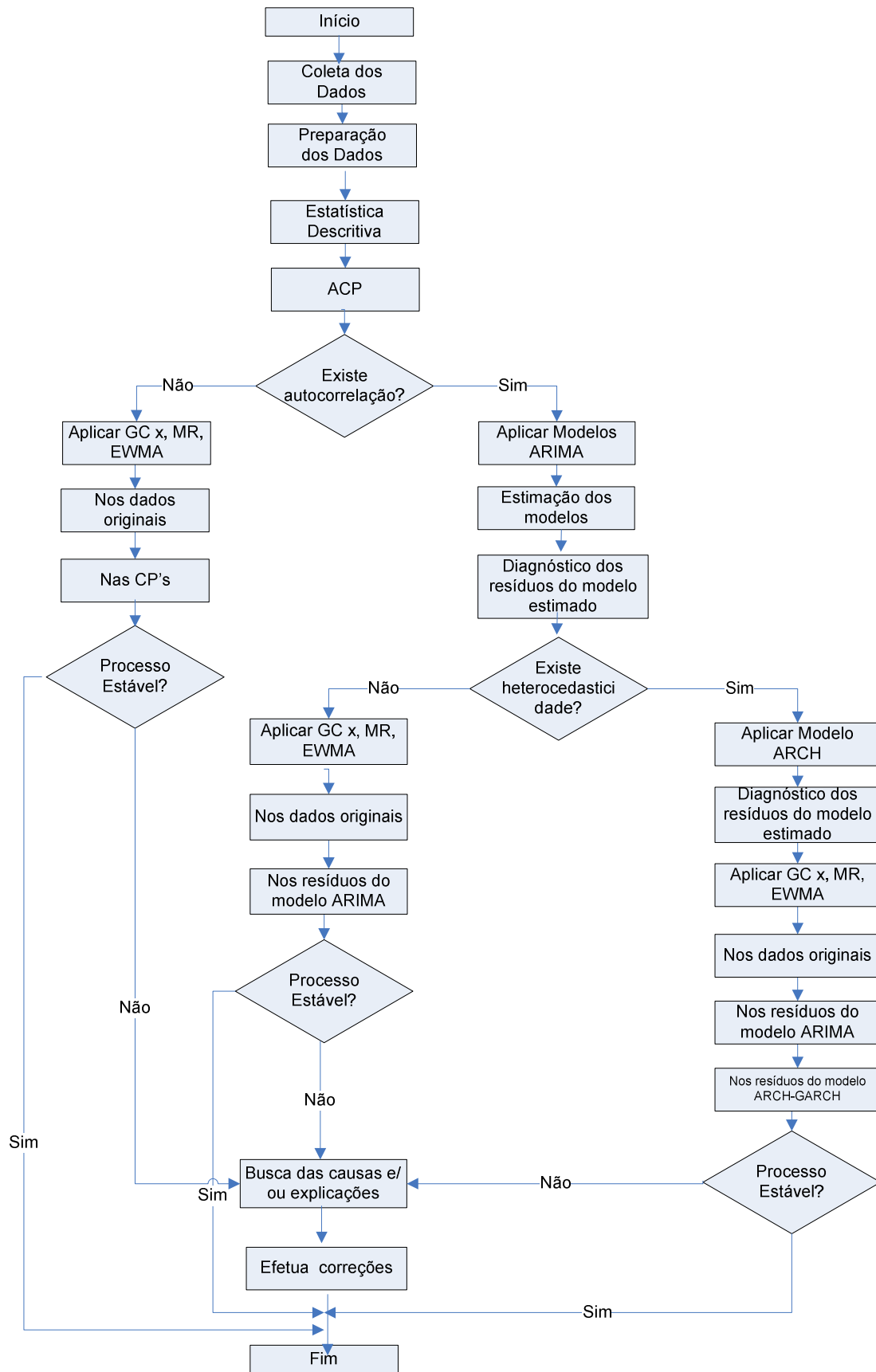


Figura 8 - Roteiro metodológico

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Este capítulo tem por objetivo a aplicação da metodologia desenvolvida no capítulo 3 e serão utilizadas as técnicas de Componentes Principais, modelos ARIMA e/ou ARCH-GARCH e gráficos de controle, apresentadas no capítulo 2.

### **4.1 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA**

Neste item é aplicada a metodologia exposta no Capítulo 3. São usadas as técnicas de Análise de Componentes Principais e séries temporais, incluindo modelos lineares (ARIMA) e não lineares (ARCH), com o intuito de verificar a estabilidade do processo por meio de gráficos de controle aplicado aos resíduos do modelo matemático estimado.

O aço DIN20MnCr5 foi o aço escolhido a ser utilizado na pesquisa em todas as medições, pois é o que produz maior número de defeitos durante a produção dos tarugos de seção quadrada 240 mm.

Apresentam-se os resultados obtidos referentes à análise da variável temperatura do aço no distribuidor, peso do distribuidor, velocidade dos veios, temperatura liquidus e composição química de um conjunto de dados reais do processo de lingotamento contínuo na fabricação de tarugos para 228 corridas.

### **4.2 ANÁLISE DA ESTABILIDADE DO PROCESSO PARA AS VARIÁVEIS ORIGINAIS**

O sistema é monitorado na empresa pelos operadores de modo a evitar mudanças bruscas e, conseqüentemente, sucatas. Desta forma, considera-se que a Fase I do processo de ajuste do controle da temperatura esteja estabelecida. Nessa fase, a própria empresa informou que os gráficos de controle já estavam estabelecidos e que o processo estava sob controle. Portanto, passou-se à Fase II, que é a de monitoração com a utilização de técnicas avançadas de controle de qualidade.

Nessa fase, traçam-se os gráficos de controle com os dados originais a fim de verificar a estabilidade das variáveis durante o processo do lingotamento contínuo. A partir da constância dessas, é possível obter um produto de qualidade e um baixo percentual de refugos.

A estabilidade é feita por meio do uso dos gráficos de controle  $\bar{x}$ ,  $\overline{MR}$  e EWMA nas séries originais, mostradas nos Apêndices D, E, F, G, H, I e J.

### 4.3 FAC E FACP DAS VARIÁVEIS ORIGINAIS

Apresentando autocorrelação nas variáveis, a análise univariada por meio dos gráficos de Shewhart não é possível, pois a autocorrelação pode afetar a sinalização de pontos fora de controle, gerando alarmes falsos durante o processo.

Entretanto, para testar o efeito da autocorrelação, serão traçados GC nos dados originais e nos dados após tratar o efeito da correlação por meio da ACP. Se esses se apresentarem autocorrelacionados, a autocorrelação será tratada por meio da modelagem matemática ARIMA e/ou ARIMA-ARCH.

Nos Apêndices K, L, M, N, O, P e Q, são mostradas as FAC e FACP das variáveis originais comprovando-se que os mesmos são autocorrelacionados. Logo, deve-se buscar um modelo matemático capaz de eliminar a autocorrelação serial e, a partir de seus resíduos, serão traçados os gráficos de controle para medidas individuais. Desse modo, uma das alternativas iniciais é a modelagem por meio dos modelos lineares  $ARIMA(p,d,q)$ .

### 4.4 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS ORIGINAIS

Para conhecer o comportamento das medições que compõem as séries em estudo, algumas estatísticas devem ser conhecidas. A correlação entre as variáveis se mostrou significativa, o que é um pressuposto para aplicação da ACP, como forma de eliminar a ligação entre as variáveis e obter um novo conjunto de variável, as CP's, que são independentes.

Nos Apêndices R, S, T e U, estão demonstradas, por ordem de importância, as correlações existentes entre as medições das variáveis originais da temperatura do aço no distribuidor (°C), peso do distribuidor (t), velocidade dos veios 1, 2 e 3 (metro/minuto) e composição química (%), respectivamente, refletindo as variáveis que estão correlacionadas entre si ao nível de 5% de significância.

Essa correlação sugere a utilização de gráficos de controle multivariados ou a aplicação de gráficos de controle nas componentes principais para a avaliação da estabilidade do processo (TRACY et al., 1997).

Dado que as variáveis estão correlacionadas, a ACP é realizada. Para estimar as CP's em etapas futuras, as matrizes de correlação serão utilizadas para determinar os autovalores e autovetores.

#### 4.5 ANÁLISE DAS COMPONENTES PRINCIPAIS

Após a análise da estabilidade do processo, mediante os gráficos de controle e a análise da FAC e FACP, cuja inspeção visual mostra que as variáveis estão autocorrelacionadas, aplica-se a ACP e realiza-se a modelagem das variáveis selecionadas para tratar a influência da correlação presente nos dados. Vale lembrar que o objetivo de determinar as componentes principais é eliminar a correlação entre as variáveis e reduzir o número de variáveis a serem analisadas. Nos Apêndices V, W, X e Y, estão decompostas as CP's para as variáveis temperatura do aço no distribuidor, peso do distribuidor, velocidade dos veios 1, 2 e 3 e composição química, respectivamente.

A técnica de componentes principais apresenta tantas componentes quantas forem as variáveis que estão sendo analisadas, porém, com a propriedade de que, em ordem decrescente de variabilidade, os primeiros componentes principais retêm a maior parte da variância explicada dos dados originais (CARVALHO, et. al, 2004).

Neste estudo, aplicou-se o critério de Kaiser (1960, *apud* MARDIA, et. al, 1979) e de Cattell (1996), os quais consistem em selecionar os autovalores maiores que a unidade (1).

Nas Tabelas 4, 5, 6 e 7, apresentam-se os autovalores e o percentual de variância explicada de cada componente para as variáveis temperatura do aço, peso do distribuidor, velocidade dos veios 1, 2 e 3 e composição química, respectivamente.



Tabela 4 - Autovalores e variância explicada de cada componente para a variável temperatura do aço

<b>Número de Componentes</b>	<b>Autovalores</b>	<b>% da variância explicada</b>	<b>Autovalores Acumulados</b>	<b>% da variância explicada acumulada</b>
<b>1</b>	<b>4,71</b>	<b>58,84</b>	<b>4,71</b>	<b>58,84</b>
2	0,98	12,23	5,69	71,07
3	0,78	9,71	6,46	80,78
4	0,60	7,55	7,07	88,33
5	0,34	4,27	7,41	92,60
6	0,31	3,86	7,72	96,45
7	0,16	2,02	7,88	98,47
8	0,12	1,53	8,00	100,00

Para a seleção dos autovalores, a Tabela 4 revela que a componente 1 responde por 58,84% da explicação da variância total. A partir dessa análise, ao invés de utilizar as oito medições da temperatura do aço no distribuidor, passa-se a utilizar apenas um fator, representado pelo seu autovalor superior a um.

Tabela 5 - Autovalores e variância explicada de cada componente para a variável peso do distribuidor

<b>Número de Componentes</b>	<b>Autovalores</b>	<b>% da variância explicada</b>	<b>Autovalores Acumulados</b>	<b>% da variância explicada acumulada</b>
<b>1</b>	<b>4,47</b>	<b>49,65</b>	<b>4,47</b>	<b>49,65</b>
<b>2</b>	<b>1,66</b>	<b>18,41</b>	<b>6,12</b>	<b>68,06</b>
3	0,90	10,00	7,02	78,06
4	0,69	7,67	7,72	85,72
5	0,49	5,41	8,20	91,13
6	0,32	3,55	8,52	94,68
7	0,25	2,80	8,77	97,48
8	0,17	1,90	8,94	99,39
9	0,06	0,61	9,00	100,00

A Tabela 5 revelou que as componentes 1 e 2 respondem por 68,06% da explicação da variância total, o que indica que essas duas componentes devem ser investigadas.

Tabela 6 - Autovalores e variância explicada de cada componente para a variável velocidade dos veios 1, 2 e 3

Número de Componentes	Autovalores	% da variância explicada	Autovalores Acumulados	% da variância explicada acumulada
<b>1</b>	<b>20,30</b>	<b>75,17</b>	<b>20,30</b>	<b>75,17</b>
<b>2</b>	<b>2,78</b>	<b>10,31</b>	<b>23,08</b>	<b>85,48</b>
3	0,97	3,59	24,05	89,07
4	0,72	2,66	24,77	91,74
5	0,51	1,91	25,28	93,64
6	0,38	1,42	25,67	95,06
7	0,26	0,97	25,93	96,03
8	0,21	0,78	26,14	96,81
9	0,17	0,61	26,30	97,43
10	0,14	0,53	26,45	97,95
11	0,11	0,39	26,55	98,35
12	0,10	0,35	26,65	98,70
13	0,08	0,30	26,73	99,00
14	0,07	0,26	26,80	99,26
15	0,06	0,22	26,86	99,48
16	0,04	0,15	26,90	99,63
17	0,03	0,10	26,93	99,73
18	0,02	0,06	26,94	99,79
19	0,01	0,06	26,96	99,84
20	0,01	0,04	26,97	99,89
21	0,01	0,03	26,98	99,92
22	0,01	0,03	26,99	99,95
23	0,00	0,02	26,99	99,96
24	0,00	0,01	26,99	99,97
25	0,00	0,01	27,00	99,98
26	0,00	0,01	27,00	99,99
27	0,00	0,01	27,00	100,00

A Tabela 6 mostra que, para a seleção dos autovalores, as componentes 1 e 2 respondem por 85,48% da explicação da variância total e por meio delas será feita ACP e a modelagem das mesmas.

Tabela 7 - Autovalores e variância explicada de cada componente para a variável composição química

Número de Componentes	Autovalores	% da variância Explicada	Autovalores acumulados	% da variância explicada acumulada
<b>1</b>	<b>4,25</b>	<b>42,51</b>	<b>4,25</b>	<b>42,51</b>
<b>2</b>	<b>1,44</b>	<b>14,37</b>	<b>5,69</b>	<b>56,87</b>
3	0,96	9,58	6,65	66,46
4	0,84	8,43	7,49	74,89
5	0,77	7,70	8,26	82,59
6	0,66	6,65	8,92	89,23
7	0,37	3,72	9,30	92,96
8	0,30	2,96	9,59	95,92
9	0,25	2,51	9,84	98,43
10	0,16	1,57	10,00	100,00

Para a seleção dos autovalores, a Tabela 7 revela que as CP's 1 e 2 respondem por 56,87% da explicação da variância total. A partir dessa análise, das dez variáveis, apenas duas componentes (CP1 e CP2) passam a ser utilizadas, as quais possuem autovalores superiores a um.

As Tabelas 8, 9, 10 e 11 mostram a contribuição que cada medição realizada nas variáveis originais tem na formação das componentes principais.

Tabela 8 - Composição das CP's da temperatura do aço

Variáveis	Extração das Componentes Principais
	CP1
Temp_2	-0,77
Temp_3	-0,79
Temp_4	-0,86
Temp_5	-0,86
Temp_6	-0,82
Temp_7	-0,80
Temp_8	-0,61
Temp_9	-0,56

Pela Tabela 8, visualizam-se as ponderações de cada variável as quais irão compor a combinação linear. Observa-se que os valores acima de 0,7 são os que possuem uma maior contribuição na formação da CP e, portanto, os mais representativos.

A componente principal CP1 é a que mais fortemente está correlacionada com as medições referentes à temperatura do aço no distribuidor. Quanto maior o grau de correlação entre as medições, tanto maior será a sua influência na formação da componente, identificando-se, dessa maneira, a componente principal 1 (CP1) como sendo a de maior representatividade no processo e a que deve ser investigada (KOURTI e MacGREGOR, 1996).

Na análise, constata-se que todas as medições possuem valores expressivos na composição da CP, sendo a temp\_4 e temp\_5 com valor de -0,86 as variáveis de maior influência, seguidas pela temp\_6, temp\_7, temp\_3 e temp\_2.

Tabela 9 - Composição das CP's do peso do distribuidor

Variáveis	Extração das Componentes Principais	
	CP1	CP2
P_dist1	-0,346899	0,228140
P_dist2	<b>-0,888105</b>	0,072554
P_dist3	<b>-0,911001</b>	0,057581
P_dist4	<b>-0,921266</b>	0,039198
P_dist5	<b>-0,804628</b>	0,016657
P_dist6	<b>-0,866267</b>	-0,036156
P_dist7	-0,680153	-0,261332
P_dist8	-0,117914	<b>-0,890507</b>
P_dist9	0,080120	<b>-0,855248</b>

Analisando a correlação entre as variáveis originais e as componentes principais CP1 e CP2 na Tabela 9, verifica-se que as variáveis de maior correlação estão na componente 1 (CP1) e na componente 2 (CP2). O P\_dist4, cujo valor é de -0,92, é a variável de maior influência da CP1, seguida por P\_dist3, P\_dist2, P\_dist6 e P\_dist5. Para a CP2, a variável de maior influência é P\_dist8 seguida por P\_dist9.

Tabela 10 - Composição das CP's da velocidade dos veios 1, 2 e 3

Variáveis	Extração das Componentes Principais	
	CP1	CP2
Vel_V1_1	-0,68947	-0,22023
Vel_V1_2	<b>-0,96206</b>	-0,12220
Vel_V1_3	<b>-0,96823</b>	-0,13024
Vel_V1_4	<b>-0,97031</b>	-0,12428
Vel_V1_5	<b>-0,96589</b>	-0,11640
Vel_V1_6	<b>-0,92450</b>	-0,11819
Vel_V1_7	<b>-0,91072</b>	-0,11247
Vel_V1_8	-0,69704	0,49795
Vel_V1_9	-0,53539	<b>0,76241</b>
Vel_V2_1	<b>-0,83817</b>	-0,16310
Vel_V2_2	<b>-0,96718</b>	-0,12077
Vel_V2_3	<b>-0,97700</b>	-0,11565
Vel_V2_4	<b>-0,97955</b>	-0,12063
Vel_V2_5	<b>-0,91190</b>	-0,07886
Vel_V2_6	<b>-0,84200</b>	0,00540
Vel_V2_7	<b>-0,81880</b>	0,00984
Vel_V2_8	<b>-0,70149</b>	0,49971
Vel_V2_9	-0,53168	<b>0,78218</b>
Vel_V3_1	<b>-0,82056</b>	-0,18222
Vel_V3_2	<b>-0,95647</b>	-0,13788
Vel_V3_3	<b>-0,97280</b>	-0,12212
Vel_V3_4	<b>-0,98027</b>	-0,11638
Vel_V3_5	<b>-0,97406</b>	-0,11115
Vel_V3_6	<b>-0,96676</b>	-0,12226
Vel_V3_7	<b>-0,94137</b>	-0,15446
Vel_V3_8	<b>-0,70231</b>	0,47123
Vel_V3_9	-0,57470	<b>0,72680</b>

Pela Tabela 10, as variáveis de maior correlação estão nas componentes 1 (CP1) e 2 (CP2). A Vel\_V2\_4, cujo valor é de -0,97955, é a variável de maior influência na CP1, e na CP2 a variável de maior influência é a Vel\_V2\_9.

Tabela 11 - Composição das CP's da composição química

Variáveis	Extração das Componentes Principais	
	CP1	CP2
As	0,43	-0,33
Btot	<b>-0,88</b>	0,01
Ca	-0,60	0,01
N2	<b>-0,78</b>	-0,31
Nb	0,15	<b>-0,81</b>
Pb	-0,23	-0,32
Sb	<b>0,72</b>	-0,46
Titot	<b>-0,78</b>	-0,41
Zn	-0,65	-0,21
Zr	<b>0,83</b>	-0,21

Na Tabela 11, são mostradas as variáveis de maior correlação nas componentes 1 (CP1) e 2 (CP2). Os elementos químicos Btot cujo valor é -0,88 e Zr -0,83 são os de maior influência. O elemento Nb, de valor -0,81, é o de maior influência na CP2.

#### 4.6 ANÁLISE DE AUTOCORRELAÇÃO DAS CP's

A etapa seguinte é a modelagem por meio dos modelos ARIMA das CP's, selecionadas conforme as Tabelas 9, 10, 11 e 12. Como a ACP eliminou a correlação, espera-se que a modelagem elimine a autocorrelação e, dessa forma, utilizam-se os resíduos da série para serem avaliados pelos gráficos de controle. Também, nesta etapa, será analisada a volatilidade dos resíduos. Nos Apêndices Z, AA, AB, AC e AD, encontram-se as CP's.

#### 4.7 ESTIMAÇÃO DOS MODELOS ARIMA CONCORRENTES E ESCOLHA DO MELHOR MODELO

Conforme exposto no item 4.5, as variáveis mostraram-se autocorrelacionadas, logo, deve-se buscar um modelo matemático capaz de eliminar a autocorrelação serial e, a partir de

seus resíduos, traçam-se os gráficos de controle  $\bar{x}$ ,  $\overline{MR}$  e EWMA. Desse modo, uma das alternativas iniciais é a modelagem por meio dos modelos lineares  $ARIMA(p,d,q)$  que modelam a média condicional do processo produtivo das etapas de lingotamento.

Os modelos concorrentes foram testados e avaliados segundo a quantidade de parâmetros significativos e as estatísticas AIC e BIC. Salienta-se que todos os modelos ARIMA concorrentes formaram um processo de RB e são significativos.

→ *Variável: temperatura do aço no distribuidor*

Os correlogramas apresentados no Apêndice Z sugerem um modelo AR(1) para ajustar a série.

Tabela 12 - Modelos ARIMA para a CP1 da temperatura do aço no distribuidor

Modelos	Parâmetros	AIC	BIC
AR(1)	p(1)= <b>0,509</b>	<b>4,099</b>	<b>4,114</b>
ARI(1,1)	p(1)= -0,352	4,246	4,261
AR(2)	p(1)= 0,440 p(2)= 0,139	4,091	4,121
ARMA(3,1)	p(1)= -0,477 p(2)= 0,527 p(3)= 0,146 q(1)= 0,929	4,078	4,139

Mediante os modelos concorrentes encontrados na Tabela 12, o melhor modelo ajustado para a temperatura do aço no distribuidor é o modelo AR(1). Esse modelo foi determinado pelos critérios penalizadores AIC e BIC e pelo número de parâmetros.

→ *Variável: CP1 e CP2 do peso do distribuidor*

Os correlogramas apresentados no Apêndice AA sugerem um modelo AR(2) para o ajuste da série CP1, pois mostram 2 lags significativos na FACP; porém é preciso testar todos os modelos para encontrar o que melhor se ajusta à **CP1** da variável peso do distribuidor.

Os modelos ARIMA concorrentes estão expostos na Tabela 13.

Tabela 13 - Estimação dos parâmetros dos modelos ARIMA concorrentes, dos critérios AIC e BIC para a CP1 da variável peso do distribuidor

<b>Modelos</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>AIC</b>	<b>BIC</b>
<b>AR(2)</b>	<b>p(1)= 0,371</b> <b>p(2)= 0,300</b>	<b>3,925</b>	<b>3,956</b>
ARMA(1,1)	p(1)= 0,850 q(1)= -0,473	3,931	3,961
ARIMA(2,1,1)	p(1)= 0,370 p(2)= 0,301 q(1)= -0,997	3,94	3,985

Mediante os modelos concorrentes obtidos, o melhor modelo ajustado para a CP1 do peso do distribuidor é o modelo AR(2) determinado pelos critérios penalizadores AIC e BIC.

A Tabela 14 mostra os modelos concorrentes para a **CP2** da variável peso do distribuidor e a Figura 2 (Apêndice AA) mostra que os dados são autocorrelacionados.

Tabela 14 - Estimação dos parâmetros dos modelos ARIMA concorrentes, dos critérios AIC e BIC para a CP2 da variável peso do distribuidor

<b>Modelos</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>AIC</b>	<b>BIC</b>
ARI(3,1)	p(1)= -0,941 p(2)= -0,761 p(3)= -0,489	3,388	3,433
<b>ARIMA(3,1,1)</b>	<b>p(1)= -0,317</b> <b>p(2)= -0,249</b> <b>p(3)= -0,154</b> <b>q(1)= -0,807</b>	<b>3,349</b>	<b>3,409</b>
ARIMA(3,1,3)	p(1)= -0,172 p(2)= -0,955 p(3)= -0,165 q(1)= -0,993 q(2)= 0,842 q(3)= -0,844	3,227	3,318

Mediante os modelos concorrentes obtidos, o melhor modelo ajustado para a CP2 do peso do distribuidor é o modelo ARIMA(3,1,1).

→ *Variável: CP1 e CP2 da velocidade dos veios 1, 2 e 3*

A Figura 1 no Apêndice AB sugere que existe uma variedade de modelos ARIMA candidatos para ajustar a **CP1** da variável velocidade dos veios 1, 2 e 3. Os modelos concorrentes estão expostos na Tabela 15.

Tabela 15 - Estimação dos parâmetros dos modelos ARIMA concorrentes, dos critérios AIC e BIC para a CP1 da variável velocidade veios 1, 2 e 3

<b>Modelos</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>AIC</b>	<b>BIC</b>
ARI(2,1)	p(1)= -0,433 p(2)= -0,214	4,851	4,882
ARMA(1,1)	p(1)= 0,921 q(1)= -0,436	4,811	4,842
ARMA(1,2)	p(1)= 0,964 q(1)= -0,492 q(2)= -0,176	4,813	4,858
<b>ARIMA(1,1,1)</b>	<b>p(1)=0,386509</b> <b>q(1)=0,869484</b>	<b>4,802</b>	<b>4,832</b>

Mediante os modelos concorrentes obtidos, o melhor modelo ajustado para a CP1 da velocidade dos veios 1, 2 e 3 é o ARIMA(1,1,1).

Os modelos ARIMA concorrentes para a **CP2** (Figura 2 do Apêndice AB) da variável velocidade dos veios 1, 2 e 3 estão expostos na Tabela 16.

Tabela 16 - Estimação dos parâmetros dos modelos ARIMA concorrentes, dos critérios AIC e BIC para a CP2 da variável velocidade veios 1, 2 e 3

<b>Modelos</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>AIC</b>	<b>BIC</b>
<b>AR(1)</b>	<b>p(1)= -0,180</b>	<b>3,835</b>	<b>3,850</b>
ARIMA(1,1,1)	p(1)= -0,186 q(1)=-0,988	3,849	3,880
IMA(1,2)	q(1)= -1,156 q(2)= 0,174	3,857	3,887
IMA(1,1)	q(1)= -0,988	3,879	3,894

Mediante os modelos concorrentes obtidos, o melhor modelo ajustado para a CP2 da velocidade dos veios 1, 2 e 3 é o AR(1) determinado pelos critérios penalizadores.

→ *Variável: temperatura liquidus*

Os correlogramas apresentados no Apêndice AC sugerem um modelo AR(1) para ajustar a série.

Os modelos ARIMA concorrentes, mostrados na Tabela 17, formam um processo de RB e são significativos.



Tabela 17 - Estimação dos parâmetros dos modelos ARIMA concorrentes, dos critérios AIC e BIC para a variável temperatura liquidus

<b>Modelos</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>AIC</b>	<b>BIC</b>
ARIMA(1,1,1)	p(1)= 0,638 q(1)= -0,915	6,545	6,575
<b>ARI(1,1)</b>	<b>p(1)= -0,197</b>	<b>6,618</b>	<b>6,633</b>
ARIMA(2,1,2)	p(1)= -0,274 p(2)= 0,601 q(1)= 0,075 q(2)= -0,919	6,486	6,546

De acordo com a Tabela 17, o melhor modelo matemático representativo para a variável temperatura liquidus foi o modelo ARI(1,1).

→ *Variável: CP1 e CP2 da composição química*

Os correlogramas apresentados no Apêndice AD sugerem um modelo AR(1).

Na Tabela 18, estão expostos os modelos ARIMA concorrentes da **CP1** da composição química.

Tabela 18 - Estimação dos parâmetros dos modelos ARIMA concorrentes, dos critérios AIC e BIC para a CP1 da variável composição química

<b>Modelos</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>AIC</b>	<b>BIC</b>
<b>ARI(1,1)</b>	<b>p(1)= -0,284</b>	<b>2,6</b>	<b>2,615</b>
ARIMA(1,1,1)	p(1)= -0,527 q(1)= -0,884	2,53	2,56
ARMA(1,1)	p(1)= 0,951 q(1)= -0,331	2,556	2,586
AR(2)	p(1)= 0,549 p(2)= 0,372	2,508	2,569

Mediante os modelos concorrentes obtidos, o melhor modelo ajustado para a CP1 da composição química é o ARI(1,1).

Na Tabela 19, estão expostos os modelos ARIMA concorrentes para a **CP2** da composição química.

Tabela 19 - Estimação dos parâmetros dos modelos ARIMA concorrentes, dos critérios AIC e BIC para a CP2 da variável composição química

Modelos	Parâmetros	AIC	BIC
AR(1)	$p(1) = 0,520$	2,889	2,904
AR(2)	$p(1) = 0,672$ $p(2) = 0,245$	2,573	2,604
ARIMA(1,1,1)	$p(1) = 0,523$ $q(1) = -0,991$	2,906	2,937

Mediante os modelos concorrentes obtidos, o melhor modelo ajustado para a CP2 da composição química é o AR(1).

#### 4.8 VERIFICAÇÃO DA PRESENÇA DE HETEROCEDASTICIDADE CONDICIONAL

Nos Apêndice AE, AF, AG, AH e AI, é verificada a normalidade dos resíduos e a presença de heterocedasticidade condicional para as variáveis temperatura do aço no distribuidor, variável peso do distribuidor, velocidade dos veios 1, 2 e 3, temperatura liquidus e para a composição química, respectivamente.

#### 4.9 ESTIMAÇÃO DOS MODELOS MISTOS CONCORRENTES ARIMA-ARCH

→ *Variável: temperatura do aço no distribuidor*

As estatísticas  $F$  e ARCH-LM **não foram significativas** para que existisse volatilidade no processo da temperatura do aço no distribuidor (Apêndice AE), portanto não ocorreu modelo ARCH.

→ *Variável: peso do distribuidor*

Pelos testes realizados, comprovou-se que a **CP1 da variável peso do distribuidor apresenta sinais de volatilidade** (Apêndice AF), comprovando pelo método ARIMA *Least*

*Square* que a série possui heterocedasticidade. Assim, modelos mistos ARIMA-ARCH são possíveis.

A Tabela 20 apresenta o modelo misto ARIMA-ARCH para CP1 do peso do distribuidor pelo qual foram estimadas equações para a média e variância condicionais.

Tabela 20 - Estimação dos coeficientes, erro-padrão, estatística z e *p-valor* do modelo AR-GARCH para a CP1 da variável peso do distribuidor

<b>Método: ML – ARCH (Marquardt) - Distribuição Normal</b>				
<b>Equação para a média condicional</b>				
	<b>Coefficiente</b>	<b>Erro-Padrão</b>	<b>Estatística z</b>	<b>Prob</b>
AR(1)	0,315805	0,089512	3,528072	0,0004
AR(2)	0,158536	0,089995	1,761601	0,0781
<b>Equação para a variância condicional</b>				
C	0,489001	0,262230	1,864776	0,0622
ARCH(1)	0,235714	0,104077	2,264806	0,0235
GARCH(1)	0,574856	0,172603	3,330509	0,0009

O modelo encontrado para a volatilidade é um AR(2)-GARCH(1,1) com parâmetros estatisticamente significativos, no qual, na parte GARCH, a soma dos parâmetros é próxima a um, isto é,  $0,235714 + 0,574856 = 0,81057$ , o que revela que a variância condicional possui um efeito prolongado, denominado persistência. Isso significa que o peso do distribuidor apresenta uma grande variabilidade e permanecerá apresentando essa característica em outros períodos de tempo. A variância da série deverá convergir à média histórica após vários períodos de tempo e, se detectado uma instabilidade no processo produtivo, essa poderá perdurar por vários períodos subsequentes.

Para a **CP2 da variável peso do distribuidor** pelo método ARIMA *Least Square*, comprovou-se que a **série não apresenta sinais de volatilidade**, pois o excesso de curtose era próximo de 3. Porém a Tabela 21 mostra que modelos mistos ARIMA-GARCH são possíveis, ou seja, o teste F e ARCH-LM não captaram o efeito da volatilidade.

A Tabela 21 apresenta o modelo misto ARIMA-GARCH para a CP2 do peso do distribuidor pelo qual foram estimadas equações para a média e variância condicionais.

Tabela 21 - Estimação dos coeficientes, erro-padrão, estatística z e *p-valor* do modelo ARIMA-GARCH para a CP2 da variável peso do distribuidor

<b>Método: ML – ARCH (Marquardt) - Distribuição Normal</b>				
<b>Equação para a média condicional</b>				
	<b>Coefficiente</b>	<b>Erro-Padrão</b>	<b>Estatística z</b>	<b>Prob</b>
AR(1)	-0,689511	0,090181	-7,645868	0,0000
AR(2)	-0,594493	0,094938	-6,261923	0,0000
AR(3)	-0,468873	0,074229	-6,316544	0,0000
MA(1)	-0,395483	0,114700	-3,447965	0,0006
<b>Equação para a variância condicional</b>				
C	0,105209	0,047398	2,219691	0,0264
ARCH(1)	0,086669	0,048193	1,798372	0,0721
GARCH(1)	0,848420	0,061777	13,73362	0,0000

O modelo encontrado para a volatilidade é um modelo ARIMA(3,1,1)-GARCH(1,1) com parâmetros estatisticamente significativos. A soma dos parâmetros é  $0,086669 + 0,848420 = 0,935089$ , revelando que a variância condicional possui um efeito prolongado, ou seja, o peso do distribuidor apresenta uma grande variabilidade e permanecerá apresentando esta característica em outros períodos de tempo.

→ *Variável: velocidade dos veios 1, 2 e 3*

Pelos testes realizados, comprovou-se que a **variável velocidade dos veios 1, 2 e 3 para a CPI não apresenta sinais de volatilidade**, mas elaborando o modelo foi possível encontrar a modelagem mista (Apêndice AG). Assim, modelos mistos ARIMA-ARCH são possíveis.

A Tabela 22 apresenta o modelo misto ARIMA-GARCH para a velocidade dos veios 1, 2 e 3 da CPI pelo qual foram estimadas equações para a média e variância condicionais.

Tabela 22 - Estimação dos coeficientes, erro-padrão, estatística z e *p-valor* do modelo ARIMA-GARCH para a CPI da variável velocidade dos veios

<b>Método: ML – ARCH (Marquardt) - Distribuição Normal</b>				
<b>Equação para a média condicional</b>				
	<b>Coefficiente</b>	<b>Erro-Padrão</b>	<b>Estatística z</b>	<b>Prob</b>
AR(1)	0,282826	0,120536	2,346409	0,0190
MA(1)	-0,827358	0,065211	-12,68737	0,0000
<b>Equação para a variância condicional</b>				
C	0,074128	0,040099	1,848345	0,0645
ARCH(1)	0,103468	0,040862	2,531859	0,0113
GARCH(1)	0,885846	0,034468	25,70056	0,0000

O modelo encontrado para a volatilidade é um ARIMA(1,1,1)-GARCH(1,1) com parâmetros estatisticamente significativos. A soma dos parâmetros é próxima a um, isto é,

$0.103468 + 0.885846 = 0,989314$ , o que revela que a variância condicional possui um grande efeito prolongado.

Pelos testes realizados, comprovou-se que a **CP2 da variável velocidade dos veios 1, 2 e 3 não apresenta sinais de volatilidade** e, embasando-se no método ARIMA *Least Square*, a série não possui heterocedasticidade. Assim, modelos mistos ARIMA-ARCH não são possíveis.

→ *Variável: temperatura liquidus*

As estatísticas *F* e ARCH-LM **não foram significativas** para que existisse volatilidade no processo da temperatura liquidus (Apêndice AH), portanto não ocorreu modelo ARCH.

→ *Variável: composição química*

Os testes realizados para a CP1 e CP2 da composição química são mostrados no Apêndice AI. Por esses testes, comprovou-se que a **CP1 da variável composição química apresenta sinais de volatilidade**, assim, modelos mistos ARIMA-ARCH são possíveis.

A Tabela 23 apresenta o modelo misto ARIMA-ARCH para a composição química da CP1 pelo qual foram estimadas equações para a média e variância condicionais.

Tabela 23 - Estimação dos coeficientes, erro-padrão, estatística *z* e *p*-valor do modelo ARI-ARCH para a CP1 da variável composição química

<b>Método: ML – ARCH (Marquardt) - Distribuição Normal</b>				
<b>Equação para a média condicional</b>				
	<b>Coefficiente</b>	<b>Erro-Padrão</b>	<b>Estatística z</b>	<b>Prob</b>
AR(1)	-0,502381	0,041999	-11,96183	0,0000
<b>Equação para a variância condicional</b>				
C	0,436988	0,045204	9,666974	0,0000
ARCH(1)	0,751416	0,145601	5,160776	0,0000

O modelo encontrado para a volatilidade é um ARI(1,1)-ARCH(1) com parâmetros estatisticamente significativos. Como o valor de alfa, o parâmetro do ARCH(1) é razoavelmente alto, igual a 0,754, significa que, após longo período de tempo, a variância da série deverá convergir à média histórica, ou seja, a CP1 da composição química no período anterior influencia fortemente no próximo período.

Pelos testes realizados, comprovou-se que a **CP2 da variável composição química apresenta sinais de volatilidade** e pode-se dizer pelo método ARIMA *Least Square* que a série possui heterocedasticidade. Assim, modelos mistos ARIMA-ARCH são possíveis.

A Tabela 24 apresenta o modelo misto ARIMA-GARCH para a composição química da CP2 pelo qual foram estimadas equações para a média e variância condicionais.

Tabela 24 - Estimação dos coeficientes, erro-padrão, estatística z e *p-valor* do modelo AR-GARCH para a CP2 da variável composição química

<b>Método: ML – ARCH (Marquardt) - Distribuição Normal</b>				
<b>Equação para a média condicional</b>				
	<b>Coefficiente</b>	<b>Erro-Padrão</b>	<b>Estatística z</b>	<b>Prob</b>
AR(1)	0,410260	0,058280	7,039440	0,0000
<b>Equação para a variância condicional</b>				
C	0,009279	0,002383	3,893154	0,0000
ARCH(1)	0,143220	0,055711	2,570773	0,0101
GARCH(1)	0,857242	0,036870	23,25008	0,0000

O modelo encontrado para a volatilidade é um AR(1)-GARCH(1,1) com parâmetros estatisticamente significativos. A soma dos parâmetros é um, o que revela que a variância condicional seja positiva e estacionária. Como o valor de alfa, o parâmetro do GARCH(1,1) é alto, igual a  $0,14322 + 0,857242 = 1,000462$ , isso significa que após um longo período de tempo a variância da série deverá convergir à média histórica, ou seja, a composição química para a CP2 no período anterior influencia fortemente no próximo período.

#### 4.10 ANÁLISE DA ESTABILIDADE DO PROCESSO

A estabilidade é feita por meio do uso dos gráficos de controle  $\bar{x}$ ,  $\overline{MR}$  e EWMA nas séries originais, nas componentes principais selecionadas, nos resíduos dos modelos ARIMA, nos resíduos quadráticos e na volatilidade do modelo misto ARIMA-ARCH.

→ *Variável: CP1 da temperatura do aço no distribuidor*

No Apêndice D, apresentam-se os gráficos de medidas individuais da série original para a variável estudada, a qual ainda está contaminada pelos efeitos de correlação e autocorrelação presente nas observações. Analisando-se os gráficos, constata-se que o

processo apresenta elevada instabilidade em relação a média para as medições da temperatura do aço no distribuidor.

Os resíduos do modelo AR(1), que formam um processo de RB, serão usados para a construção dos gráficos de controle para medidas individuais, amplitude móvel e EWMA a fim de analisar a estabilidade do processo.

Apresentam-se a seguir, nas Figuras 9, 10 e 11, os gráficos de controle considerando os resíduos do modelo estimado para a temperatura do aço no distribuidor, tendo como auxílio na decisão a aplicação dos *runs tests*<sup>11</sup>. Os testes de sequência, segundo Montgomery (2004), são divididos nas zonas A, B e C, correspondendo a  $3\sigma$ ,  $2\sigma$  e  $1\sigma$ , respectivamente. A probabilidade de ocorrência de um padrão anormal é, aproximadamente, igual à probabilidade de um ponto estar fora dos limites de  $\pm 3\sigma$ .

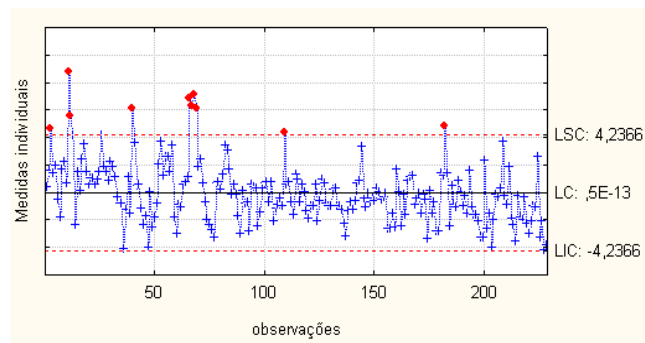


Figura 9 - Gráfico  $\bar{x}$  da CP1 da temperatura do aço

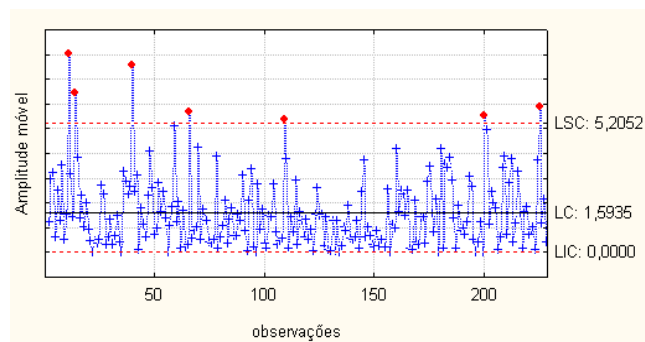


Figura 10 - Gráfico  $\overline{MR}$  da CP1 da temperatura do aço

<sup>11</sup> Também chamados testes de sequência ou regras sensibilizantes, segundo Montgomery (2004).

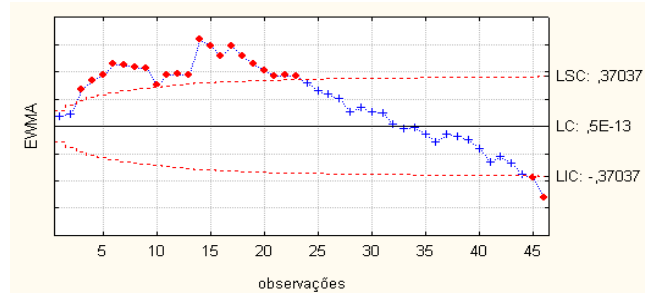


Figura 11 - Gráfico EWMA da CP1 da temperatura do aço

As Figuras 9, 10 e 11 revelam o comportamento amostral dos valores da componente principal CP1 da temperatura do aço. Após aplicar a CP, o número de pontos fora dos limites de controle em relação às medições originais são em menor número.

De acordo com os valores da CP1, traçou-se o gráfico  $\bar{x}$ , mostrado na Figura 9, pelo qual se detecta que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representadas pelo conjunto de amostras com início nas observações 15, 24, 63, 133 e 212. Verificam-se **6 pontos amostrais em sequência com tendência crescente e/ou decrescente**, começando na amostra 72. Observa-se, também, que a **cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 10, 39, 65, 68, 81, 197 e 225. Verifica-se que a **cada 5 pontos amostrais traçados 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 8, 15, 24, 45, 52, 65, 73, 155, 194, 199, 212, 217 e 224. Também observa-se que **8 pontos amostrais em sequência situados se encontram-se fora da Zona C**, o que corresponde à observação com início na amostra 195.

Para o gráfico  $\overline{MR}$ , apresentado na Figura 10, constata-se que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central** representada pelo conjunto de amostras iniciado nas observações 125 e 146. Observa-se que **a cada 3 pontos amostrais traçados 2 se encontram na Zona A, ou fora dela**, representada pelo conjunto de amostras iniciada na observação 199. Detecta-se também que **a cada 5 pontos amostrais traçados 4 estão na zona B, ou fora dela**, os quais são representadas pelo conjunto de amostras iniciado nas observações 11, 180 e 208.

A Figura 11 mostra o gráfico EWMA e revela que o processo é afetado por pequenas mudanças. Detecta-se que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representados pelo conjunto de amostras com início nas observações 1, 10, 19 e 33. Verificam-se **6 pontos amostrais em sequência com tendência crescente e/ou decrescente**, começando na amostra 23. Observa-se, também, que **a cada 3 pontos amostrais traçados 2**



se encontram na **Zona A**, ou fora dela, representados pelo conjunto de amostras iniciada nas observações 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23, 41 e 44. Detecta-se também que **a cada 5 pontos amostrais traçados 4 estão na zona B**, ou fora dela, os quais são representados pelo conjunto de amostras iniciado nas observações 1, 6, 11, 16, 21 e 39. Verifica-se que **8 pontos amostrais se encontram fora da zona C**, iniciando-se nas amostras 1, 9 e 17.

Pelas Figuras 12, 13 e 14, é possível perceber que, após a modelagem ARIMA, os gráficos dos resíduos revelam que existe um menor número de pontos fora de controle em relação à CP1.

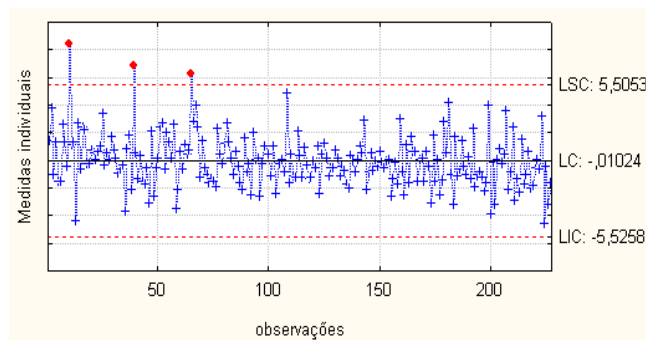


Figura 12 - Gráfico  $\bar{x}$  para os resíduos da CP1 oriundos do modelo AR(1) da temperatura do aço

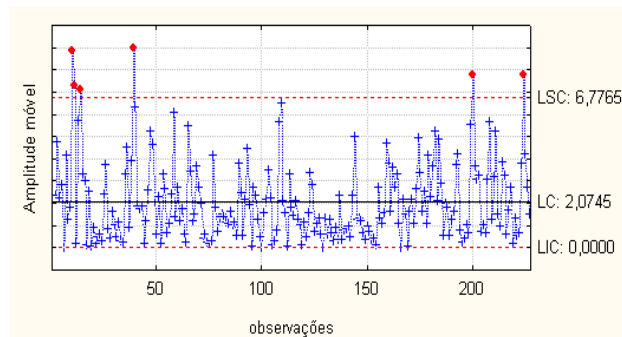


Figura 13 - Gráfico  $\overline{MR}$  para os resíduos da CP1 oriundos do modelo AR(1) da temperatura do aço

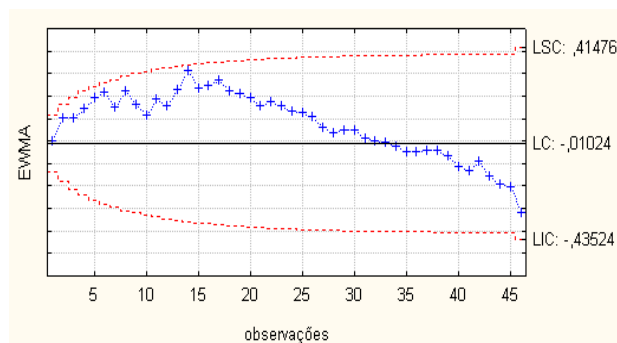


Figura 14 - Gráfico EWMA para os resíduos da CP1 oriundos do modelo AR(1) com parâmetros  $\lambda = 0,05$  e  $L = 2,50$  da temperatura do aço

No gráfico  $\bar{x}$ , Figura 12, observa-se que a **cada 3 pontos amostrais traçados 2 se encontram localizados na zona A, ou fora dela**, correspondendo às observações com início na amostra 65. Detecta-se também que **a cada 5 pontos amostrais traçados 4 estão na zona B, ou fora dela**, os quais são representadas pelo conjunto de amostras iniciado na observação 64.

Para o gráfico  $\overline{MR}$ , apresentado na Figura 13, constata-se que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central** representados pelo conjunto de amostras iniciado nas observações 78, 125 e 145. Observam-se que **a cada 3 pontos amostrais traçados 2 encontram-se na Zona A, ou fora dela**, representados pelo conjunto de amostras iniciado nas observações 9, 12, 38, 107 e 198. Detecta-se também que, **a cada 5 pontos amostrais traçados 4 estão na zona B ou fora dela**, os quais são representados pelo conjunto de amostras iniciado nas observações 10, 36 e 72.

Observando-se o gráfico EWMA, Figura 14, nota-se que não existem pontos fora dos limites de controle. Isso mostra que o processo não é afetado por pequenas variações e que a temperatura do aço apresenta um comportamento estável.

Na construção do gráfico EWMA, segue-se a escolha dos parâmetros sugeridos por Crowder (1987), utilizando-se as combinações de  $(\lambda, L)$  com valores de (0,05; 2,50), pois com esses valores pode-se atingir um valor comparável de um ARL formado por 370 observações nos gráficos X-barras quando eles estão sob controle.

De acordo com Claro et al. (2007), quando os dados de um processo são autocorrelacionados, uma opção é traçar um gráfico de controle nessas variáveis para ver se as mesmas estão sob controle. Pode-se traçar gráficos de controle com os limites “alargados”, porém não existe um critério de quanto alargar esses limites ou traçar gráficos de controle com dados equidistantes, mas tem-se o problema de perder a sequência temporal, e muitas falhas podem ocorrer nesse meio tempo.

### **Comentários gerais da variável temperatura do aço no distribuidor**

Com os resultados obtidos na análise dos dados, constata-se a necessidade do tratamento das componentes principais, a fim de remover a autocorrelação serial antes do seu monitoramento, já que pontos amostrais fora dos limites de controle podem ser inseridos no gráfico, mesmo quando o processo estiver sob controle, gerando alarmes falsos. Portanto, não

é possível usar as técnicas convencionais de controle estatístico de processo diretamente nos dados originais.

Para isso, estimou-se um modelo matemático, utilizando-se a modelagem ARIMA, pois os dados da **CP1 da temperatura do aço no distribuidor** continham autocorrelação. Obteve-se, assim, um modelo AR(1) e seus resíduos livres de autocorrelação, portanto, independentes e normalmente distribuídos. Dessa forma, é permitido que as técnicas do CEP sejam utilizadas com a finalidade de identificar a ocorrência de padrões especiais, caracterizando o processo analisado quanto a sua estabilidade para que seja feito ou não o ajuste.

Nessa etapa, foram traçados os gráficos de controle  $\bar{x}$ ,  $\overline{MR}$  e EWMA para a CP1 e para os resíduos do modelo AR(1).

Com relação aos resultados obtidos, é possível perceber que, após o ajuste dos dados por meio ACP e da modelagem ARIMA, com a utilização dos resíduos do modelo, eliminando o efeito da autocorrelação, a estabilidade do processo tornou-se evidente.

Com relação aos resultados obtidos após a aplicação dos gráficos de controle, apresentam-se as seguintes considerações sobre a CP1 da variável temperatura do aço:

- Nos dados originais da CP1 havia:
  - gráfico  $\bar{x}$  - 10 pontos amostrais fora dos limites de controle;
  - gráfico  $\overline{MR}$  - 7 pontos amostrais fora dos limites de controle;
  - gráfico EWMA - 23 pontos amostrais fora dos limites de controle.
- Nos resíduos do modelo AR(1), após a análise da componente principal, existem:
  - gráfico  $\bar{x}$  - 3 pontos amostrais fora dos limites de controle;
  - gráfico  $\overline{MR}$  - 6 pontos amostrais fora dos limites de controle;
  - gráfico EWMA - não possui pontos amostrais fora dos limites de controle.

→ *Variável: CP1 e CP2 do peso do distribuidor*

No Apêndice E, apresentam-se os gráficos individuais da série original do peso do distribuidor, constatando-se elevada instabilidade em relação à média para as medições da variável.

### a) CP1 do peso do distribuidor

Nas Figuras 15, 16 e 17 são apresentados os gráficos de controle  $\bar{x}$ ,  $\overline{MR}$  e EWMA para a variável **CP1 do peso do distribuidor**, tendo como auxílio na decisão o uso dos *runs tests*.

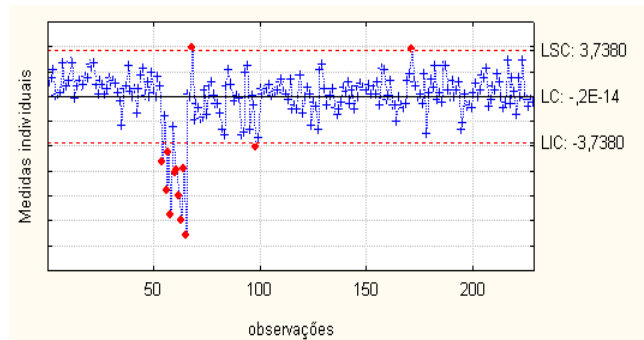


Figura 15 - Gráfico  $\bar{x}$  da CP1 do peso do distribuidor

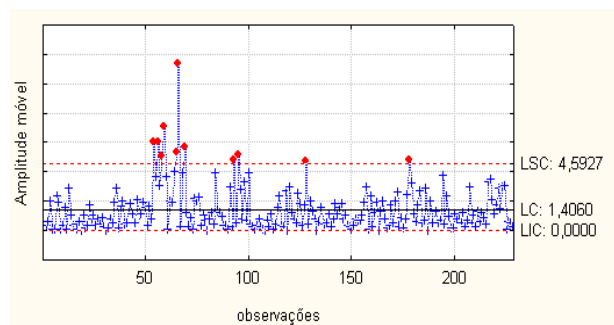


Figura 16 - Gráfico  $\overline{MR}$  da CP1 do peso do distribuidor

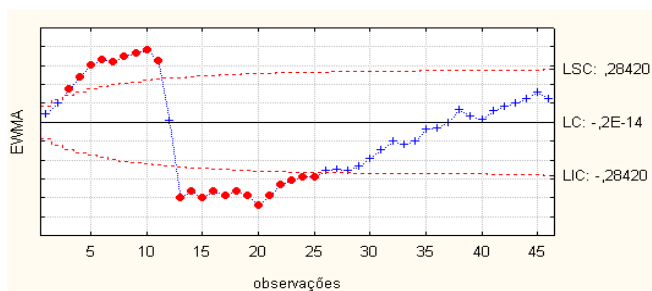


Figura 17 - Gráfico EWMA da CP1 do peso do distribuidor

De acordo com a CP1 do peso do distribuidor, traçou-se o gráfico  $\bar{x}$  mostrado na Figura 15, pelo qual se constata que os **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representados pelas amostras com início nas observações 1, 14, 23, 54, 10 e 145. Observa-se também que, a **cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 10, 20, 54, 57, 60, 63, 81, 90, 97 e 185. Além disso, verifica-se que, a **cada 5 pontos**

**amostrais traçados, 4 encontram-se localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 17, 53 e 58. Verificam-se **15 pontos amostrais em sequência situados na zona C**, correspondendo às observações com início na amostra 137. Também existem **8 pontos amostrais que se encontram fora da zona C**, correspondendo às observações com início na amostra 54.

Utilizando-se os valores da CP1, traçou-se o gráfico  $\overline{MR}$  apresentado na Figura 16, pelo qual se detecta que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representados pelo conjunto de amostras com início nas observações 14, 24, 101, 146 e 197. Observa-se também que, a **cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 53, 56, 59, 63, 66 e 93. Além disso, verifica-se que, a **cada 5 pontos amostrais traçados, 4 encontram-se localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 53, 64 e 106. Verificam-se **15 pontos amostrais em sequência situados na zona C**, correspondendo à observação com início na amostra 38. Também existem **8 pontos amostrais que se encontra fora da zona C**, correspondendo às observações com início na amostra 54.

Com relação à CP1 do gráfico EWMA, Figura 17, se detecta que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representados pela amostra com início nas observações 1, 13, 22 e 38. Observa-se também que, a **cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25 e 28. Além disso, verifica-se que, a **cada 5 pontos amostrais traçados, 4 encontram-se localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 1, 6, 12, 17, 22, 27 e 2. Também existem **8 pontos amostrais que se encontram fora da zona C**, correspondendo às observações com início nas amostras 1, 13 e 21.

Apresentam-se a seguir, nas Figuras 18, 19 e 20, os gráficos de controle para medidas individuais, amplitude móvel e EWMA, considerando os resíduos do modelo estimado para a variável CP1 do peso do distribuidor, tendo como auxílio na decisão a aplicação dos *runs tests*.

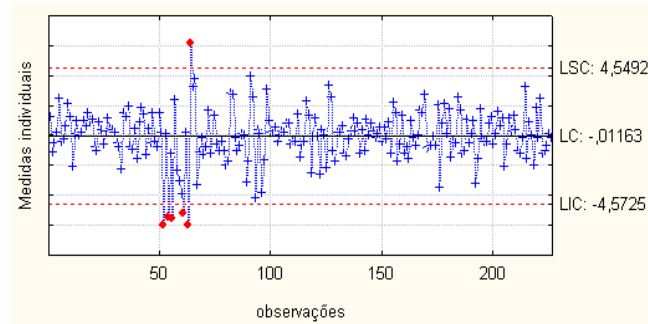


Figura 18 - Gráfico  $\bar{x}$  dos resíduos da CP1 do modelo AR(2) do peso do distribuidor

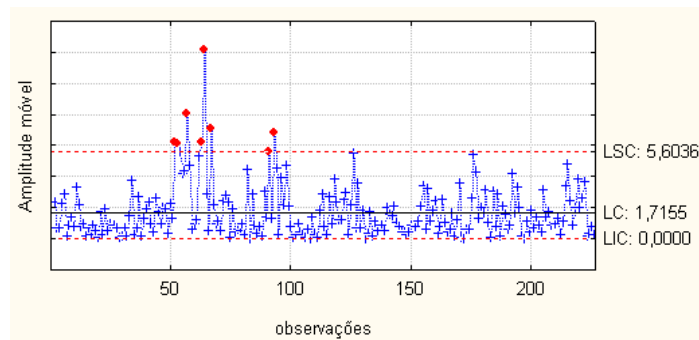


Figura 19 - Gráfico  $\overline{MR}$  dos resíduos da CP1 do modelo AR(2) do peso do distribuidor

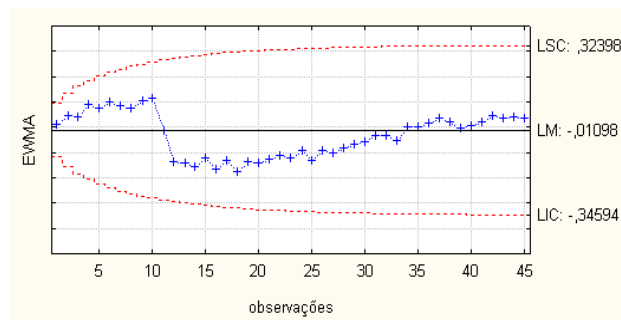


Figura 20 - Gráfico EWMA para os resíduos da CP1 do modelo AR(2) com  $\lambda = 0,05$  e  $L = 2,50$  do peso do distribuidor

De acordo com os resíduos do modelo AR(2), traçou-se o gráfico  $\bar{x}$ , mostrado na Figura 18, pelo qual se constata que **9 pontos amostrais estão em sequência no mesmo lado da linha central**, representados pelas amostras com início na observação 12. Existem também **6 pontos amostrais em sequência com tendência crescente e/ou decrescente** que correspondem à observação com início na amostra 28. Observa-se que, a **cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 52, 59 e 63. Além disso, verifica-se que, a **cada 5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início na amostra 56. Observa-se que **15 pontos amostrais se encontram localizados na zona C**, com início nas observações 99 e 130.

Utilizando-se os resíduos do modelo estimado, traçou-se o gráfico  $\overline{MR}$ , apresentado na Figura 19, pelo qual se detecta que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representados pela amostra com início nas observações 24, 100 e 144. Observa-se também que, a **cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 51, 54, 57, 61 e 91. Verifica-se também que, a **cada 5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início na amostra 51.

Na Figura 20, o gráfico EWMA não apresenta pontos fora dos limites de controle, observando-se assim, que o processo é pouco afetado por pequenas variações.

Pela análise, percebe-se que, após o ajuste dos dados por meio da ACP e da modelagem ARIMA, a qual foi capaz de captar as variações que havia na série peso do distribuidor para a primeira componente com a utilização dos resíduos e da eliminação do efeito da autocorrelação, a estabilidade do processo tornou-se evidente.

- **Gráficos de controle dos resíduos do modelo AR(2)-GARCH(1,1) da CP1 do peso do distribuidor**

São apresentados a seguir os gráficos de controle  $\bar{x}$ ,  $\overline{MR}$  e EWMA, considerando os resíduos do modelo estimado para a CP1 da peso do distribuidor, tendo como auxílio na decisão, a aplicação dos *runs tests*.

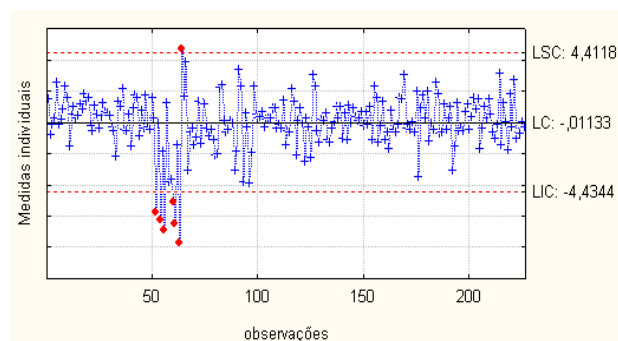


Figura 21 - Gráfico  $\bar{x}$  dos resíduos quadráticos da CP1 do modelo AR(2)-GARCH(1,1) do peso do distribuidor

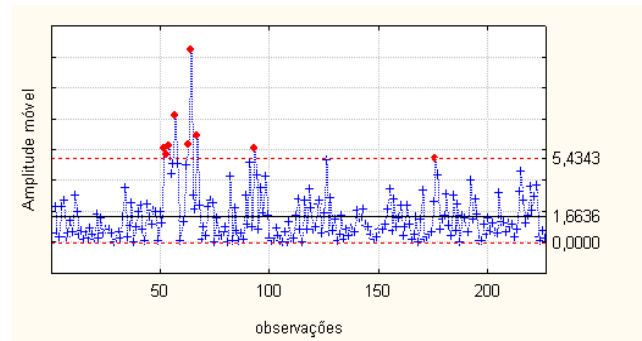


Figura 22 - Gráfico  $\overline{MR}$  dos resíduos quadráticos da CP1 do modelo AR(2)-GARCH(1,1) do peso do distribuidor

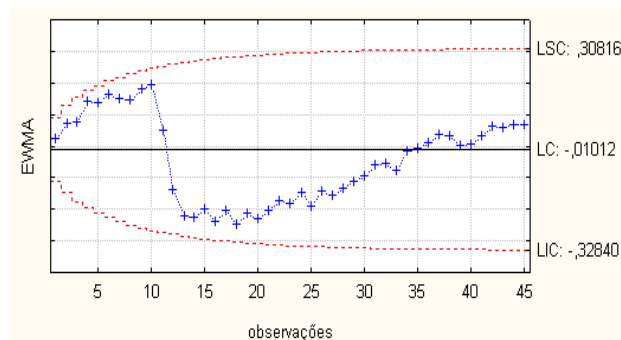


Figura 23 - Gráfico EWMA dos resíduos quadráticos da CP1 do modelo AR(2)-GARCH(1,1) com  $\lambda = 0,05$  e  $L = 2,50$  do peso do distribuidor

De acordo com os resíduos do modelo AR(2)-GARCH(1,1), traçou-se o gráfico  $\bar{x}$ , mostrado na Figura 21, pelo qual se constata que os **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representados pelas amostras com início na observação 9. Observa-se também que **6 pontos amostrais estão em sequência com tendência crescente e/ou decrescente**, começando na amostra 6. Constata-se que, a cada **3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, com início nas observações 52, 56, 59 e 64. Verifica-se que, a cada **5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 52 e 57. Também constata-se que **15 pontos amostrais estão localizados na zona C**, com início nas observações 99 e 128.

Utilizando-se os resíduos do modelo estimado, traçou-se o gráfico  $\overline{MR}$ , apresentado na Figura 22, pelo qual se detecta que **9 pontos amostrais estão em sequência no mesmo lado da linha central**, representados pela amostra com início nas observações 22, 100, 144 e 196. Constata-se que, a cada **3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, com início nas observações 51, 54, 57, 61, 91 e 175. Verifica-se que, a cada **5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 51 e 61. Observa-se também que há **8**



**pontos amostrais em sequência situados fora da zona C**, correspondendo às observações com início na amostra 52.

Na Figura 23, o gráfico EWMA não apresenta pontos amostrais fora dos limites de controle, observando-se, assim, que o processo é bastante afetado por pequenas variações.

Pela análise, percebe-se que, após o ajuste dos dados por meio ACP e da modelagem ARIMA, a qual foi capaz de captar as variações que havia na série, utilizando os resíduos e eliminando o efeito da autocorrelação, a estabilidade do processo tornou-se evidente. Com o ajuste do modelo misto ARIMA-GARCH, o processo continua com alguns pontos fora dos limites de controle.

### Comentários gerais da CP1 do peso do distribuidor

A variável peso do distribuidor apresentou duas CP's. Constatou-se a necessidade do tratamento desses dados a fim de remover a autocorrelação serial da CP1 antes do seu monitoramento. Portanto, estimou-se um modelo AR(2) para a CP1 no qual, com seus resíduos livres de autocorrelação, são construídos os gráficos de controle  $\bar{x}$ ,  $\overline{MR}$  e EWMA.

Com relação aos resultados obtidos após a aplicação dos gráficos de controle, apresentam-se na Tabela 25 as seguintes considerações sobre a CP1:

Tabela 25 - Pontos amostrais fora dos limites de controle para a CP1 da variável peso do distribuidor

Gráficos	Pontos amostrais fora dos limites de controle		
	Componente Principal	Resíduo AR(2)	Resíduos quadráticos
$\bar{x}$	12	6	7
$\overline{MR}$	11	8	9
EWMA	22	0	0

### b) CP2 do peso do distribuidor

Nas Figuras 24, 25 e 26, são apresentados os gráficos de controle  $\bar{x}$ ,  $\overline{MR}$  e EWMA para a variável **CP2 do peso do distribuidor**, tendo como auxílio na decisão o uso dos *runs tests*.

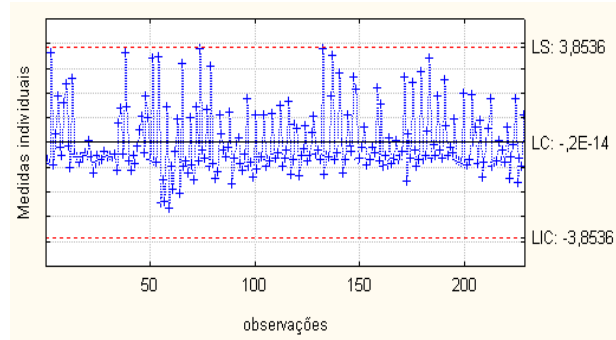


Figura 24 - Gráfico  $\bar{x}$  da CP2 do peso do distribuidor

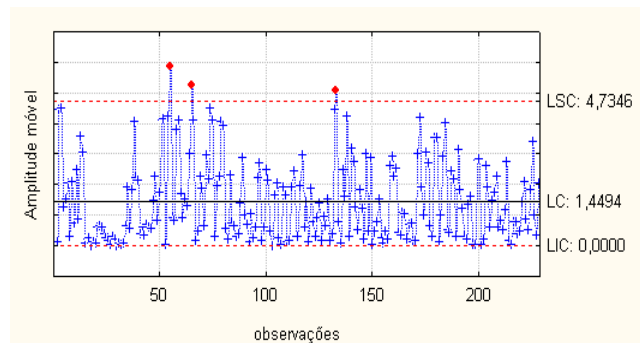


Figura 25 - Gráfico  $MR$  da CP2 do peso do distribuidor

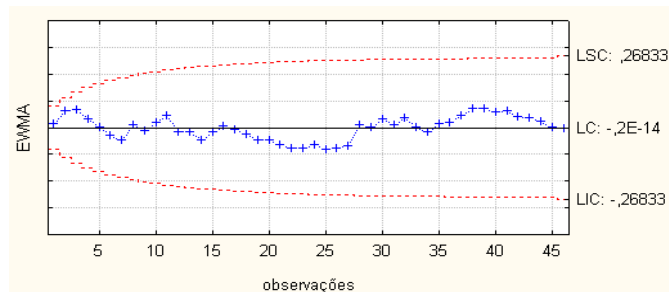


Figura 26 - Gráfico EWMA da CP2 do peso do distribuidor

Para a CP2 do peso do distribuidor, traçou-se o gráfico  $\bar{x}$ , mostrado na Figura 24, pelo qual se constata que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representados pelas amostras com início na observação 22. Observa-se também que, **a cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, correspondendo às observações com início na amostra 81. Além disso, verifica-se que, **a cada 5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 29 e 81. Verificam-se **15 pontos amostrais em sequência situados na zona C**, correspondendo às observações com início nas amostras 101, 118 e 142. Além disso, há **14 pontos amostrais em sequência alternando-se para cima e para baixo**, correspondendo à observação 152. Observa-se também que, **a cada**

**5 pontos amostrais traçados, 4 estão na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início na amostra 55. Além disso, observam-se **15 pontos amostrais em sequência situadas na zona C**, correspondendo às observações com início na amostra 14.

Com relação ao gráfico  $\overline{MR}$ , mostrado na Figura 25, constata-se que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representados pelo conjunto de amostra com início nas observações 15, 24 e 162. Observa-se ainda que, **a cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 2, 50, 53, 57, 4, 73, 78 e 131. Verifica-se, também, que **a cada 5 pontos amostrais traçados, 4 estão na zona B ou fora dela**, os quais são representados pelo conjunto de amostras iniciadas nas observações 14, 24, 29 e 51. Além disso, observam-se **8 pontos amostrais situados fora da zona C**, correspondendo às observações com início nas amostras 13 e 25.

Quanto ao gráfico EWMA, Figura 26, constata-se que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representados pela amostra com início nas observações 17 e 35. Existem também **6 pontos amostrais em sequência alternando-se para cima e para baixo**, que correspondem à observação 17. Além disso, **15 pontos amostrais estão situados na zona C**, com início nas observações 4 e 19.

As Figuras 27, 28 e 29 apresentam os gráficos para os resíduos do modelo estimado, tendo como auxílio na decisão a aplicação dos *runs tests*.

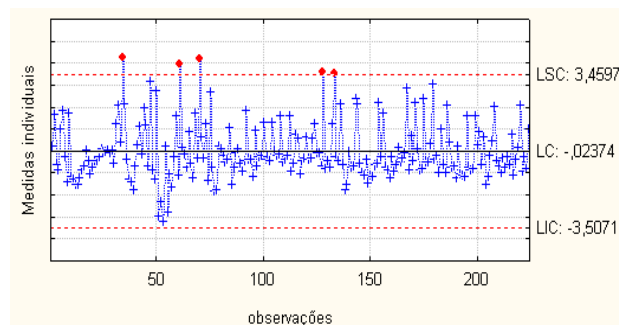


Figura 27 - Gráfico  $\bar{x}$  dos resíduos da CP2 do modelo ARIMA(3,1,1) do peso do distribuidor

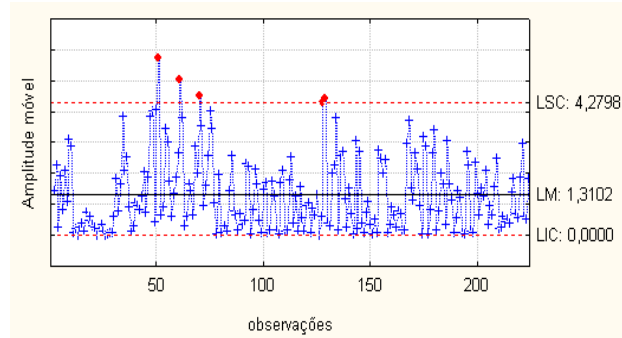


Figura 28 - Gráfico  $\overline{MR}$  dos resíduos da CP2 do modelo ARIMA(3,1,1) do peso do distribuidor

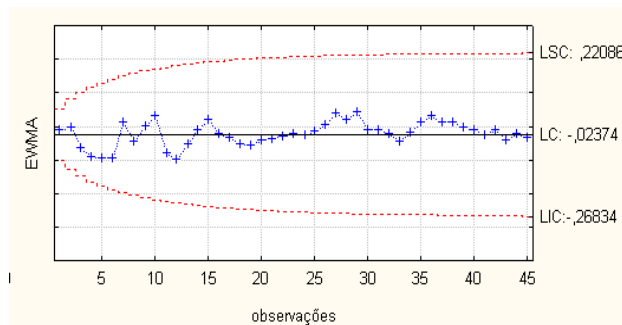


Figura 29 - Gráfico EWMA dos resíduos da CP2 do modelo ARIMA(3,1,1) com  $\lambda = 0,05$  e  $L = 2,50$  do peso do distribuidor

De acordo com os resíduos do modelo ARIMA(3,1,1), traçou-se o gráfico  $\bar{x}$ , mostrado na Figura 27, pelo qual se verifica que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representados pelas amostras com início na observação 145. Observa-se que, **a cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, correspondendo às observações com início na amostra 51. Além disso, verifica-se que, **a cada 5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início na amostra 10, 31 e 49. Também detecta-se que há **15 pontos amostrais situados na zona C**, com início na observação 15.

Utilizando-se os resíduos do modelo estimado, traçou-se o gráfico  $\overline{MR}$ , apresentado na Figura 28, pelo qual se constata que **9 pontos amostrais estão em sequência no mesmo lado da linha central**, representados pelas amostras com início nas observações 11, 20, 118 e 158. Observa-se que, **a cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 46, 49, 60, 69 e 74. Além disso, verifica-se que, **a cada 5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 10, 21, 26 e 47.

Na Figura 29, o gráfico EWMA não apresenta pontos fora dos limites de controle, observando-se, assim, que o processo é pouco afetado por pequenas variações.

- Gráficos de controle dos resíduos do modelo ARIMA(3,1,1)-GARCH(1,1) da CP2 do peso do distribuidor

Apresentam-se, a seguir, os gráficos de controle  $\bar{x}$ ,  $\overline{MR}$  e EWMA, considerando-se os resíduos do modelo estimado para a CP2 do peso do distribuidor, tendo como auxílio na decisão a aplicação dos *runs tests*.

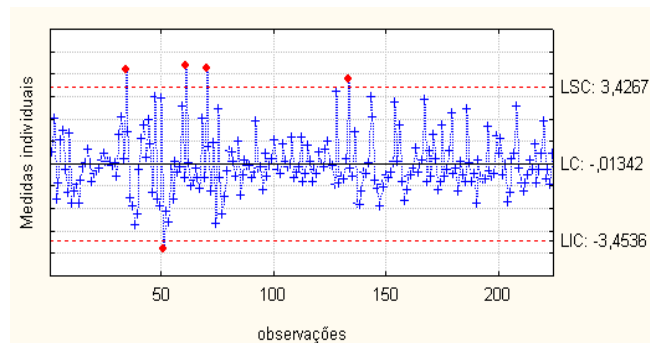


Figura 30 - Gráfico  $\bar{x}$  dos resíduos quadráticos da CP2 do modelo ARIMA(3,1,1)-GARCH(1,1) do peso do distribuidor

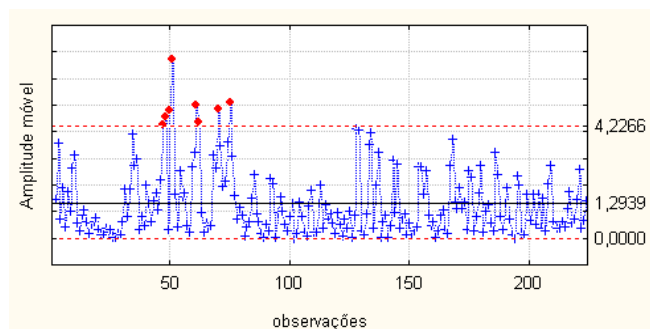


Figura 31 - Gráfico  $\overline{MR}$  dos resíduos quadráticos da CP2 do modelo ARIMA(3,1,1)-GARCH(1,1) do peso do distribuidor

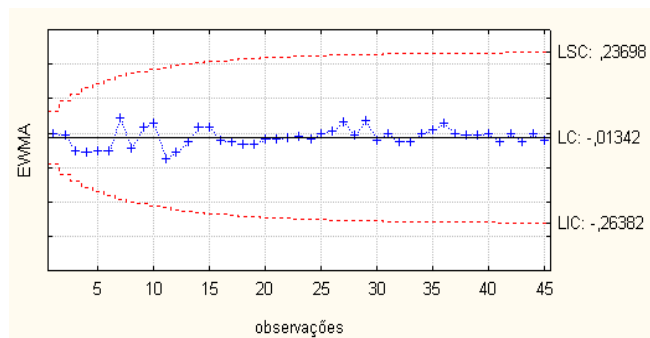


Figura 32 - Gráfico EWMA dos resíduos quadráticos da CP2 do modelo ARIMA(3,1,1)-GARCH(1,1) com  $\lambda = 0,05$  e  $L = 2,50$  do peso do distribuidor

De acordo com os resíduos do modelo ARIMA(3,1,1)-GARCH(1,1), traçou-se o gráfico  $\bar{x}$ , mostrado na Figura 30, pelo qual se constata que, **a cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, com início nas observações 51 e 59. Verifica-se que, **a cada 5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 31, 36 e 48. Também constata-se que **15 pontos amostrais estão localizados na zona C**, com início nas observações 14, 93 e 113. Verifica-se que **8 pontos amostrais traçados se encontram localizados na zona C ou fora dela**, correspondendo às observações com início na amostra 46.

Utilizando-se os resíduos do modelo estimado, traçou-se o gráfico  $\overline{MR}$ , apresentado na Figura 31, pelo qual se constata que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representados pelas amostras com início nas observações 11, 20, 68, 114 e 158. Constata-se que, a cada **3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, com início nas observações 46, 49, 60, 69, 73, 127 e 132. Verifica-se que, **a cada 5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 20, 25, 47, 58 e 67.

Na Figura 32, o gráfico EWMA apresenta vários pontos fora dos limites de controle e mostra que o processo não é afetado por pequenas variações.

Pela análise, percebe-se que, após o ajuste dos dados por meio da ACP e da modelagem ARIMA, a qual foi capaz de captar as variações que havia na série, utilizando os resíduos e eliminando o efeito da autocorrelação, a estabilidade do processo tornou-se evidente. Com o ajuste do modelo misto ARIMA-GARCH, o processo continua com alguns pontos fora dos limites de controle.

### **Comentários gerais da CP2 do peso do distribuidor**

A variável peso do distribuidor apresentou duas CP's. Constatou-se a necessidade do tratamento desses dados a fim de remover a autocorrelação serial da CP2 antes do seu monitoramento. Estimou-se um modelo ARIMA(3,1,1) para a CP2 onde, com seus resíduos livres de autocorrelação são construídos os gráficos de controle  $\bar{x}$ ,  $\overline{MR}$  e EWMA.

Com relação aos resultados obtidos após a aplicação dos gráficos de controle, apresentam-se as seguintes considerações sobre a CP2 na Tabela 26.

Tabela 26 - Pontos amostrais fora dos limites de controle para a CP2 da variável peso do distribuidor

Gráficos	Pontos amostrais fora dos limites de controle		
	Componente Principal	Resíduo AR(2)	Resíduos quadráticos
$\bar{x}$	5	5	5
$\overline{MR}$	3	5	8
EWMA	0	0	0

O processo produtivo do Aço DIN20MnCr5, seção quadrada 240mm, apresenta volatilidade. A variabilidade mostrada pelos desvios padrão era observada apenas em dados econômicos. É agora estudada em dados industriais, como nesse caso, na variável peso do distribuidor da máquina de lingotamento contínuo.

O peso da panela influencia no peso do distribuidor. Mesmo a panela possuindo média de carga dentro dos padrões estabelecidos, o líquido dentro do recipiente sempre é o mesmo, e os padrões da carga estão fora do especificado. O problema de não manter o nível de carregamento da panela proporciona a ocorrência de pontos fora de controle quando se avalia essa variável. Como a panela não está com sua carga completa, ocorrem reações químicas entre o metal líquido e o excesso de oxigênio que completa a área livre da panela que não está com a matéria-prima. Outro problema é que, para manter o fluxo da produção, existe a necessidade de cargas adicionais da panela em um mesmo período de tempo, o que ocasiona uma variabilidade extra no sistema produtivo e, conseqüentemente, os efeitos de autocorrelação.

Devido ao pequeno espaçamento entre um período e outro a autocorrelação da panela deve-se ao fato de a escória que fica dentro da panela sofrer a influência da composição química. Como a panela não é cheia o suficiente, o oxigênio entra em contato com a sucata e provoca trincas e bolhas. Outro aspecto diz respeito aos bicos dos *sprays* de resfriamento, dos quais muitos se encontram sem manutenção constante e jogam, por isso, água de forma irregular no tarugo.

#### → Velocidade dos veios 1, 2 e 3 para a CP1 e CP2

No Apêndice F, G e H, encontram-se os gráficos para medidas individuais da variável velocidade dos veios 1, 2 e 3, respectivamente.

### a) CP1 da velocidade dos veios 1, 2 e 3

Apresentam-se a seguir os gráficos de controle  $\bar{x}$ ,  $\overline{MR}$  e EWMA da variável **CP1 da velocidade dos veios 1, 2 e 3** com a aplicação dos testes de sequência.

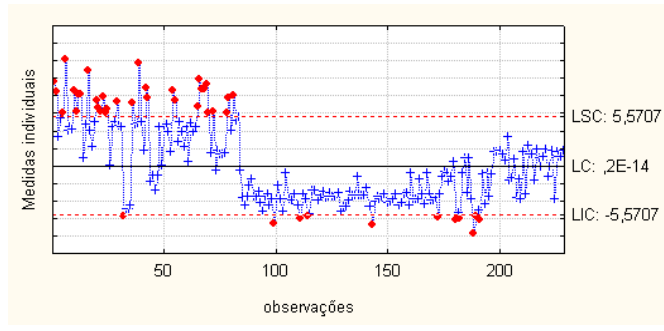


Figura 33 - Gráfico  $\bar{x}$  da CP1 da velocidade dos veios

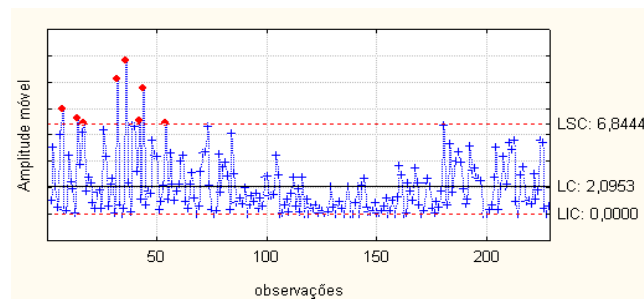


Figura 34 - Gráfico  $\overline{MR}$  da CP1 da velocidade dos veios

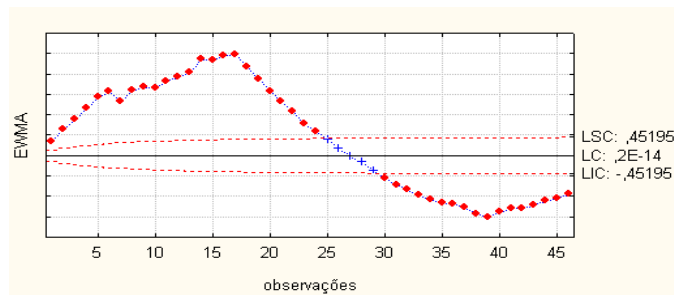


Figura 35 - Gráfico EWMA da CP1 da velocidade dos veios

Analisando-se os resíduos do modelo estimado, traçou-se o gráfico  $\bar{x}$ , apresentado na Figura 33, pelo qual se verifica um conjunto de amostras em que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representados pelas amostras com início nas observações 1, 10, 19, 48, 57, 74, 84, 93, 102, 111, 120, 129, 138, 147, 156, 165 e 187. A cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela, correspondendo às observações com início nas amostras 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 31, 34, 37, 40, 48, 51, 54, 57, 60, 63, 66, 69, 77, 80, 92, 96, 103, 106, 109, 112, 117, 128, 131,



140, 143, 148, 151, 154, 168, 179, 186 e 189. Também **a cada 5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 1, 6, 11, 16, 21, 26, 31, 36, 48, 53, 58, 63, 68, 77, 84, 89, 94, 99, 104, 109, 114, 119, 124, 129, 134, 139, 144, 149, 154, 159, 165, 170 e 185. Verificam-se **8 pontos amostrais em sequência situados fora da zona C**, correspondendo às observações com início nas amostras 1, 15, 27, 62, 90, 105, 113, 121, 137 e 145.

Utilizando-se a CP1, traçou-se o gráfico  $\overline{MR}$ , apresentado na Figura 34, pelo qual se constata que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representados pelas amostras com início nas observações 86, 117 e 145. Também constata-se que **14 pontos amostrais em sequência se alternam para cima e para baixo**, começando na amostra 112. Verifica-se que, **a cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 5, 14, 3, 42, 210 e 223. Além disso, **a cada 5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 13, 121, 146, 183 e 197.

Quanto ao gráfico EWMA, Figura 35, observa-se que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representados pelas amostras com início nas observações 1, 10, 27 e 36. Também há **6 pontos amostrais em sequência com tendência crescente e/ou decrescente**, começando nas amostras 18, 24, 30 e 40. Verifica-se ainda que, **a cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 28, 31, 34, 37, 40 e 43. Observa-se que, **a cada 5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 1, 6, 11, 16, 21, 27, 32, 37 e 42. Também verificam-se **8 pontos amostrais em sequência situados fora da zona C**, correspondendo às observações com início nas amostras 1, 9, 17, 28 e 36.

- **Gráficos de controle dos resíduos do modelo ARIMA(1,1,1) para a CP1 da velocidade dos veios 1, 2 e 3**

Apresentam-se, a seguir, os gráficos de controle  $\bar{x}$ ,  $\overline{MR}$  e EWMA, considerando-se os resíduos do modelo estimado para a **CP1 da velocidade dos veios 1, 2 e 3**, tendo como auxílio na decisão a aplicação dos *runs tests*.

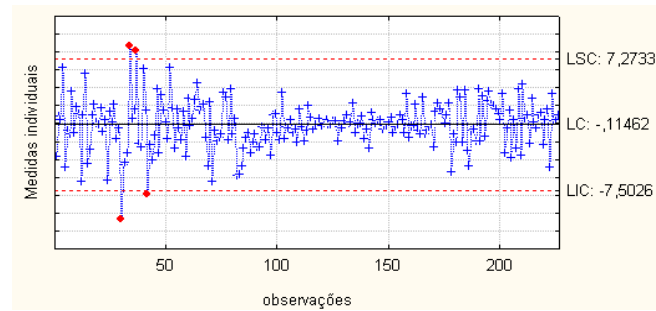


Figura 36 - Gráfico  $\bar{x}$  dos resíduos da CP1 do modelo ARIMA(1,1,1) da velocidade dos veios 1, 2 e 3

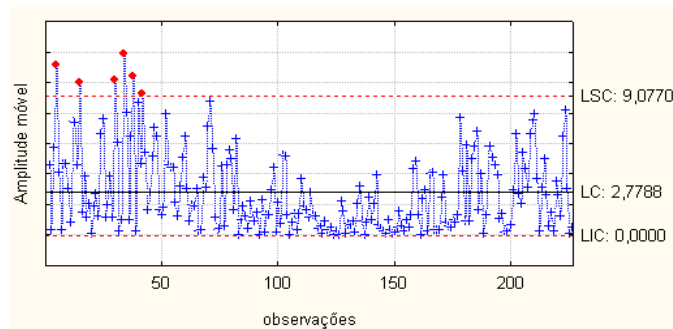


Figura 37 - Gráfico  $MR$  dos resíduos da CP1 do modelo ARIMA(1,1,1) da velocidade dos veios 1, 2 e 3

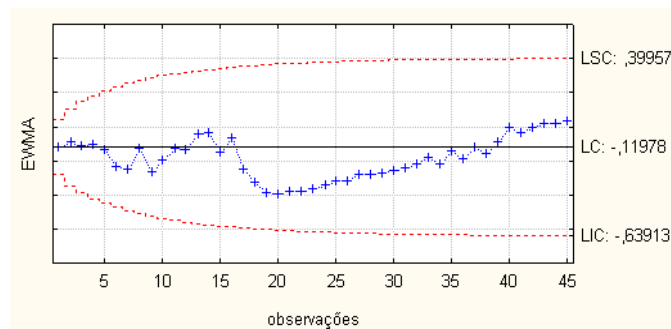


Figura 38 - Gráfico EWMA dos resíduos da CP1 do modelo ARIMA(1,1,1) com  $\lambda = 0,05$  e  $L = 2,50$  da velocidade dos veios 1, 2 e 3

De acordo com os resíduos do modelo ARIMA(1,1,1), traçou-se o gráfico  $\bar{x}$ , mostrado na Figura 36, pelo qual se constata que **9 pontos amostrais em seqüência estão no mesmo lado da linha central**, representados pelas amostras com início na observação 82. Observa-se também que, **a cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, correspondendo à observação com início na amostra 81. Além disso, verifica-se que, **a cada 5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 29 e 81. Verificam-se **15 pontos amostrais em seqüência situados na zona C**, correspondendo às observações com início nas amostras 101, 118 e 142.

Utilizando-se os resíduos do modelo estimado, traçou-se o gráfico  $\overline{MR}$ , apresentado na Figura 37, pelo qual se detecta que **9 pontos amostrais estão em sequência no mesmo lado da linha central**, representados pelas amostras com início nas observações 83, 115, 124 e 143. Observa-se que, **a cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 11, 33, 38, 69 e 208. Além disso, verifica-se que, **a cada 5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início na amostra 34, 117, 122, 144, 149 e 181.

Na Figura 38, o gráfico EWMA não apresenta pontos fora dos limites de controle, observa-se, assim, que o processo é pouco afetado por pequenas variações.

Pela análise, percebe-se que, após o ajuste dos dados por meio da ACP e da modelagem ARIMA, a qual foi capaz de captar as variações que havia na série velocidade dos veios 1, 2 e 3 para a primeira componente, com a utilização dos resíduos e eliminando o efeito da autocorrelação, a estabilidade do processo tornou-se evidente.

- **Gráficos de controle dos resíduos do modelo ARIMA(1,1,1)-GARCH(1,1) para a CP1 da velocidade dos veios 1, 2 e 3**

Apresentam-se, a seguir, os gráficos de controle  $\bar{x}$ ,  $\overline{MR}$  e EWMA, considerando-se os resíduos do modelo estimado para a variável **CP1 da velocidade dos veios 1, 2 e 3**, tendo como auxílio na decisão a aplicação dos *runs tests*.

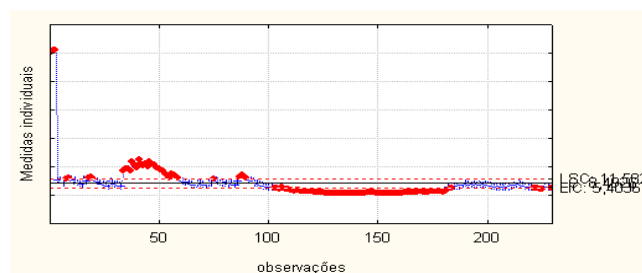


Figura 39 - Gráfico  $\bar{x}$  dos resíduos quadráticos da CP1 do modelo ARIMA(1,1,1)-GARCH(1,1) da velocidade dos veios 1, 2 e 3

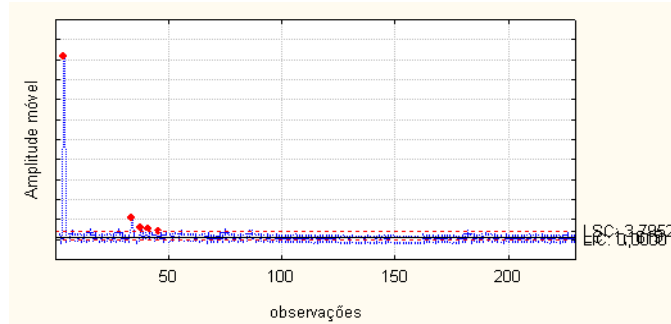


Figura 40 - Gráfico *MR* dos resíduos quadráticos da CP1 do modelo ARIMA(1,1,1)-GARCH(1,1) velocidade dos veios 1, 2 e 3

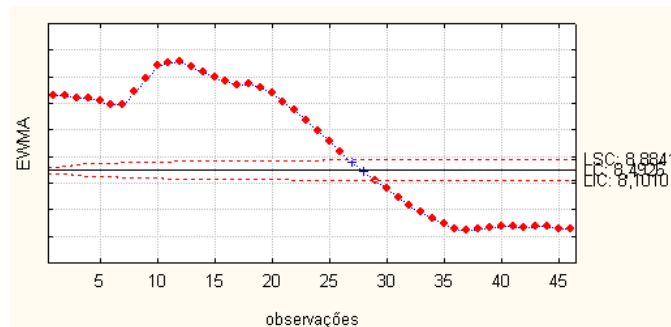


Figura 41 - Gráfico EWMA dos resíduos quadráticos da CP1 do modelo ARIMA(1,1,1)-GARCH(1,1) com  $\lambda = 0,05$  e  $L = 2,50$  da velocidade dos veios 1, 2 e 3

De acordo com os resíduos do modelo ARIMA(1,1,1)-GARCH(1,1), traçou-se o gráfico  $\bar{x}$ , mostrado na Figura 39, pelo qual se constata que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representados pelas amostras com início nas observações 1, 34, 43, 52, 86, 95, 104, 113, 122, 131, 140, 158, 167, 176, 176, 191, 200, 209 e 218. Observa-se também que há **6 pontos amostrais em sequência, com tendência crescente e/ou decrescente**, começando nas amostras 20, 47, 57, 89, 95, 107, 119, 125 e 146. Verifica-se que, **a cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 1, 7, 16, 19, 33, 36, 39, 42, 45, 48, 51, 54, 57, 74, 86, 89, 98, 101, 104, 107, 110, 113, 116, 119, 122, 125, 128, 131, 134, 137, 140, 143, 146, 149, 152, 155, 158, 161, 164, 167, 170, 173, 176, 179, 182, 185, 202, 205, 208, 218, 221, 224 e 227. Detecta-se que, **a cada 5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 1, 7, 15, 33, 38, 43, 48, 53, 58, 85, 90, 96, 101, 106, 111, 116, 121, 126, 131, 136, 141, 146, 151, 156, 161, 166, 171, 176, 181, 186, 200, 205, 210, 215, 220 e 225. Além disso, verificam-se **8 pontos amostrais em sequência situados fora da zona C**, correspondendo às observações com início nas amostras 32, 40, 48, 85, 97, 105, 113, 121, 129, 137, 145, 153, 161, 169, 177, 201 e 216.

Utilizando-se os resíduos do modelo estimado, traçou-se o gráfico  $\overline{MR}$ , apresentado na Figura 40, pelo qual se detecta que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representados pelas amostras com início na observação 38, 76, 92, 101, 110, 119, 128, 137, 146, 155, 164, 173, 191, 200 e 209. Verifica-se que, **a cada 5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 38, 110, 115, 120, 125, 130, 135, 140, 145, 150, 155, 160, 167 e 175. Observa-se que há **8 pontos amostrais em sequência situados fora da zona C**, correspondendo às observações com início nas amostras 116, 146 e 154.

Com relação ao gráfico EWMA, Figura 41, observa-se que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representados pelas amostras com início nas observações 1, 10, 19, 8 e 37. Também há **6 pontos amostrais em sequência com tendência crescente e/ou decrescente**, começando nas amostras 7, 19, 25 e 31 e que, **a cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 31, 34, 37, 40 e 43. Observa-se que, **a cada 5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 1, 6, 11, 16, 21, 28, 33 e 38. Também verificam-se **8 pontos amostrais em sequência situados fora da zona C**, correspondendo às observações com início nas amostras 1, 9, 17, 29 e 37.

Na Figura 41, o gráfico EWMA apresenta vários pontos fora dos limites de controle. Observa-se assim, que o processo não é muito afetado por pequenas variações.

Pela análise, percebe-se que, após o ajuste dos dados por meio da ACP e da modelagem ARIMA, a qual foi capaz de captar as variações que havia na série, utilizando os resíduos e eliminando o efeito da autocorrelação, a estabilidade do processo tornou-se evidente. Porém, com o ajuste do modelo misto ARIMA-GARCH, o processo tornou-se bastante estável, com muitos pontos amostrais fora dos limites de controle.

### **Comentários gerais da CP1 da velocidade dos veios 1, 2 e 3**

Com relação aos resultados obtidos após a aplicação dos gráficos de controle, apresentam-se as seguintes considerações sobre a variável **CP1 da velocidade dos veios 1, 2 e 3** na Tabela 27.

Tabela 27 - Pontos amostrais fora dos limites de controle para a CP1 da variável velocidade dos veios 1, 2 e 3

Gráficos	Pontos amostrais fora dos limites de controle		
	Componente Principal	Resíduo AR(2)	Resíduos quadráticos
$\bar{x}$	40	4	+ de 50
$\overline{MR}$	8	6	5
EWMA	41	0	44

### b) CP2 da velocidade dos veios 1, 2 e 3

Apresentam-se, a seguir, os gráficos de controle  $\bar{x}$ ,  $\overline{MR}$  e EWMA da variável CP2 da velocidade dos veios 1, 2 e 3 com a aplicação dos testes de sequência.

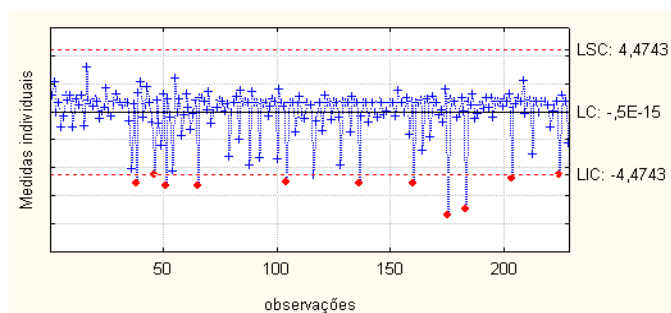
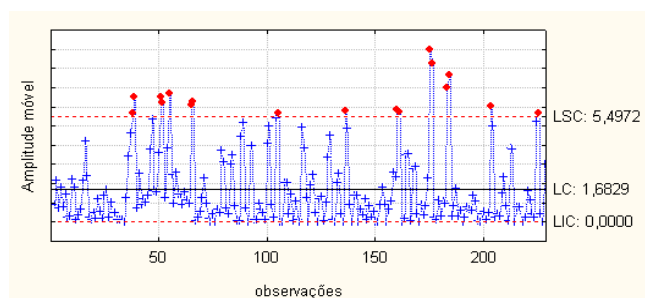
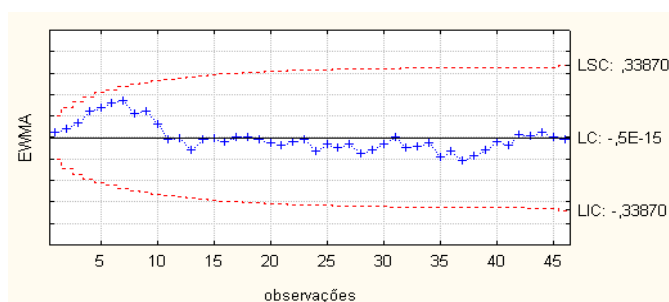
Figura 42 - Gráfico  $\bar{x}$  da CP2 da velocidade dos veios 1, 2 e 3Figura 43 - Gráfico  $\overline{MR}$  da CP2 da velocidade dos veios 1, 2 e 3

Figura 44 - Gráfico EWMA da CP2 da velocidade dos veios 1, 2 e 3

De acordo com os valores da **CP2 da série velocidade dos veios 1, 2 e 3**, traçou-se o gráfico  $\bar{x}$ , mostrado na Figura 42, pelo qual se detecta que, **a cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, correspondendo às observações com início na amostra 36. Além disso, verificam-se **15 pontos amostrais em sequência situados na zona C**, correspondendo às observações com início nas amostras 137 e 184.

Traçando-se o gráfico  $\overline{MR}$ , apresentado na Figura 43, pelo qual se constata que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representados pelo conjunto de amostras com início nas observações 27, 138, 188 e 214. Detecta-se que existem **6 pontos amostrais em sequência com tendência crescente e/ou decrescente**, começando na amostra 29. Observa-se também que, **a cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 36, 50, 64, 87, 103, 135, 159, 174, 182, 202 e 223. Verifica-se também que, **a cada 5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 30, 35 e 50.

Quanto ao gráfico EWMA, Figura 44, verifica-se que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representados pelo conjunto de amostras com início nas observações 1, 19 e 32. Observam-se **6 pontos amostrais em sequência com tendência crescente e/ou decrescente**, começando na amostra 2. Observa-se também que, **a cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, correspondendo às observações com início na amostra 4. Verifica-se também que, **a cada 5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início na amostra 2. Além disso, há **15 pontos amostrais em sequência situados na zona C**, correspondendo às observações com início na amostra 10 e 25.

- **Gráficos de controle dos resíduos do modelo AR(1) para a CP2 da velocidade dos veios 1, 2 e 3**

Apresentam-se, a seguir, os gráficos de controle  $\bar{x}$ ,  $\overline{MR}$  e EWMA, considerando os resíduos do modelo estimado para a variável **CP2 da velocidade dos veios 1, 2 e 3**, tendo como auxílio na decisão a aplicação dos *runs tests*.

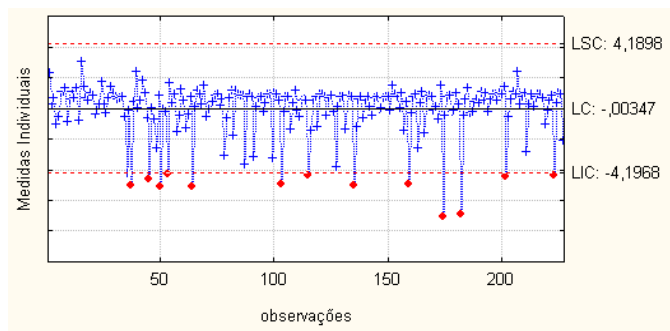


Figura 45 - Gráfico  $\bar{x}$  dos resíduos da CP2 do modelo AR(1) da velocidade dos veios 1, 2 e 3

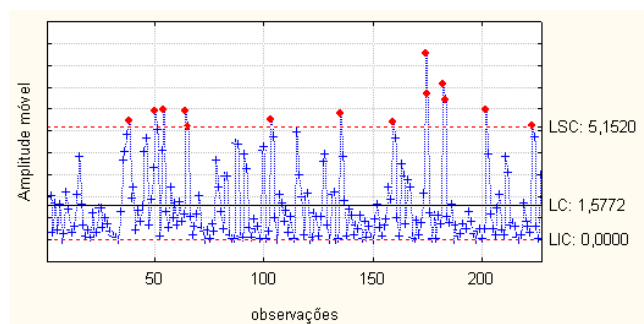


Figura 46 - Gráfico  $\overline{MR}$  dos resíduos da CP2 do modelo AR(1) da velocidade dos veios 1, 2 e 3

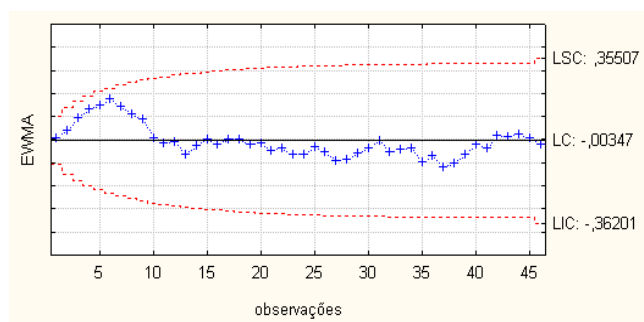


Figura 47 - Gráfico EWMA dos resíduos do modelo AR(1) para a CP2 da variável velocidade dos veios 1, 2 e 3 com  $\lambda = 0,05$  e  $L = 2,50$  da velocidade dos veios 1, 2 e 3

De acordo com os resíduos do modelo AR(1), traçou-se o gráfico  $\bar{x}$ , mostrado na Figura 45, pelo qual se constata que, **a cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, correspondendo às observações com início na amostra 35. Além disso, verifica-se que há **15 pontos amostrais em sequência situados na zona C**, correspondendo às observações com início nas amostras 136 e 183.

Utilizando-se os resíduos do modelo estimado, traçou-se o gráfico  $\overline{MR}$ , apresentado na Figura 46, pelo qual se detecta que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representados pelas amostras com início nas observações 17, 26, 138 e 187. Observam-se **6 pontos amostrais em sequência com tendência crescente e/ou decrescente**, começando na amostra 28. Verifica-se que, **a cada 3 pontos amostrais**



**traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 35, 44, 49, 52, 63, 86, 98, 102, 158, 173, 181 e 222. Além disso, verifica-se que **a cada 5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 29, 34 e 49. Além disso, verificam-se **8 pontos amostrais em sequência situados fora da zona C**, correspondendo às observações com início na amostra 82.

Na Figura 47, o gráfico EWMA não apresenta pontos fora dos limites de controle, observando-se, assim, que o processo é pouco afetado por pequenas variações.

### Comentários gerais da CP2 da velocidade dos veios

Na segunda componente principal da variável velocidade dos veios 1, 2 e 3, foi necessária antes do monitoramento pelos GC, a remoção da autocorrelação serial obtida pela estimação do modelo AR(1).

Com relação aos resultados obtidos após a aplicação dos gráficos de controle, apresentam-se as seguintes considerações sobre a variável CP2 da velocidade dos veios 1, 2 e 3 na Tabela 28.

Tabela 28 - Pontos amostrais fora dos limites de controle para a CP2 da variável velocidade dos veios 1, 2 e 3

Gráficos	Pontos amostrais fora dos limites de controle	
	Componente Principal	Resíduo AR(2)
$\bar{x}$	11	13
$\overline{MR}$	17	14
EWMA	0	0

#### → Temperatura liquidus

No Apêndice I, encontra-se o gráfico para a estabilidade do processo na variável original.

Como os resíduos do modelo ARI(1,1) formam um processo de RB, os mesmos serão usados para a construção dos gráficos de controle  $\bar{x}$ ,  $\overline{MR}$  e EWMA, conforme mostram as Figuras 48, 49 e 50, tendo como auxílio na decisão a aplicação dos *runs tests*.

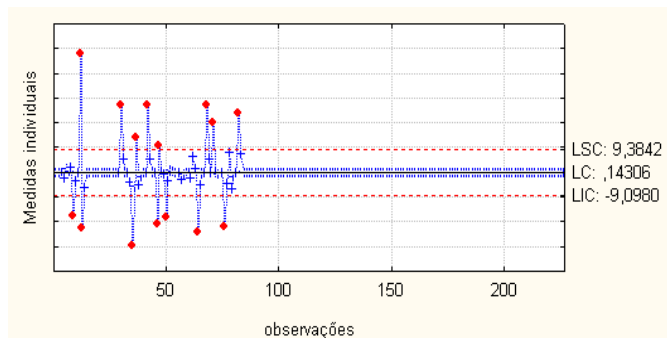


Figura 48 - Gráfico  $\bar{x}$  para os resíduos do modelo ARI(1,1) da temperatura liquidus

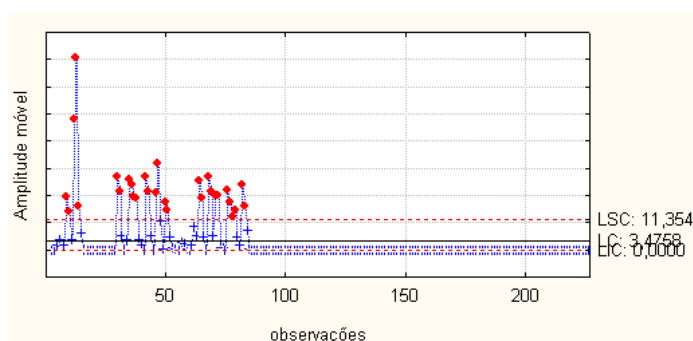


Figura 49 - Gráfico  $\overline{MR}$  para os resíduos do modelo ARI(1,1) temperatura liquidus

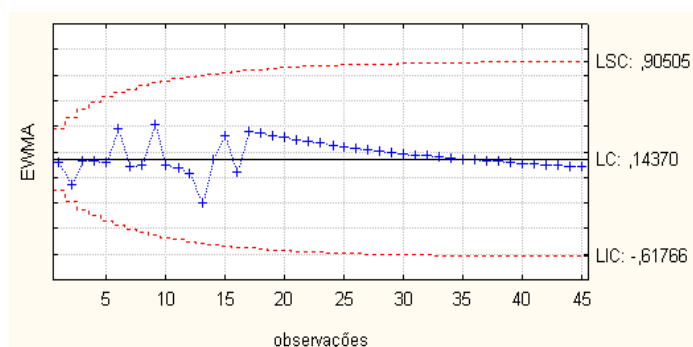


Figura 50 - Gráfico EWMA para os resíduos do modelo ARI(1,1) com  $\lambda = 0,05$  e  $L = 2,50$  temperatura liquidus

Pelas Figuras 48, 49 e 50, é possível perceber que, após a modelagem ARIMA, os gráficos dos resíduos revelam que existe um menor número de pontos fora de controle, enquanto que o gráfico da série original, especialmente o da média individual, apresenta muitos pontos fora de controle antes do tratamento dos dados.

De acordo com os resíduos do modelo estimado, traçou-se o gráfico  $\bar{x}$ , mostrado na Figura 48, pelo qual se observa que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central** representados pelo conjunto de amostras iniciadas nas observações 13, 85, 94, 103, 112, 121, 130, 139, 148, 157, 166, 175, 184, 193, 202 e 211. Observa-se que, **a cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 12 e 81. Observa-se também que, a

cada **5 pontos amostrais traçados, 4 estão na zona B ou fora dela**, os quais são representados pelo conjunto de amostras iniciadas na observação 34. Também **15 pontos amostrais em sequência estão situados na zona C**, iniciando-se nas observações 15, 84, 99, 114, 129, 144, 159, 174, 189 e 204.

Para o gráfico  $\overline{MR}$ , apresentado na Figura 49, constata-se que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central** representados pelo conjunto de amostras iniciadas nas observações 16, 53, 85, 94, 103, 112, 121, 130, 139, 148, 157, 166, 175, 184, 193, 202 e 211. Existem também **6 pontos amostrais em sequência com tendência crescente e/ou decrescente**, que correspondem às observações com início na amostra 36. Observa-se que, **a cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram na Zona A ou fora dela**, representados pelo conjunto de amostras iniciadas nas observações 8, 11, 29, 34, 37, 41, 45, 48, 63, 67, 70, 75, 78 e 81. Constata-se que, **a cada 5 pontos amostrais traçados, 4 estão na zona B ou fora dela**, as quais são representadas pelo conjunto de amostras iniciado nas observações 9, 15, 20, 25, 34, 46, 52, 68, 75, 84, 89, 94, 99, 104, 109, 114, 119, 124, 129, 134, 139, 144, 149, 154, 159, 164, 169, 174, 179, 184, 189, 194, 199, 204, 209, 214 e 219. Além disso, observam-se **8 pontos amostrais em sequência situados fora da zona C**, correspondendo às observações com início em 12, 20, 71, 82, 90, 98, 106, 114, 122, 130, 138, 146, 154, 162, 170, 178, 186, 194, 202, 210 e 218.

Observando-se o gráfico EWMA na Figura 50, não existem pontos fora dos limites de controle. Mostra-se, pois, que o processo não é afetado por pequenas variações, e que a variável temperatura liquidus apresenta um comportamento estável.

### Comentários gerais da temperatura liquidus

Analisando-se os gráficos de controle, com a aplicação dos gráficos de controle  $\bar{x}$  nos dados originais e nos resíduos do modelo, apresentam-se as seguintes considerações:

- Nos dados originais da variável temperatura liquidus, o gráfico  $\bar{x}$  apresentou mais de 50 pontos amostrais fora dos limites de controle.
- Nos resíduos do modelo ARI(1,1), após a modelagem, o gráfico  $\bar{x}$  apresentou 15 pontos amostrais fora dos limites de controle.

→ **CP1 e CP2 da variável composição química**

No Apêndice J, encontra-se a análise da estabilidade do processo para a variável original composição química.

a) **CP1 da variável composição química**

Apresentam-se, a seguir, os gráficos de controle  $\bar{x}$ ,  $\overline{MR}$  e EWMA da variável **CP1 da composição química** com a aplicação dos testes de sequência.

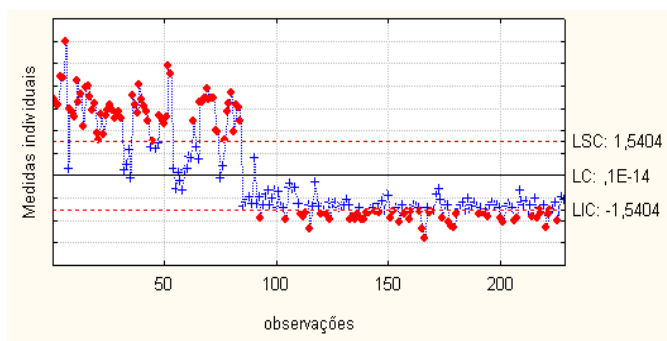


Figura 51 - Gráfico  $\bar{x}$  da CP1 da composição química

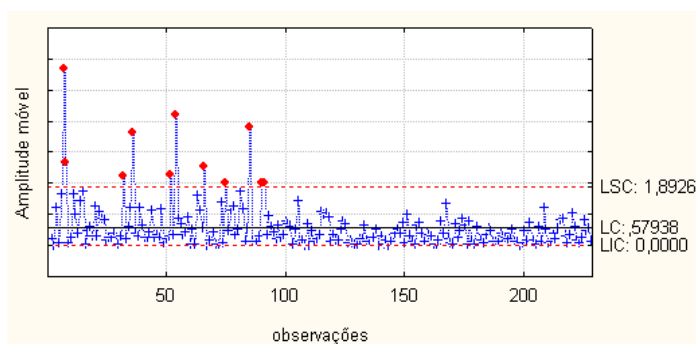


Figura 52 - Gráfico  $\overline{MR}$  da CP1 da composição química

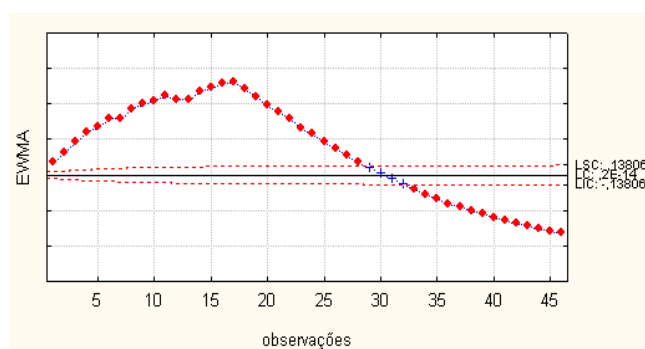


Figura 53 - Gráfico EWMA da CP1 da composição química

De acordo com os valores da CP1 da composição química, traçou-se o gráfico  $\bar{x}$ , mostrado na Figura 51, pelo qual se detecta que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representados pelo conjunto de amostras com início nas observações 1, 10, 19, 36, 45, 59, 76, 91, 100, 109, 118, 127, 136, 145, 154, 163, 172, 181, 190, 199, 208 e 217. Observa-se também que, **a cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 34, 37, 40, 43, 46, 49, 52, 62, 65, 68, 71, 76, 79, 82, 85, 89, 92, 100, 103, 198, 111, 114, 117, 120, 123, 126, 129, 132, 135, 138, 141, 144, 147, 150, 153, 156, 159, 162, 165, 168, 172, 175, 178, 181, 184, 187, 190, 193, 196, 199, 202, 205, 208, 211, 214, 217, 220, 223 e 226. Verifica-se que, **a cada 5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 1, 6, 11, 16, 21, 26, 33, 38, 43, 48, 60, 65, 70, 76, 81, 86, 91, 96, 101, 106, 111, 116, 121, 126, 131, 136, 141, 146, 151, 156, 161, 166, 171, 176, 181, 186, 191, 196, 201, 206, 211, 216 e 221. E verificam-se **8 pontos amostrais em sequência situados fora da zona C**, correspondendo às observações com início nas amostras 8, 16, 24, 36, 44, 61, 77, 85, 93, 107 e 118, 126, 134, 142, 150, 158, 166, 174, 182, 190, 198, 206 e 214.

Com relação ao gráfico  $\overline{MR}$ , mostrado na Figura 52, detecta-se que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representados pelo conjunto de amostras com início nas observações 134, 181 e 190. Observa-se também que, **a cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 5, 52 e 89. Também que, **a cada 5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 4, 126 e 195.

Com relação ao gráfico EWMA, mostrado na Figura 53, detecta-se que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representados pelo conjunto de amostras com início nas observações 1, 10, 19 e 31. Verificam-se **6 pontos amostrais em sequência com tendência crescente e/ou decrescente**, começando nas amostras 2, 18, 24, 30 e 36. Observa-se também que, **a cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 31, 34, 37, 40 e 43. Verifica-se que, **a cada 5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 1, 6, 11, 16, 21, 26, 31, 36 e 41.

Verificam-se **8 pontos amostrais em sequência situados fora da zona C**, correspondendo às observações com início nas amostras 1, 9, 17, 31 e 39.

- **Gráficos de controle dos resíduos do modelo ARI(1,1) da CP1 da composição química**

Apresentam-se, a seguir, os gráficos de controle  $\bar{x}$ ,  $\overline{MR}$  e EWMA, considerando-se os resíduos do modelo estimado para a CP1 da composição química, tendo como auxílio na decisão a aplicação dos *runs tests*.

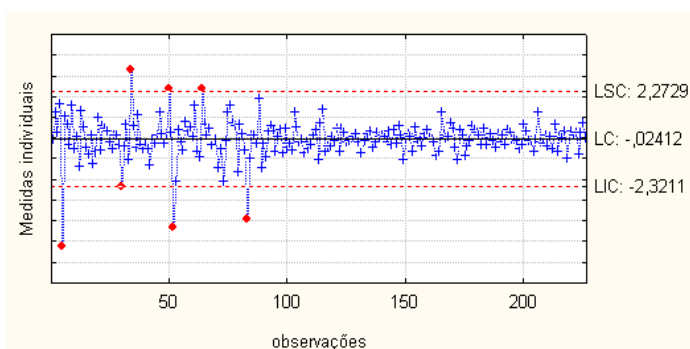


Figura 54 - Gráfico  $\bar{x}$  dos resíduos da CP1 do modelo ARI(1,1) da composição química

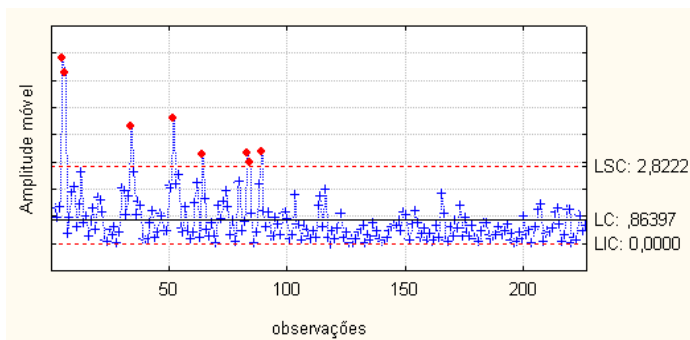


Figura 55 - Gráfico  $\overline{MR}$  dos resíduos da CP1 do modelo ARI(1,1) da composição química

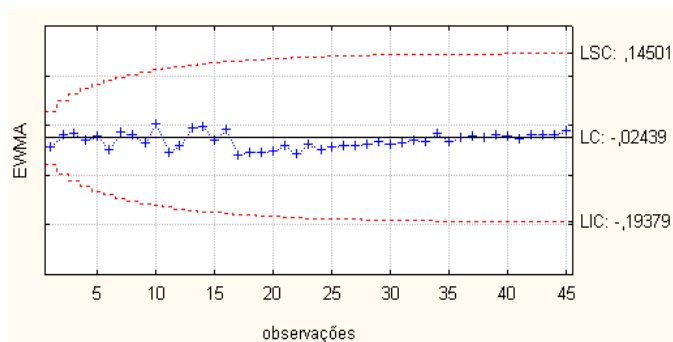


Figura 56 - Gráfico EWMA dos resíduos da CP1 do modelo ARI(1,1) com  $\lambda = 0,05$  e  $L = 2,50$  da composição química

De acordo com os resíduos do modelo ARI(1,1), traçou-se o gráfico  $\bar{x}$ , mostrado na Figura 54, pelo qual se observa que, **a cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, correspondendo às observações com início na amostra 51. Além disso, verifica-se que **15 pontos amostrais traçados estão localizados na zona C**, correspondendo às observações com início nas amostras 116, 131, 176 e 191.

Utilizando-se os resíduos do modelo estimado, traçou-se o gráfico  $\overline{MR}$ , apresentado na Figura 55, pelo qual se detecta que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representados pelas amostras com início nas observações 30, 104, 124, 133, 155, 176 e 185. Observa-se também que, **a cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 4, 33, 51, 62, 78, 82 e 87. Além disso, verifica-se que, **a cada 5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 30, 49, 61 e 125.

Na Figura 56, o gráfico EWMA não apresenta pontos amostrais fora dos limites de controle. Observa-se assim, que o processo é pouco afetado por pequenas variações.

- **Gráficos de controle dos resíduos do modelo ARI(1,1)-ARCH(1) da CP1 da composição química**

Apresentam-se, a seguir, os gráficos de controle  $\bar{x}$ ,  $\overline{MR}$  e EWMA considerando os resíduos do modelo estimado para a CP1 da composição química, aplicando-se os *runs tests*.

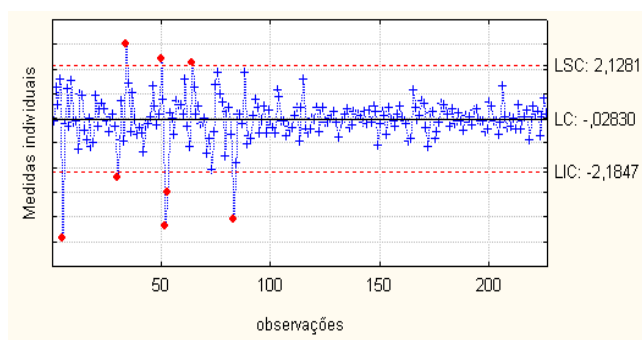


Figura 57 - Gráfico  $\bar{x}$  dos resíduos quadráticos da CP1 do modelo ARI(1,1)-ARCH(1) da composição química

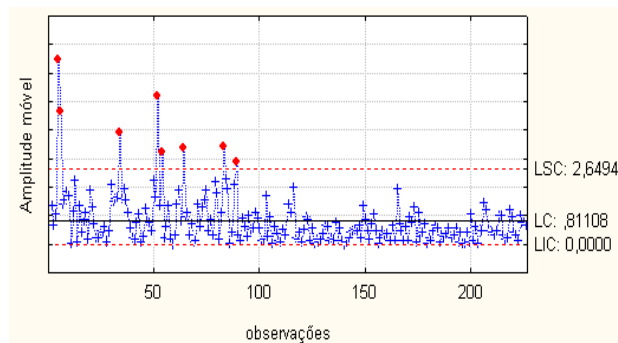


Figura 58 - Gráfico  $\overline{MR}$  dos resíduos quadráticos da CP1 do modelo ARI(1,1)-ARCH(1) da composição química

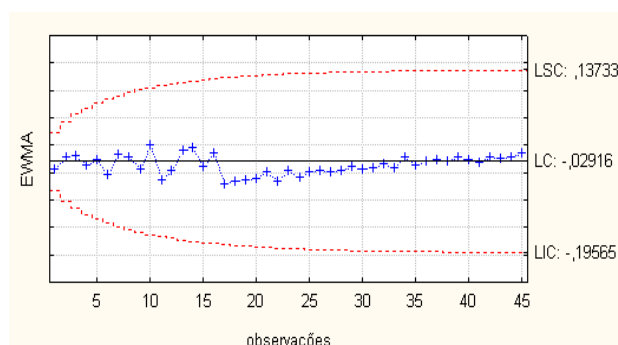


Figura 59 - Gráfico EWMA dos resíduos quadráticos da CP1 do modelo ARI(1,1)-ARCH(1) com  $\lambda = 0,05$  e  $L = 2,50$  da composição química

De acordo com os resíduos do modelo ARI(1,1)-ARCH(1), traçou-se o gráfico  $\bar{x}$ , mostrado na Figura 57, pelo qual se constata que, **a cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, com início nas observações 33, 51 e 82. Verifica-se que, **a cada 5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início na amostra 74. Também constata-se que **15 pontos amostrais estão localizados na zona C**, com início nas observações 116, 176 e 191.

Utilizando-se os resíduos do modelo estimado, traçou-se o gráfico  $\overline{MR}$ , apresentado na Figura 58, pelo qual se detecta que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representados pelas amostras com início nas observações 30, 124, 133, 155, 176 e 185. Constata-se que, **a cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, com início nas observações 4, 50, 82 e 87. Verifica-se que, **a cada 5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 5, 2, 34, 50 e 137. Observa-se que há **8 pontos amostrais em sequência situados fora da zona C**, correspondendo às observações com início na amostra 30.



Na Figura 59, o gráfico EWMA não apresenta pontos fora dos limites de controle. Observa-se, assim, que o processo é pouco afetado por pequenas variações.

Pela análise, percebe-se que, após o ajuste dos dados por meio da ACP e da modelagem ARIMA, a qual foi capaz de captar as variações que havia na série, utilizando-se os resíduos e eliminando o efeito da autocorrelação, a estabilidade do processo tornou-se evidente. Com o ajuste do modelo misto ARIMA-ARCH, o processo continua com alguns pontos fora dos limites de controle.

### Comentários gerais da CP1 da composição química

A variável composição química apresentou duas CP's. E constatou-se a necessidade do tratamento desses dados a fim de remover a autocorrelação serial da CP1 antes do seu monitoramento. Estimou-se um modelo ARI(1,1) para a CP1 onde, com seus resíduos livres de autocorrelação, são construídos os gráficos de controle  $\bar{x}$ ,  $\overline{MR}$  e EWMA.

Com relação aos resultados obtidos após a aplicação dos gráficos de controle  $\bar{x}$ ,  $\overline{MR}$  e EWMA, apresentam-se na Tabela 29 as seguintes considerações sobre a variável CP1 da composição química:

Tabela 29 - Pontos amostrais fora dos limites de controle para a CP1 da variável composição química

Gráficos	Pontos amostrais fora dos limites de controle		
	Componente Principal	Resíduo AR(2)	Resíduos quadráticos
$\bar{x}$	+ de 50	7	8
$\overline{MR}$	10	8	8
EWMA	42	0	0

### b) CP2 da variável composição química

Apresentam-se, a seguir, os gráficos de controle  $\bar{x}$ ,  $\overline{MR}$  e EWMA da variável **CP2 da composição química** com a aplicação dos testes de sequência.

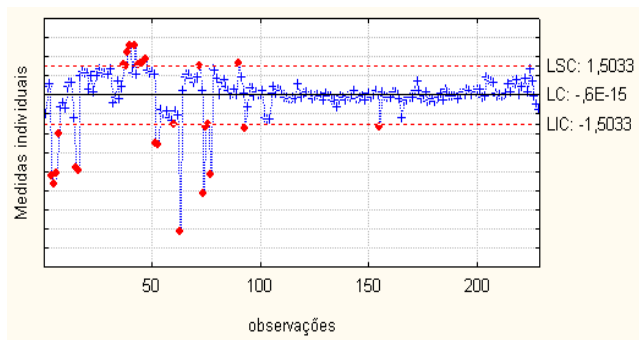


Figura 60 - Gráfico  $\bar{x}$  da CP2 da composição química

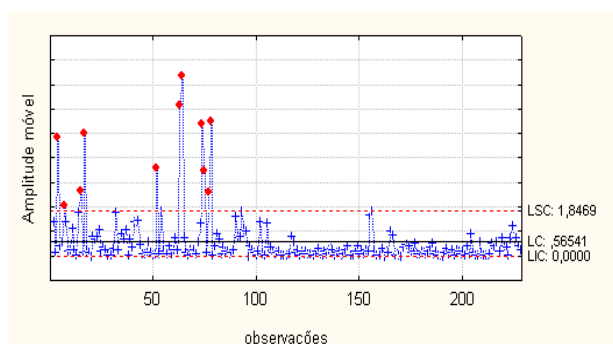


Figura 61 - Gráfico  $MR$  da CP2 da composição química

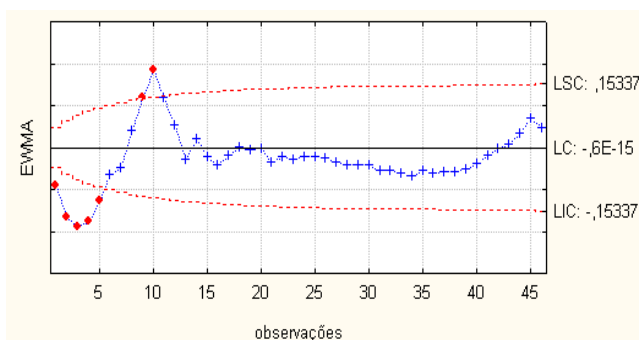


Figura 62 - Gráfico EWMA da CP2 da composição química

De acordo com a CP2 da série composição química, traçou-se o gráfico  $\bar{x}$ , mostrado na Figura 60, pelo qual se detecta **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representados pelo conjunto de amostras com início nas observações 17, 36, 52, 64, 131, 192 e 213. Observa-se também que, **a cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 3, 6, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 36, 39, 42, 45, 48, 51, 57, 60, 65, 73, 76 e 101. **A cada 5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 3, 16, 22, 27, 36, 41, 46, 51, 56, 64, 69, 74, 79, 203, 214 e 221. Além disso, verificam-se **15 pontos amostrais em sequência situados na zona C**, correspondendo às observações com início nas amostras 118, 136, 173 e

188. Também verificam-se **8 pontos amostrais em sequência situados fora da zona C**, correspondendo às observações com início nas amostras 12, 24, 37, 45, 53 e 65.

Ao traçar o gráfico  $\overline{MR}$ , Figura 61, constata-se que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representados pelo conjunto de amostras com início nas observações 106, 118, 127, 136, 145, 167, 176, 185, 194 e 209. Observa-se também que, **a cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 13, 41, 52, 62, 73, 76 e 154. Além disso, verifica-se que, **a cada 5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 73, 111, 123, 158, 166, 186, 203 e 208.

Pelo gráfico EWMA, Figura 62, percebe-se que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representados pelo conjunto de amostras com início nas observações 20 e 32. Além disso, verificam-se **14 pontos amostrais em sequência, alternando-se para cima e para baixo**, começando na amostra 26. Observa-se, também, que, **a cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 1, 11, 14, 23, 26, 30 e 38. Verifica-se também que, **a cada 5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 1, 20, 25, 32 e 37. Além disso, verificam-se **8 pontos amostrais em sequência situados fora da zona C**, correspondendo às observações com início nas amostras 10 e 22.

- **Gráficos de controle dos resíduos do modelo AR(1) da CP2 da composição química**

Apresentam-se, a seguir, os gráficos de controle  $\bar{x}$ ,  $\overline{MR}$  e EWMA, considerando-se os resíduos do modelo estimado para a variável CP2 da composição química, tendo como auxílio na decisão a aplicação dos *runs tests*.

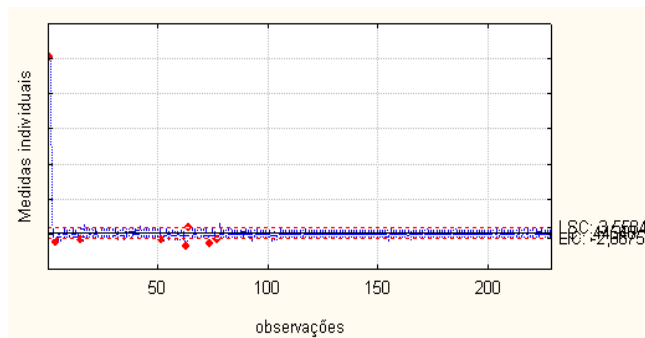


Figura 63 - Gráfico  $\bar{x}$  dos resíduos da CP2 do modelo AR(1) da composição química

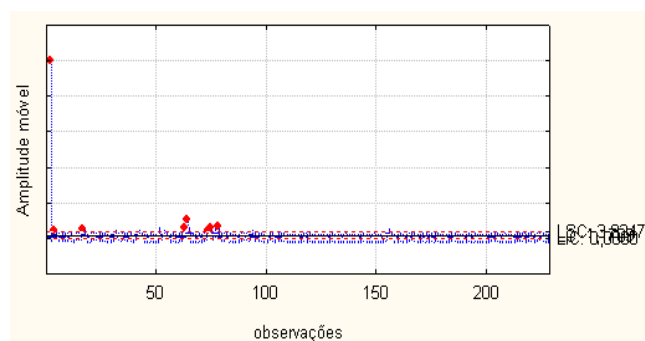


Figura 64 - Gráfico  $\overline{MR}$  dos resíduos da CP2 do modelo AR(1) da composição química

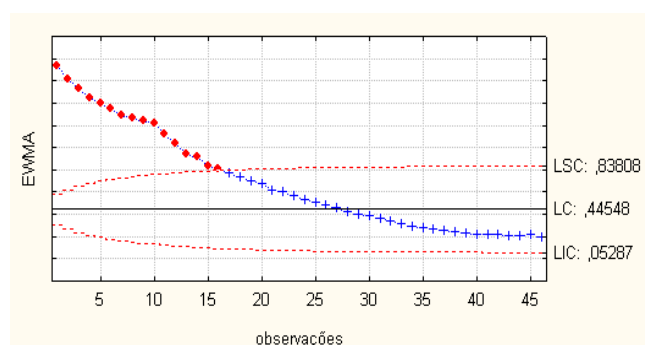


Figura 65 - Gráfico EWMA dos resíduos da CP2 do modelo AR(1) com  $\lambda = 0,05$  e  $L = 2,50$  da composição química

De acordo com os resíduos do modelo AR(1), traçou-se o gráfico  $\bar{x}$ , mostrado na Figura 63, pelo qual se observa que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representados pelas amostras com início nas observações 55, 96, 106, 118, 127, 136, 145, 157, 173, 182, 191 e 205. Detecta-se que, **a cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 3 e 14. Também verifica-se que, **a cada 5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 58 e 73. Além disso, verifica-se que **15 pontos amostrais traçados estão localizados na zona C**, correspondendo às observações com início nas amostras 104, 119, 134, 166, 181 196 e 211.

Utilizando-se os resíduos do modelo estimado, traçou-se o gráfico  $\overline{MR}$ , apresentado na Figura 64, pelo qual se detecta que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representados pelas amostras com início nas observações 106, 115, 124, 133, 142, 157, 167, 176, 185, 194, 203 e 212. Existem **6 pontos amostrais em sequência com tendência crescente e/ou decrescente** e que correspondem às observações com início na amostra 25. Observa-se também que, **a cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 2, 62 e 73. Além disso, verifica-se que, **a cada 5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 45, 56, 65, 74, 83, 108, 113, 119, 124, 129, 134, 139, 144, 158, 178 186, 193 e 206. Observam-se também **8 pontos amostrais em sequência situados fora da zona C**, correspondendo às observações com início nas amostras 109 e 121.

Na Figura 65, o gráfico EWMA apresenta **9 pontos amostrais em sequência no mesmo lado da linha central**, representados pelas amostras com início nas observações 1, 10, 19, 28 e 37. Existem **6 pontos amostrais em sequência com tendência crescente e/ou decrescente** que correspondem às observações com início nas amostras 2, 8, 14, 20, 26, 32 e 38. Observa-se também que, **a cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 1, 4, 7, 10, 13 e 16. Além disso, verifica-se que, **a cada 5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 1, 6, 11, 16, 33 e 38. Observam-se **8 pontos amostrais em sequência situados fora da zona C** que correspondem às observações com início nas amostras 1, 9 e 34.

- **Gráficos de controle dos resíduos do modelo AR(1)-GARCH(1,1) da CP2 da composição química**

Apresentam-se, a seguir, os gráficos de controle  $\bar{x}$ ,  $\overline{MR}$  e EWMA, considerando-se os resíduos quadráticos do modelo estimado para a variável CP2 da composição química, tendo como auxílio na decisão a aplicação dos *runs tests*.

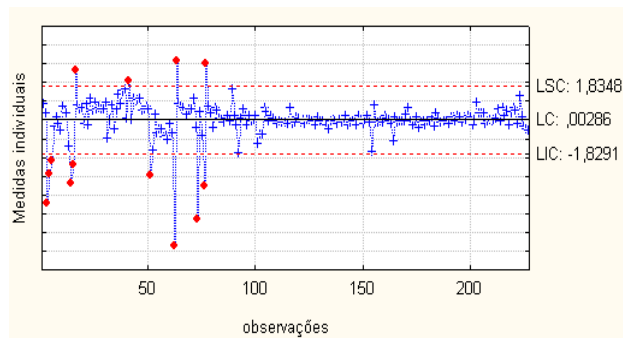


Figura 66 - Gráfico  $\bar{x}$  dos resíduos quadráticos da CP2 do modelo AR(1)-GARCH(1,1) da composição química

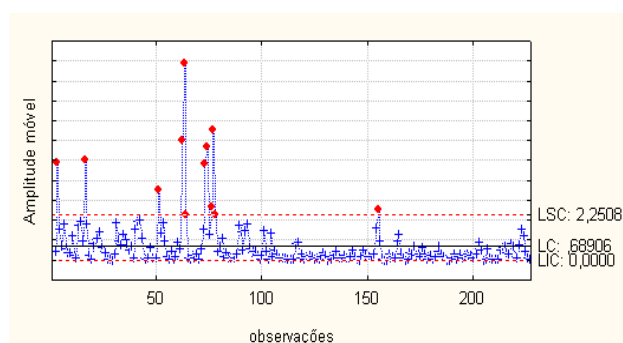


Figura 67- Gráfico  $\overline{MR}$  dos resíduos quadráticos da CP2 do modelo AR(1)-GARCH(1,1) da composição química

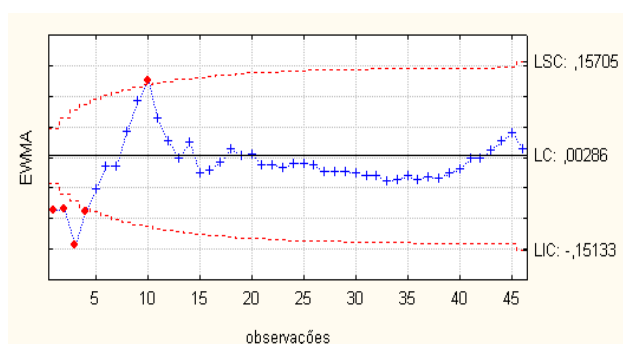


Figura 68 - Gráfico EWMA resíduos quadráticos da CP2 do modelo AR(1)-GARCH(1,1) com  $\lambda = 0,05$  e  $L = 2,50$  da composição química

De acordo com os resíduos do modelo AR(1)-GARCH(1,1), traçou-se o gráfico  $\bar{x}$  mostrado na Figura 66, pelo qual se detecta que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representados pelas amostras com início nas observações 35, 54 e 63. Constata-se que, **a cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, com início nas observações 2, 12, 36, 39 e 50. Verificam-se que **a cada 5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 15, 25, 35, 41, 57 e 62. Também constata-se que **15 pontos amostrais estão localizados na zona C**, com início nas observações 117, 132, 172 e 187.

Utilizando-se os resíduos do modelo estimado, traçou-se o gráfico  $\overline{MR}$ , apresentado na Figura 67, pelo qual se detecta que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representados pelas amostras com início nas observações 105, 118, 127, 136, 145, 173, 185, 194 e 204. Existem também **6 pontos amostrais em sequência, com tendência crescente e/ou decrescente**, que correspondem à observação 24. Constata-se que, **a cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, com início nas observações 12, 15, 40, 51, 61, 72 e 75. Verifica-se que, **a cada 5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 13, 44, 71, 89, 107, 112, 124, 136, 157, 186 e 205. Observa-se também que há **8 pontos amostrais em sequência situados fora da zona C**, correspondendo às observações com início na amostra 108.

Na Figura 68, o gráfico EWMA apresenta alguns pontos fora dos limites de controle. Observa-se, assim, que o processo é afetado por pequenas variações. Detecta-se que **9 pontos amostrais em sequência estão no mesmo lado da linha central**, representados pelas amostras com início nas observações 21 e 30. Existem também **6 pontos amostrais, em sequência com tendência crescente e/ou decrescente**, que correspondem às observações com início nas amostras 25 e 39. Constata-se que, **a cada 3 pontos amostrais traçados, 2 se encontram localizados na zona A ou fora dela**, com início nas observações 1 e 8. Verifica-se que, **a cada 5 pontos amostrais traçados, 4 se encontram localizados na zona B ou fora dela**, correspondendo às observações com início nas amostras 1 e 7. Também constata-se que **15 pontos amostrais estão localizados na zona C**, com início nas observações 12 e 27.

Pela análise, percebe-se que, após o ajuste dos dados por meio da ACP e da modelagem ARIMA, a qual foi capaz de captar as variações que havia na série, utilizando os resíduos e eliminando o efeito da autocorrelação, a estabilidade do processo tornou-se evidente. Com o ajuste do modelo misto ARIMA-GARCH, o processo continua com alguns pontos fora dos limites de controle.

### **Comentários gerais da CP2 da composição química**

A variável composição química apresentou duas CP's. Constatou-se a necessidade do tratamento desses dados a fim de remover a autocorrelação serial da CP2 antes do seu monitoramento. Estimou-se um modelo AR(1) para a CP2 na qual, com seus resíduos livres de autocorrelação, são construídos os gráficos de controle  $\bar{x}$ ,  $\overline{MR}$  e EWMA.

Com relação aos resultados obtidos após a aplicação dos gráficos de controle  $\bar{x}$ ,  $\overline{MR}$  e EWMA, apresentam-se na Tabela 30 as seguintes considerações sobre a variável CP2 da composição química:

Tabela 30 - Pontos amostrais fora dos limites de controle para a CP2 da variável composição química

Gráficos	Pontos amostrais fora dos limites de controle		
	Componente Principal	Resíduo AR(2)	Resíduos quadráticos
$\bar{x}$	25	7	13
$\overline{MR}$	11	7	12
EWMA	7	16	5

#### 4.11 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O TRABALHO

Neste capítulo, realizou-se a parte prática da pesquisa, efetuou-se o ajuste dos modelos matemáticos para os estudos de caso analisados revelaram-se as variáveis com maior representatividade no sistema e na sua estabilidade. Com isso, exemplificou-se a metodologia proposta no capítulo 3.

Os dados da pesquisa foram coletados em uma indústria fabricante de tarugos de aço. Nela se pôde observar uma grande variabilidade nos valores da amostra, confirmados quando traçados os GC, principalmente pela estrutura de autocorrelação serial.

Como a quantidade de variáveis era elevada e com várias medições cada uma, o ideal foi utilizar a ACP, a qual revela relações entre as variáveis que não eram previamente consideradas, permitindo-se, assim, interpretações que não iriam aparecer. Dessa forma, eliminou-se a correlação que o sistema apresentava devido à influência que um conjunto de variáveis possui sobre as outras como, por exemplo, a temperatura no peso do distribuidor e, assim, nas demais variáveis.

Após realizar a estimação dos modelos representativos utilizando-se os modelos ARIMA, encontraram-se os modelos matemáticos capazes de modelar a variável aplicada nos resíduos e de analisar a estabilidade do processo por meio dos gráficos de controle.

Como todas as variáveis originais eram autocorrelacionadas, os modelos matemáticos estimados eliminaram essa autocorrelação, possibilitando uma análise mais concreta sobre o processo produtivo estudado.



A modelagem ARIMA confirma que no processo de produção as observações de um instante de tempo depende do outro. Observa-se esse efeito quando, por exemplo, no modelo AR(2) do peso do distribuidor há a evidência comprovada de dependência de dois períodos de tempo com força de ligação de 0,315805 e 0,158536, conforme Tabela 20, respectivamente.

A partir dessa análise, investigou-se a presença de volatilidade nos dados das CP's e, após, aplicaram-se os gráficos de controle.

Tomando como exemplificação o peso do distribuidor, tem-se que a volatilidade, diferentemente da evolução da série em nível, mede a oscilação da série. Em outras palavras, utilizando-se a Tabela 20, vê-se que a evolução média do peso do distribuidor é representada por um modelo AR(2), mas a sua variabilidade depende do erro quadrático (ARCH) no instante anterior - representado pela diferença entre o valor real e previsto ao quadrado -, mais a própria variância do erro no instante anterior GARCH(1). Da soma dos dois parâmetros  $0,235714 + 0,574856 = 0,81057$ , observa-se que essa variabilidade do peso do distribuidor será por um grande período de tempo.

Variância alta no peso do distribuidor significa que o mesmo não recebe sempre a mesma carga. Faz com que haja um espaço de ar entre o metal líquido e a parte superior do distribuidor. A quantidade de oxigênio nessa parte proporciona os mais diversos tipos de reações químicas e compromete a qualidade do produto final. Nas outras variáveis, as análises são análogas.

Na Figura 69, apresenta-se o esquema dos resultados obtidos na pesquisa com a utilização das variáveis temperatura do aço no distribuidor, peso do distribuidor, velocidade dos veios 1, 2 e 3, temperatura liquidus e composição química. São mostradas as CP's, os modelos lineares ARIMA e não lineares ARCH-GARCH.

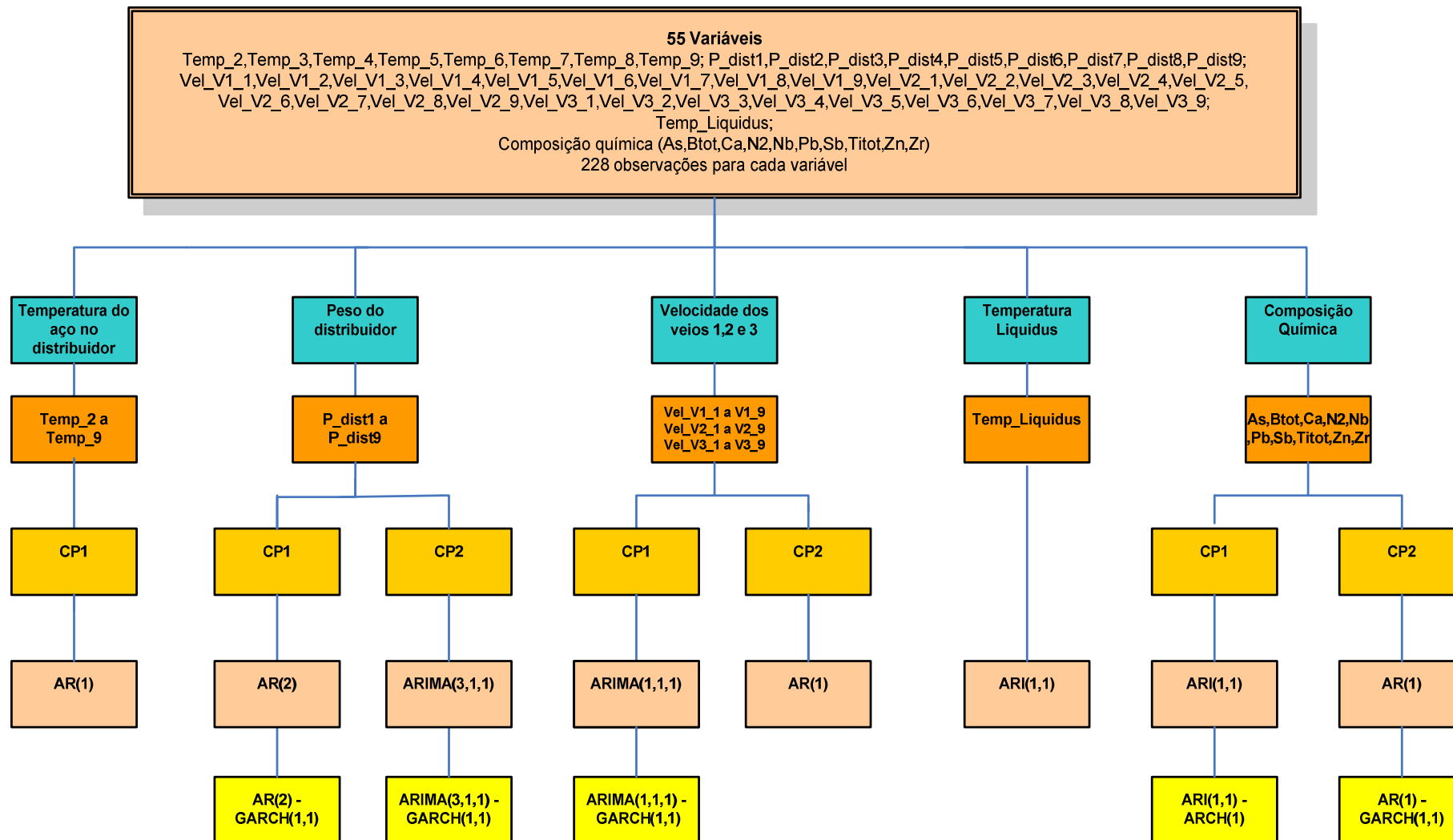


Figura 69 - Esquema dos resultados obtidos na pesquisa

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O capítulo 5 destina-se à conclusão do tema desenvolvido durante a pesquisa, bem como às recomendações para a continuidade da pesquisa em estudos futuros.

### 5.1 CONCLUSÕES

Salienta-se que o uso da Análise de Componentes Principais teve a finalidade de reduzir o conjunto de variáveis a serem investigadas e eliminar a correlação existente entre elas. Também possibilitou identificar a variável ou conjunto de variáveis que seriam as possíveis causadoras de instabilidade no processo produtivo. Ao detectar que as componentes principais se apresentavam autocorrelacionadas, procurou-se tratar essa autocorrelação com a modelagem ARIMA e, por meio de testes apropriados, foi verificado que os resíduos quadráticos dos modelos ARIMA apresentavam algum tipo de dependência serial. E, como se sabe, poderiam interferir nos resultados e nas interpretações dos gráficos de controle. Portanto, apresenta-se também como inovação a modelagem dessa dependência serial, denominada de volatilidade. Como ganho na interpretação dos gráficos de controle, foi possível realmente detectar os pontos fora de controle, não mais apresentando alarmes falsos por conta da autocorrelação. E ganhou-se também na qualidade das estimativas dos parâmetros que influenciam diretamente na qualidade das previsões e, conseqüentemente, nos resíduos que, em uma fase posterior, foram analisados pelos gráficos de controle.

Inicialmente, verificou-se a correlação nas variáveis como pressuposto para aplicar a ACP e o uso de gráficos de Shewhart. A matriz de correlação mostrou forte correlação entre as medições das variáveis originais e sugere o uso da Análise de Componentes Principais e posterior aplicação de gráficos de controle para avaliação da estabilidade do processo. Os gráficos aplicados foram para medidas individuais nas séries originais, os quais comprovaram que as variáveis do processo de fabricação de tarugos de aço, seção 240 mm, não estavam sob controle estatístico. Vale lembrar que as variáveis já não estavam correlacionadas, pois o gráfico foi aplicado nas CP's.

Assim, o uso da ACP nas variáveis selecionadas mostrou que o procedimento proposto, ou seja, de primeiro retirar a correlação dos dados foi adequado, bem como, num

segundo momento, foi adequada a autocorrelação por meio dos modelos de Box & Jenkins. Todas as variáveis mostraram-se autocorrelacionadas.

A aplicação dos modelos lineares autorregressivos possibilitou modelar e encontrar os resíduos do melhor modelo para a aplicação dos gráficos de controle, pois a autocorrelação serial foi eliminada. Em algumas variáveis, ao testarem-se os resíduos, foram verificados indícios de volatilidade os quais requerem a aplicação de modelos não lineares. A fim de modelar essa volatilidade, estimaram-se modelos mistos ARIMA-ARCH-GARCH para medir a média e a variância condicional, utilizando-se os resíduos quadráticos oriundos dos modelos matemáticos lineares.

Os gráficos de controle  $\bar{x}$ ,  $\overline{MR}$  e EWMA foram aplicados nas séries livres do efeito da autocorrelação, tanto nos resíduos quanto nos resíduos quadráticos, do modelo matemático. Ao comparar esses gráficos, constatou-se que os dados originais apresentaram mais pontos amostrais fora dos limites de controle em relação aos resíduos. Quanto ao processo com volatilidade, algumas CP's apresentaram menor número de pontos fora dos limites de controle em relação aos resíduos oriundos da modelagem linear e não linear. Conclui-se que a volatilidade influencia para que o processo sofra alterações quanto a sua estabilidade e faz com que ele esteja fora de controle. A volatilidade embutida no processo tem um efeito durador e vai influenciar no alargamento dos limites de controle. Esse alargamento faz com que o processo pareça estar controlado, porém está fora das especificações.

Analisando os gráficos de controle, pode-se constatar que tanto os modelos lineares como os não lineares foram eficazes no tratamento da autocorrelação serial, pois captaram as variações nas variáveis referentes ao processo de lingotamento contínuo.

Os resultados apontam que o objetivo proposto foi alcançado. Atingir esse objetivo proporciona às equipes envolvidas no processo de lingotamento contínuo a capacidade de atuar nos pontos críticos do processo bem como fornece informações gerenciais quanto à ação de medidas corretivas e de redução de gastos às outras equipes e setores estratégicos da empresa.

Pôde-se perceber que grandes variações são capazes de influenciar na qualidade do produto. Um controle mais eficaz possibilita baixar os custos, pois o número de itens defeituosos produzidos poderá ser reduzido. Isso tudo permite que a indústria seja mais competitiva.

Nesta pesquisa, foram identificados vários pontos amostrais fora dos limites dos gráficos de controle, porém, no decorrer do uso das metodologias propostas, ocorreu gradual

redução desses pontos e permitiu-se um crescimento de informações para a correta tomada de decisão.

## 5.2 RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros ligados ao tema desenvolvido na pesquisa, pode-se destacar os abaixo relacionados, os quais abrangeriam áreas ainda com grandes lacunas a serem pesquisadas para um melhor entendimento e compreensão dos estudos sobre modelos de previsão aplicados ao lingotamento contínuo:

- usar o modelo vetor autorregressivo (VAR) para a realização de previsões utilizando séries temporais;
- usar redes neurais para modelar processos complexos não lineares;
- aplicar os demais modelos da família ARCH;
- traçar gráficos de controle revisados para investigar a variável que está causando a falta de controle no processo com gráficos  $T^2$  de *Hotelling*;
- verificar o período fora de controle com relação à quantidade de sucatas produzidas pelos gráficos EWMA e  $T^2$  de *Hotelling*;
- criar *software* com as metodologias desenvolvidas e testadas para monitorar o processo automaticamente;
- estimar equação para ajuste de *feedback*.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSELIN, L. **Spatial econometrics: methods and models**. Boston: Kluwer Academic, 1988.

APARISE, F. Sampling plans for the multivariate  $T^2$  control chart. **Quality Engineering**, v.10, n.1, p.141-147, 1997.

BAILLIE, R.; CHUNG, C. F.; TIESLAU, M. A. Analyzing inflation by the fractionally integrated ARFIMA-GARCH model. **Journal of Applied Econometrics**, v.11, p.23-40, 1996.

BARCELLOS, V. K.; GSCHWENTER, L. S.; KYTÖNEN, H.; SANTOS, C. A.; SPIM, J. A.; LOUHENKILPI, S.; MIETTINEN, J. Modelling of Heat Transfer, Dendrite Microstructure and Grain Size in Continuous Casting of Steels. **Steel Research International**, v. 81, p. 461-471, 2010.

BARCELLOS, V. K. **Desenvolvimento de Software de Simulação da Solidificação de Aços no Processo de Lingotamento Contínuo de Tarugos**. Porto Alegre: UFRGS, 2011, 112 p. Tese (Doutorado em Engenharia).

BESSADA, O.; BARBEDO, C.; ARAÚJO, G. **Mercado de derivativos no Brasil: Conceitos, operações e estratégias**. 3 ed. Rio de Janeiro: Record, 2009.

BEM, A. B. **A utilização da regressão dinâmica para prever a demanda por matrícula no ensino fundamental em Santa Catarina**. 1998. 183f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

BERSIMIS, S; PSARAKIS; S; PANARETOS, J. Multivariate statistical process control charts: an overview. **Quality and Reliability Engineering International**, v.23, n.5, p.517-543, 2007.

BESSADA, O.; BARBEDO, C.; ARAÚJO, G. **Mercado de derivativos no Brasil: Conceitos, operações e estratégias**. 3 ed. Rio de Janeiro: Record, 2009.

BOLLERSLEV, T. Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. **Journal of Econometrics**, v.31, p.307-327, 1986.

BOLLERSLEV, T. A conditional heteroskedastic time series model for speculative prices and rates of return. **Journal of Econometrics**, v.69, n.3, p.542-547, 1987.

BOLLERSLEV, T.; WOOLDRIDGE, J. M. Quasi-maximum likelihood estimation and inference in dynamic models with time-varying covariances. **Econometric Reviews**, v.11, n.2, p.143-172, 1992.

BOWERMAN, B. L.; O'CONNEL, R. T. **Time series and forecasting**. California: Duxbury, 1979.

BOX, G. E. P.; JENKINS, G.M. **Time series analysis**: forecasting and control. San Francisco: Holden-Day, 1970.

BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M.; REINSEL, G. C. **Time series analysis**: forecasting and control. 3.ed. San Francisco: Holden-Day, 1994.

BOX, G.E.P.; LUCEÑO, A. Discrete proportional-integral adjustment and statistical process control. **Journal of Quality Technology**, v.29, n.3, p.248-260, 1997a.

BOX, G. E. P.; LUCEÑO, A. **Statistical control by monitoring and feedback adjustment**. John Wiley & Sons Inc., 1997b.

BUENO, R. L. S. **Econometria de séries temporais**. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

CAMPOS, K. C. Análise da volatilidade de preços de produtos agropecuários no Brasil. **Revista de Economia de Agronegócio**, v.5, n.3, p.303-328, 2007.

CARVALHO, L. G.; SEDIYAMA, G. C.; CECON, P. R.; ALVES, H. M. R. Modelo de regressão para a previsão de produtividade de cafeeiros no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.2-3, p.204-211, 2004.

CASARIN, V.A.; SOUZA, A.M.; MENEZES, R., SPIM, J.A. Continuous casting process stability evaluated by means of residuals control charts in the presence of cross-correlation and autocorrelation. **International Journal of Academic Research**. vol. 4, v. 3, May, 2012

CHANG, I. H. **Outliers in Time Series**. University of Wisconsin-Madison, Dept. of Statistics, 1982.

CATTEL, R. B. The screen test for the number of factors. **Multivariate Behavior Research**, v.1, p.245-276, 1996.

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. **Revista Produção**, v.17, n.3, p.536-546, 2007.

COELHO Jr.; L. M.; REZENDE, J. L. P. de; SÁFADI, T.; CALEGÁRIO, N. Análise do comportamento temporal dos preços da borracha natural no mercado internacional. **Ciência Florestal**, v.19, n.3, p.293-303, 2009.

COSTA, P. H. S.; BAIDYA, T. K. N. Propriedades estatísticas das séries de retornos das principais ações brasileiras. **Revista Pesquisa Operacional**, v.21, n.1, p.61-87, 2001.

CORRAR, J. L.; PAULO, E.; DIAS FILHO, J. M. **Análise multivariada para os cursos de administração, ciências contábeis e economia**. FIPECAF – Fundação Instituto de Pesquisas Contábeis, Atuariais e Financeiras. Ed. Atlas, São Paulo, 2007.

CROWDER, S. V. A simple method for studying run-length distributions of exponentially weighted moving average charts. **Technometrics**, v.29, n.4, p.401-407, 1987.

DEL CASTILLO, E. **Statistical control adjustment for quality control**. Canadá: John Wiley & Sons Inc., 2002.

EHLERS, R. S. **Análise de séries temporais**. In: Notas de aula de séries temporais. São Paulo: USP, ed. 5, 2009. Disponível em: <<http://www.icmc.usp.br/~ehlers/stemp/stemp.pdf>>. Acesso em: 13 dez. 2010.

ENDERS, W. **Applied econometric time series**. Wiley series in probability and mathematical statistics. New York: John Wiley and Sons Inc., 1995.

ENGLE, R. Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation. **Econométrica**, v. 55, n.4, p.987-1007, 1982.

FOX, A. J. Outliers in time series. **Journal of the Royal Statistical Society**, Ser. B, v. 34, p. 350-363, 1972.

GARCIA, A. **Solidificação: fundamentos e aplicações**. Campinas, SP. Editora da UNICAMP, 2007.

GARCIA, A.; SPIM, J.A.; SANTOS, C.A.; CHEUNG, N. **Lingotamento contínuo de aços**. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2006.

GUJARATI, D. N. **Econometria básica**. São Paulo: Makron Books, 2006.

HILL, C.; GRIFFITHS, W.; JUDGE, G. **Econometria**. São Paulo: Saraiva, 1999.

HUESPE, A. E.; CARDONA, A.; FACHINOTTI, V. Thermomechanical model of a continuous casting process. **Computer Methods Applied Mechanics and Engineering**, v.182, n.3-4, p.439-455, 2000.

HULL, J. **Options, futures and other derivatives**. Boston:Prentice Hall, 2011, 8th Edition.

JACKSON, J. E. Quality control methods for several related variables. **Technometrics**, v.1, n.4, p.359-377, 1959.

JACKSON, J. E.; MUDHOLKAR, G.S. Control procedures for residuals associated with principal component analysis. **Technometrics**, v.21, n.3, p.341-349, 1979.

JARQUE, C. M.; BERA, A. K. A test for normality of observations and regression residuals. **International Statistical Review**, Woodbury, v.55, n.2, p.163-172, 1987.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. 4 ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1998.

KANG, S. H.; KANG, S. M.; YONN, S. M. Forecasting volatility of crude oil markets. **Energy Economics**, v.31, n.1, p.119-125, 2009.

KANO, M.; NAKAGAWA, Y. Data-based process monitoring, process control, and quality improvement: Recent developments and applications in steel industry. **Computers and Chemical Engineering**, v.32, n.1-2, p.12-24, 2008.



KHATTREE, R. & NAIK, D.N. **Multivariate data reduction and discrimination**. Cary, USA: SAS Institute Inc., p. 558, 2000.

KOURTI, T.; MACGREGOR, J. F. Multivariate SPC methods for process and product monitoring. **Journal of Quality Technology**, v.28, n.4, p.409-428, 1996.

LAMOUNIER, W. M. **Comportamento dos preços no mercado “spot” de café do Brasil: análise nos domínios do tempo e da frequência**. 2001. 223f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

LJUNG, G. M; BOX, G. E. P. On a measure of lack of fit in time series models. **Biometrika**, v.65, n.2, p.297-303, 1978.

LOWRY, C. A.; MONTGOMERY, D. C. A review of multivariate control chart. **IIE Transactions**, v.27, p.800-810, 1995.

LOWRY, C. A.; WOODALL, W. H.; CHAMP, C. W.; RIGDON, S.E. A multivariate exponentially weighted moving average control chart. **Technometrics**, v.34, n.1, p.46-53, 1992.

LU, C. W.; REYNOLDS, M. R. Jr. EWMA control charts for monitoring the mean of autocorrelated processes. **Journal of Quality Technology**, v. 31, p. 166-188, 1999.

LUCAS, M. J.; SACCUCCI, M. S. Exponentially weighted moving average control schemes: properties and enhancements. **Technometrics**, v.32, n.1, p.1-12, 1990a.

LUCAS, M. J.; SACCUCCI, M. S. Exponentially weighted moving average control schemes: properties and enhancements. **Technometrics**, v.32, n.1, p.27-29, 1990b.

MAKRIDAKIS, S. G.; WHEELWRIGHT, S. C.; HYNDMAN, R. J. **Forecasting: methods and applications**. 3 ed. New York: John Wiley & Sons Inc., 1998.

MARDIA, K. V.; KENTE, J. T.; BIBBY, J. M. **Multivariate analysis**. London: Academic, 1979.

MARCHESAN, T.M.; SOUZA, A.M.; MENEZES, R. **Avaliação do processo de ensino: uma abordagem multivariada**. Revista Produção, v. 21, n. 2, p. 271-283, abr./jun. 2011.

MARINS, A. **Mercados derivativos e análise de risco**. vol. 2. Rio de Janeiro: AMS, 2009.

MITRA, A. **Fundamentals of quality control and improvement**. 2 ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1998.

MONTGOMERY, D. C; KEATS, J. B.; RUNGER, G. C.;MESSINA, W.S. Integrating statistical process control and engineering process control. **Journal of Quality Technology**, v.26, n.2, p.79-87, 1994.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to statistical quality control**. 2 ed. New York : John Wiley & Sons Inc., 1991.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

MORETTIN, P. A. **Econometria financeira: um curso em séries temporais financeiras**. São Paulo: Blucher, 2008.

MORRISON, D.F. **Multivariate statistical methods**. 2 ed., New York, NY. McGraw Hill, 1976.

NOMIKOS, P.; MACGREGOR, J. F. Monitoring batch using multiway principal componentes analysis. **AIChE Journal**, v.40, n.8, p.1361-1375, 1994.

PALADINI, E. P. **Controle de qualidade: uma abordagem abrangente**. São Paulo: Atlas, 1990.

PEDRINI, D. C.; TEN CATEN, C. S. Comparação entre gráficos de controle para resíduos de modelos. **GEPROS: Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, ano 3, n.4, p.123-140, 2008.

PEDROSO, T.R.; SOUZA, A.M.; JACOBI, L.F. Previsão e monitoramento do preço das ações do Bradesco. **Ciência e Natura**, UFSM, 29 (2): 53 - 68, 2007.

PEREIRA, Z. L.; REQUEIJO, J. G. **Planejamento e controlo estatístico de processos**. Faculdade de Ciências e Tecnologia – FET. Universidade Nova de Lisboa, 2008.

PINDYCK R. D.; RUBINFELD D. L. **Econometria modelos & previsões**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

REINSEL, G. C. **Elements of multivariate time series analysis**. Springer-Verlag. New York, 1993.

RIGÃO, M. H.; SOUZA, A. M. Identificação de variáveis fora de controle em processos produtivos multivariados. **Revista Produção**, v. 15, n. 1, p. 074-086, jan./abr. 2005.

RIZZO, E. M. S. **Introdução aos processos de lingotamento dos aços**. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2006.

RYAN, T. P. **Statistical Methods for quality improvement**. New York: John Wiley & Sons Inc., 1989.

ROBINSON, P. B.; HU, T. Y. Average runs lengths of geometric moving average charts by numerical methods. **Technometrics**, v.37, n.1, p.85-93, 1978.

SÁFADI, T.; ANDRADE FILHO, M. G. **Abordagem bayesiana de modelos de séries temporais**. In: 12ª Escola de Séries Temporais e Econometria, 2007, Gramado. Minicurso... Gramado: Associação Brasileira de Estatística, 2007.

Sayuri Ide, M.; Ribeiro Junior, J. I.; SOUZA, L. M. Gráficos de controle com uma abordagem de séries temporais. **Revista Eletrônica Produção & Engenharia**, v.2, n.1, p. 69-84, jan./jul. 2009

SILVA, W. V. da. **Curso de análise de regressão linear: teoria e aplicações**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2000.

SILVA, W. S.; SÁFADI, T.; CASTRO Jr., L. G. Uma análise empírica da volatilidade do retorno de commodities agrícolas utilizando modelos ARCH: os casos do café e da soja. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.43, n.1, p.119-134, 2005.

SOUZA, A. M.; VICINI, L. Geração de subsídios para a tomada de decisão na cadeia produtiva da bovinocultura do Brasil. **GEPROS: Gestão de Produção, Operações e Sistemas**, ano 2, v.4, p.49-64, 2007.

SOUZA, A. M.; F.M. SOUZA; FERREIRA, N.; MENEZES, R. Electrical energy supply for Rio Grande do Sul, Brazil, using forecast combination of weighted eigenvalues. **GEPROS: Gestão de Produção, Operações e Sistemas**, ano 6, v.3, p.23-39, jul-set, 2011.

SOUZA, V. S.; TIMOFEICZYK JUNIOR, R. ; ALMEIDA, A. N. ; EISFELD, C. L. **Análise de séries temporais de preço de compensado no estado do Paraná, com a utilização da metodologia de Box & Jenkins**. In: V Encontro de Economia Paranaense ECOPAR, Curitiba, 2007.

STEFANESCU, D. M. **Casting**. v.9, 15 ed., ASM International, 1988.

STOCK, J. H.; WATSON, M. W. **Econometric**. São Paulo: Addison Wesley, 2004.

TEIXEIRA, G. S.; MAIA, S. F.; FIGUEIREDO, N. M.; PEREIRA, E. S.; PINTO, P. A. L. **Dinâmica da volatilidade do retorno das principais commodities brasileiras: uma abordagem dos modelos ARCH**. In: XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Rio Branco/Acre, julho de 2008.

THOMAS, B. G. Modeling of the Continuous Casting Steel: Past, Present and Future. **Metallurgical and Materials Transactions**, v. 33B, p. 795-812, 2002.

TRACY, N. D.; YOUNG, J. C.; MASON, R. L. Multivariate control charts for individual observations. **Journal of Quality Technology**, v.24. n.2, p.88-95, 1997.

VASILOPOULOS, A. V.; STAMBOULIS, A. P. Modification of control charts limits in the presence of data correlation. **Journal of Quality Technology**, v. 10, p.20-30, 1978.

WESTERHUIS, J. A.; GURDEN, S. P.; SMILDE, A. K. Generalized contribution plots in multivariate statistical process monitoring. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v.51, n.1, p.95-114, 2000.

WOODALL, W. H.; NCUMBE, M. Multivariate CUSUM quality control procedure. **Technometrics**, v.27, n.3, p.285-292, 1985.

ZHANG, L.; RONGA, M.; SHEN, H.; HUANG, T. Solidification modeling in continuous casting by finite point method. **Journal of Materials Processing Technology**, v.192-193, p.511-517, 2007.

ZHANG, Y.; DUDZIC, M. S. Online monitoring of steel casting processes using multivariate statistical technologies: from continuous to transitional operations. **Journal of Process Control**, v.16, n.8, p.819-829, 2006.

## 7 APÊNDICES

### Apêndice A - Testes de Diagnósticos

O teste de raiz unitária permite verificar a estacionariedade da série temporal e pode ser representado pela equação:

$$y_t = y_{t-1} + \mu_t;$$

onde  $\mu$  é o termo do erro.

A equação acima é uma regressão de primeira ordem, já que foi regredido o valor  $y$  no instante  $t$  sobre seu valor no instante  $(t - 1)$ . Se o coeficiente  $y_{t-1}$  for igual a 1, os dados da série temporal são não-estacionários (SOUZA et al., 2007).

Segundo Gurajati (2006), os correlogramas são construídos pelos coeficientes da função de autocorrelação e autocorrelação parcial, e é possível verificar a estacionariedade da série. Quando se tem um processo puramente de ruído branco, a autocorrelação fica em torno de zero em várias defasagens, denotando uma série temporal estacionária. Quando o coeficiente de autocorrelação começa com um valor muito alto e tende muito lentamente a zero à medida que a defasagem aumenta, significa que a série é não estacionária.

Para verificar se os coeficientes da FAC e FACP nos correlogramas são estatisticamente significativos, leva-se em conta o intervalo de confiança definido como:

$$IC(95\%) = \pm 1,96\sqrt{n},$$

onde  $IC(95\%)$  é o intervalo de confiança com 95% de significância estatística e  $n$  o tamanho da amostra.

Se os coeficientes de autocorrelação e autocorrelação parcial estão fora do intervalo de confiança, exceto para a defasagem um, e são estatisticamente diferentes de zero, tem-se a não estacionariedade na série.

A fim de avaliar se as variáveis utilizadas seguem um processo estocástico estacionário foram realizados dois testes de raiz unitária.

O primeiro deles é o teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF), o qual faz uma correção não paramétrica ao teste de Dickey e Fuller (DF) e leva em consideração a heterocedasticidade condicional. A principal vantagem do teste ADF em relação ao DF é que ao introduzir um número suficiente de defasagens, garante-se que os resíduos não apresentem autocorrelação.

A estatística ADF é dada pela expressão:

$$\nabla y_t = \alpha + \beta t + \gamma y_{t-1} + \sum_{j=1}^{p-1} \rho_{j+1} \nabla y_{t-j} + \varepsilon_t$$

onde  $\alpha$  é o intercepto;  $t$  representa a tendência linear e  $\nabla$  é o operador diferença.

As hipóteses para o teste são descritas a seguir:

$H_0$  : A série possui raiz unitária;

$H_1$  : A série não possui raiz unitária.

Regra de decisão: se a estatística calculada é menor que os valores críticos, rejeita-se  $H_0$ , conclui-se que a série não possui raiz unitária, portanto, ela é estacionária.

O segundo teste é o KPSS desenvolvido para compensar um dos problemas do teste de raiz unitária desenvolvido por Dickey e Fuller, que é seu baixo poder explicativo. O teste de raiz unitária não consegue rejeitar a hipótese nula, mas o KPSS corrige esse viés porque sua hipótese nula, ao contrário dos testes DF, é a estacionariedade da série. Dessa forma, o teste ajuda a distinguir a raiz unitária de séries cujos dados não são suficientemente conclusivos. A ideia é testar a variância de passeio aleatório. Se essa variância for nula, então o processo é estacionário (BUENO, 2008).

A estatística para o teste KPSS é dada pela expressão:

$$KPSS = \sum_{t=1}^T \frac{S_t^2}{T^2 \hat{\sigma}^2}$$

onde  $\hat{\sigma}^2$  representa a variância de longo prazo, definida como no teste de PP.

As hipóteses para o teste são descritas a seguir:

$H_0$  : A série é estacionária;

$H_1$  : A série é não estacionária.

Regra de decisão: se a estatística calculada é menor que os valores críticos, não se rejeita  $H_0$ , concluindo-se que a série é estacionária.

Se o processo apresentar uma série não estacionária, é preciso estacionarizá-la por meio da especificação do modelo na forma de primeira ou segunda diferença da série para torná-la estacionária, senão ocorre o que é chamado de modelos explosivos (BEM, 1998).

Observa-se pelas hipóteses nulas dos testes que elas apresentam decisões contrárias. Assim, deve-se aplicar os dois testes para obter-se um melhor resultado (BAILLIE et al., 1996).

- **Teste de normalidade**

Os testes de normalidade são utilizados para determinar se uma série de dados de determinada variável tem distribuição normal. A suposição de normalidade deve ser satisfeita na aplicação dos gráficos de controle.

- *Jarque-Bera*

O teste de normalidade proposto por Jarque e Bera (1987) é um teste simples e depende de dois parâmetros: assimetria e curtose. O teste exige somente o primeiro dos quatro momentos dos resíduos de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) e é dado pela equação (32), a qual segue uma distribuição Qui-quadrado com dois graus de liberdade:

$$JB = N \left[ \frac{A_3^2}{6} + \frac{(K_4 - 3)^2}{24} \right] \sim \chi_2^2 (\alpha = 5\%) \geq 5,99$$

onde  $A_3$  é coeficiente de assimetria;  $K_4$  é o coeficiente de curtose excessivo e  $N$  é o tamanho da amostra.

As hipóteses a serem testadas são:

$H_0$  : Assimetria = zero e curtose = três, então a série é dita normal;

$H_1$  : Assimetria  $\neq$  zero e curtose  $\neq$  três, então a série é dita não normal.

Regra de decisão: o teste baseia-se nos coeficientes de assimetria e curtose. Se *p-valor* for maior que o nível de significância de 5% cujo valor crítico é 5,99, aceita-se a hipótese nula de normalidade.

- **Testes para autocorrelação**

A autocorrelação indica se existe uma dependência temporal entre os valores sucessivos dos resíduos, ou seja, se os resíduos são correlacionados entre si. A presença de autocorrelação significa que as estimativas dos parâmetros não são tão eficientes por meio do método dos MQO, ou seja, não apresentam variância mínima. Ela provoca um viés nos erros-padrão e conduz a testes e intervalos de confiança incorretos.

- Estatística Ljung-Box

Segundo Ehlers (2009), a estatística *Ljung-Box* é usada para testar todas as autocorrelações residuais do modelo e não apenas o seu primeiro *lag*. Sua hipótese nula é que a soma dos quadrados das autocorrelações seja zero, isto é, que não exista autocorrelação. Quanto maior for o seu valor, maior será a autocorrelação. Pode-se testar por meio das estatísticas  $Q$ .

Ljung e Box (1978) propuseram a estatística mostrada na equação

$$Q(K) = n(n+2) \sum_{k=1}^h \frac{\hat{r}_k^2}{(n-k)}$$

onde  $n$  representa o número de observações,  $\hat{r}_k^2$  é a autocorrelação no *lag*  $k$  e  $h$  representa o número de *lags* que estão sendo testados, seguindo uma distribuição Qui-quadrado ( $\chi^2$ ) com  $p$  graus de liberdade.

As hipóteses a serem testadas são:

$H_0$  : Os dados são ruído branco (RB);

$H_1$  : Os dados não são ruído branco (RB).

Este teste de hipótese torna-se importante na identificação e validação dos modelos estatísticos.

A estatística *Ljung-Box*, em conjunto com os correlogramas FAC e FACP, foi aplicada, inicialmente, nos dados originais para analisar a estacionariedade da série e a presença de autocorrelação. Em seguida, foi usada nos resíduos do modelo ARIMA com a finalidade de verificar se os resíduos do modelo estimado formam um ruído branco e, posteriormente, nos resíduos quadráticos desse modelo para identificar se existe autocorrelação significativa. Em caso afirmativo, é necessário aplicar testes para verificar se existe heterocedasticidade na série quadrática. Se a heterocedasticidade for confirmada, a série é modelada por meio dos modelos ARCH.

- **Testes para heterocedasticidade condicional**

A heterocedasticidade é um problema nas séries temporais, mas Engle (1982) e Bollerslev (1986) provaram que essa anomalia também pode ser modelada.

É desejável que a variância dos resíduos do modelo estimado seja constante, ou seja,  $Var(\mu_t) = \sigma^2$ . Caso isso ocorra, diz-se que os resíduos do modelo estimado são



homocedásticos. A violação desse pressuposto revela que a variância irá diferir ao longo do tempo, isto é,  $Var(\mu_i) = \sigma_i^2$ , e os resíduos serão heterocedásticos.

De acordo com Silva (2000), na presença de heterocedasticidade, testes como MQO não produzem o efeito desejado e conduzem a incorreção dos testes *t-Student* e *F-Snedecor*, além dos intervalos de confiança. Assim, existe a necessidade de aplicar modelos não lineares da classe ARCH em séries que apresentam heterocedasticidade.

É apresentado a seguir o teste ARCH-LM e a estatística *F*.

#### - ARCH-LM

O teste ARCH-LM, segundo Engle (1982), é um teste multiplicador de Lagrange para identificar heterocedasticidade condicional autorregressiva nos resíduos expressa pela regressão auxiliar:

$$\varepsilon_t^2 = \beta_0 + \beta_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \dots + \beta_q \varepsilon_{t-q}^2 + v_t$$

onde  $\varepsilon$  é o resíduo pelo qual é computado o teste estatístico ARCH-LM =  $TR^2$ , em que  $T$  é o número de observações e o  $R^2$  é o quadrado do coeficiente de correlação múltipla da regressão. Sob  $H_0: \beta_0 = \beta_1 = \dots = \beta_q = 0$ , o teste ARCH-LM é assintoticamente distribuído como  $\chi_q^2$ .

Para comprovar a presença de efeitos ARCH, testam-se as seguintes hipóteses:

**$H_0$**  : A série não possui efeitos ARCH;

**$H_1$**  : A série possui efeitos ARCH.

Regra de decisão: se *p-valor* é menor que o nível de significância adotado, rejeita-se a hipótese nula, portanto, existe heterocedasticidade condicional.

O teste ARCH-LM é aplicado, inicialmente, à série de resíduos quadráticos do modelo ARIMA. Constatando-se a heterocedasticidade condicional na série, estima-se um modelo por meio dos modelos não lineares da classe ARCH. Em seguida, aplica-se o teste na série de resíduos quadráticos e nos resíduos padronizados oriundos do modelo ARCH. Após a escolha do melhor modelo matemático por meio da modelagem ARCH, é necessário aceitar a hipótese nula do teste de hipótese ARCH-LM, indicando que a série residual do modelo estimado é puramente aleatória, sem dependência na média e na variância.

- Estatística  $F$

A estatística  $F$  tem por finalidade testar o efeito conjunto das variáveis explicativas sobre a dependente, ou seja, serve para verificar se pelo menos uma das variáveis explicativas do modelo exerce, efetivamente, alguma influência sobre a variável dependente. A estatística  $F$  é definida por:

$$F_{k;n-k-1} = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{n-k-1}{k}$$

onde  $k$  é o grau de liberdade do numerador e  $(n-k-1)$  é o grau de liberdade do denominador. Se o valor de  $F$  for significativo, diz-se que há heterocedasticidade condicional na série.

## Apêndice B - Fatores para cartas de controle por variáveis

<i>n</i>	<b>A<sub>2</sub></b>	<b>D<sub>3</sub></b>	<b>D<sub>4</sub></b>
2	1,880	0	3,267
3	1,023	0	2,575
4	0,729	0	2,282
5	0,577	0	2,115
6	0,483	0	2,004
7	0,419	0,076	1,924
8	0,373	0,136	1,864
9	0,337	0,184	1,816
10	0,308	0,223	1,777
11	0,285	0,256	1,744
12	0,266	0,283	1,717
13	0,249	0,307	1,693
14	0,235	0,328	1,672
15	0,223	0,347	1,653
16	0,212	0,363	1,637
17	0,203	0,378	1,622
18	0,194	0,391	1,608
19	0,187	0,403	1,597
20	0,180	0,415	1,585
21	0,173	0,425	1,575
22	0,167	0,434	1,566
23	0,162	0,443	1,557
24	0,157	0,451	1,548
25	0,153	0,459	1,541

Tabela adaptada de: WERKEMA, M.C. **Ferramentas da Qualidade**: ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos. Belo Horizonte: QFCO, v.3, 1995.

Apêndice C - Valores originais das variáveis temperatura do aço no distribuidor, peso do distribuidor, velocidade dos veios 1, 2 e 3, temperatura liquidus e composição química

Apêndice D - Análise da estabilidade do processo para a variável original temperatura do aço no distribuidor

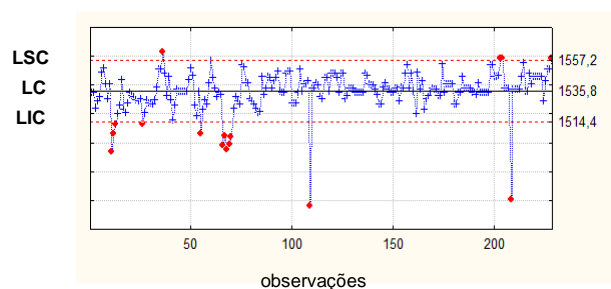


Gráfico  $\bar{x}$  da Temp\_2

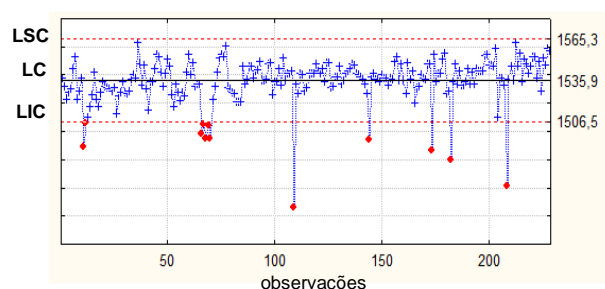


Gráfico  $\bar{x}$  da Temp\_3

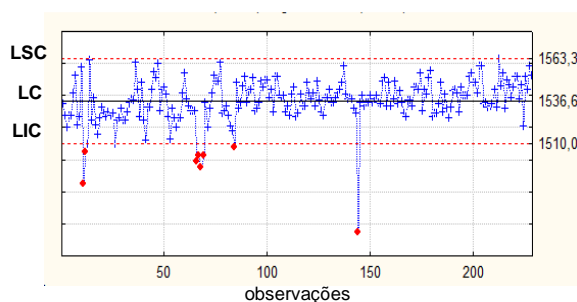


Gráfico  $\bar{x}$  da Temp\_4

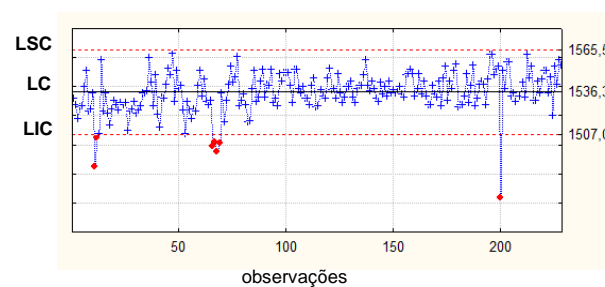


Gráfico  $\bar{x}$  da Temp\_5

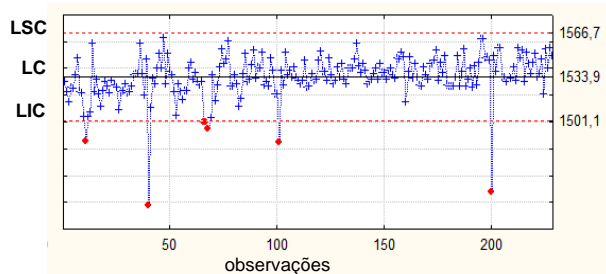


Gráfico  $\bar{x}$  da Temp\_6

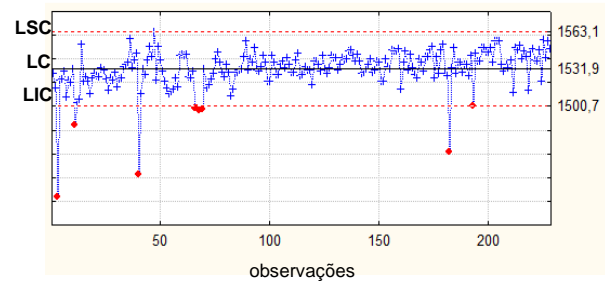


Gráfico  $\bar{x}$  da Temp\_7

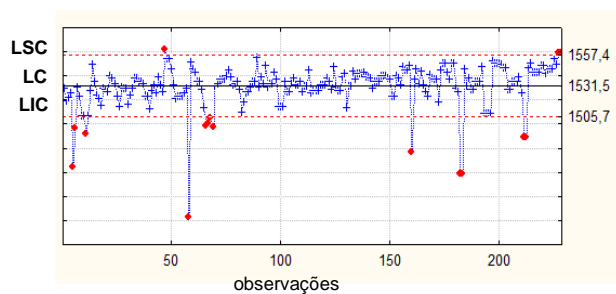


Gráfico  $\bar{x}$  da Temp\_8

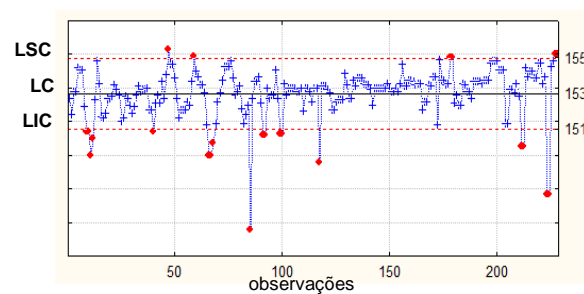
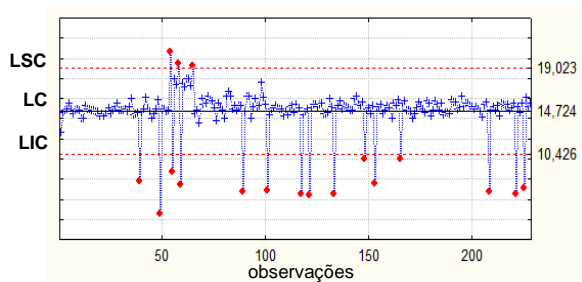
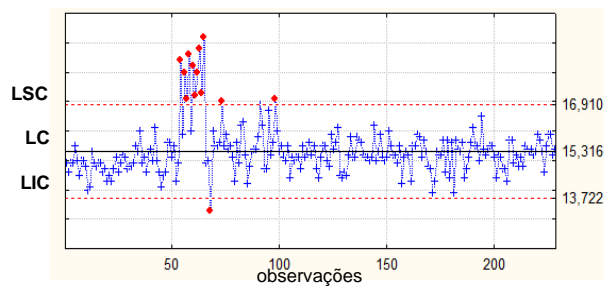
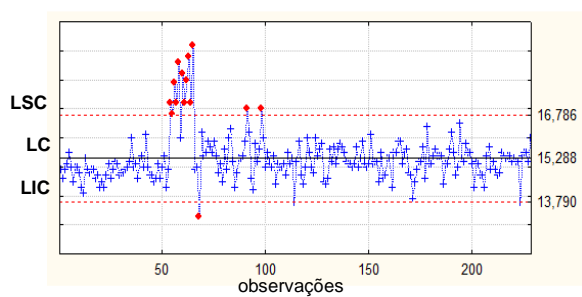
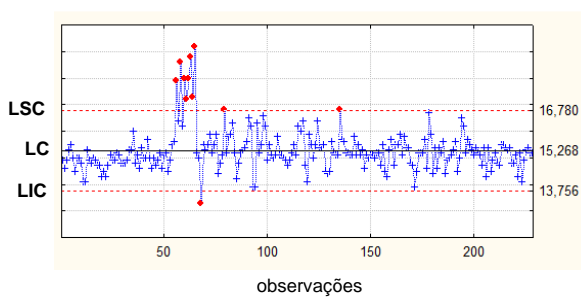
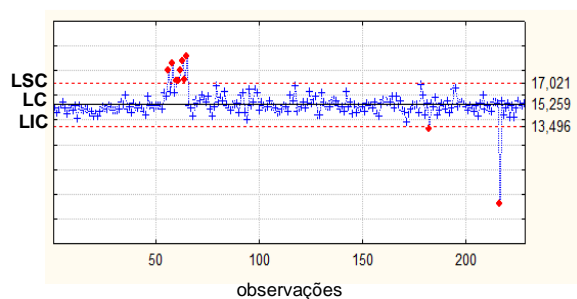
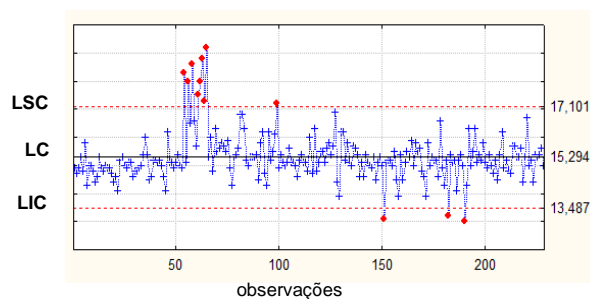
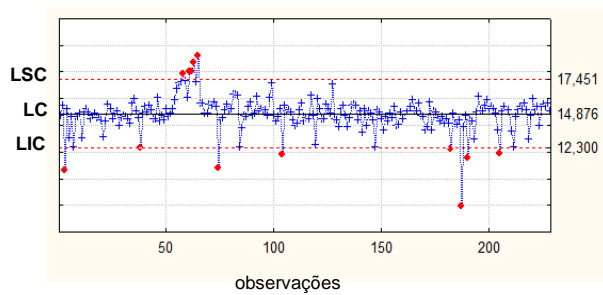
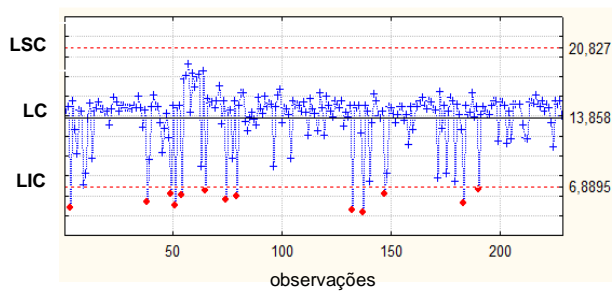


Gráfico  $\bar{x}$  da Temp\_9

## Apêndice E - Análise da estabilidade do processo para a variável original peso do distribuidor

Gráfico  $\bar{x}$  do P\_dist1Gráfico  $\bar{x}$  do P\_dist2Gráfico  $\bar{x}$  do P\_dist3Gráfico  $\bar{x}$  do P\_dist4Gráfico  $\bar{x}$  do P\_dist5Gráfico  $\bar{x}$  do P\_dist6Gráfico  $\bar{x}$  do P\_dist7Gráfico  $\bar{x}$  do P\_dist8

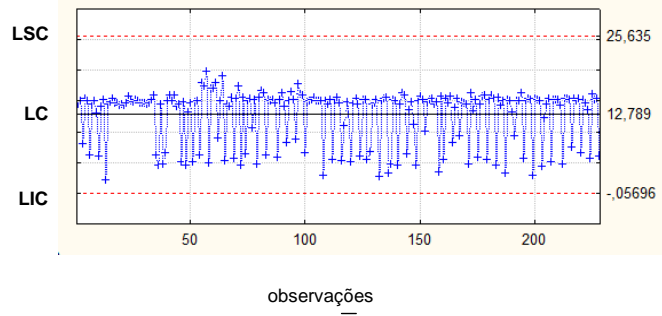
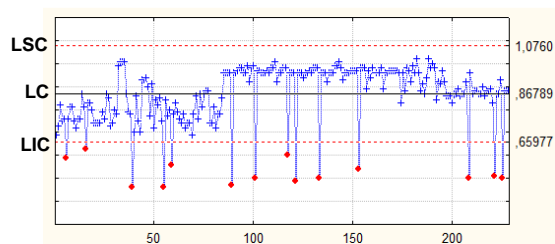
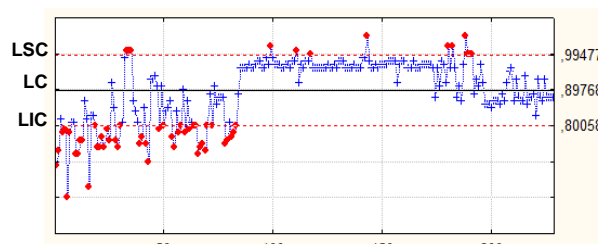


Gráfico  $\bar{x}$  do P\_dist9

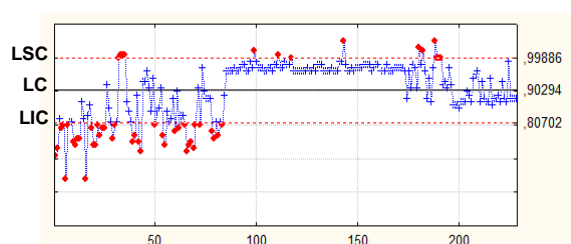
Apêndice F - Análise da estabilidade do processo para a variável original velocidade do veio 1



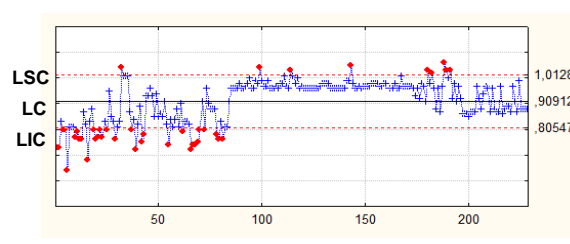
observações  
Gráfico  $\bar{x}$  da Vel\_V1\_1



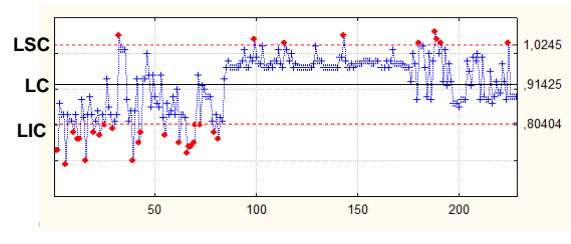
observações  
Gráfico  $\bar{x}$  da Vel\_V1\_2



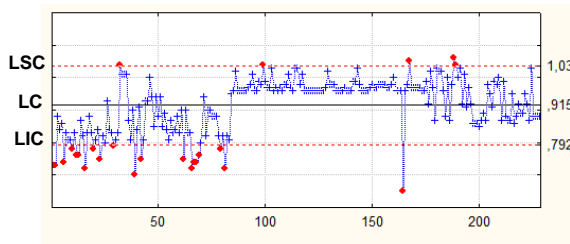
observações  
Gráfico  $\bar{x}$  da Vel\_V1\_3



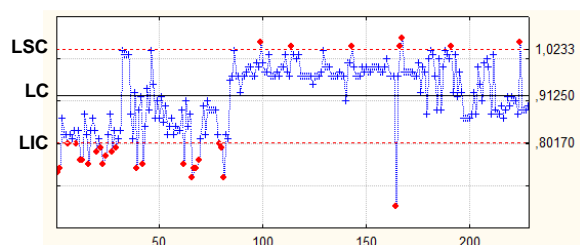
observações  
Gráfico  $\bar{x}$  da Vel\_V1\_4



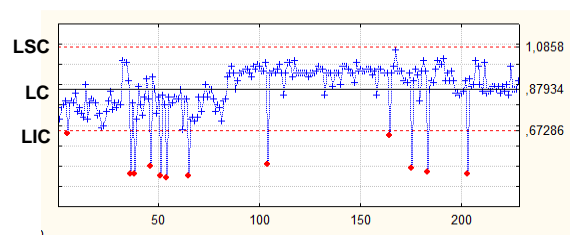
observações  
Gráfico  $\bar{x}$  da Vel\_V1\_5



observações  
Gráfico  $\bar{x}$  da Vel\_V1\_6



observações  
Gráfico  $\bar{x}$  da Vel\_V1\_7



observações  
Gráfico  $\bar{x}$  da Vel\_V1\_8



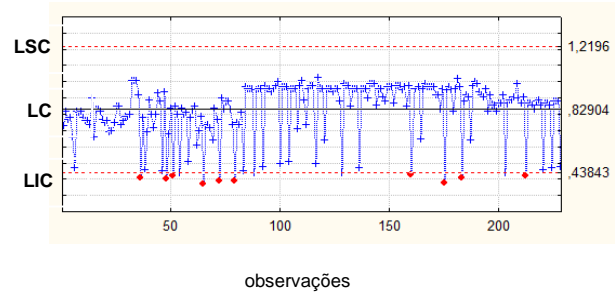


Gráfico  $\bar{x}$  da Vel\_V1\_9

Apêndice G - Análise da estabilidade do processo para a variável original velocidade do veio 2

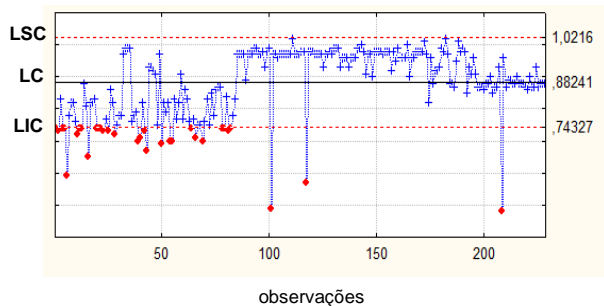


Gráfico  $\bar{x}$  da Vel\_V2\_1

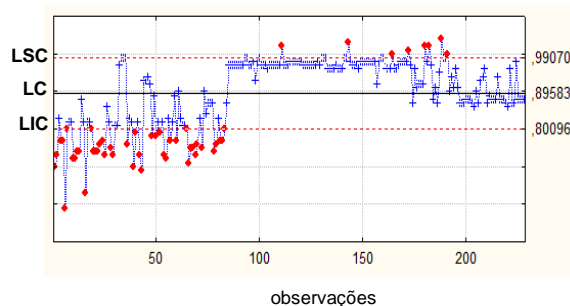


Gráfico  $\bar{x}$  da velocidade Vel\_V2\_2

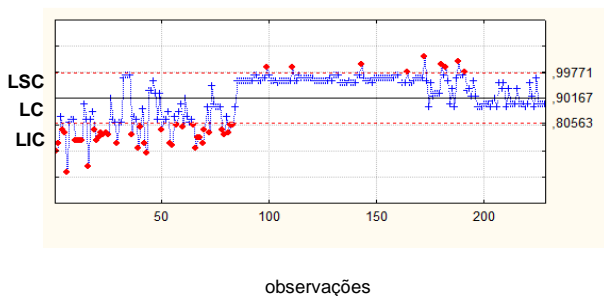


Gráfico  $\bar{x}$  da Vel\_V2\_3

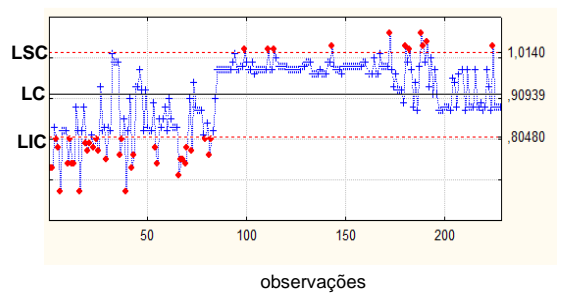


Gráfico  $\bar{x}$  da Vel\_V2\_4

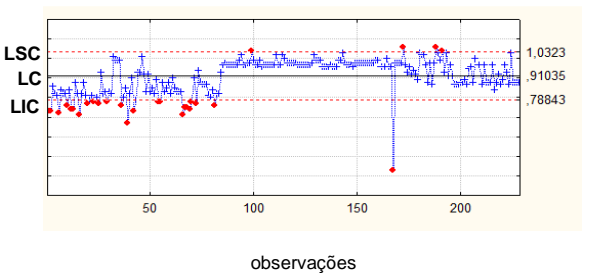


Gráfico  $\bar{x}$  da Vel\_V2\_5

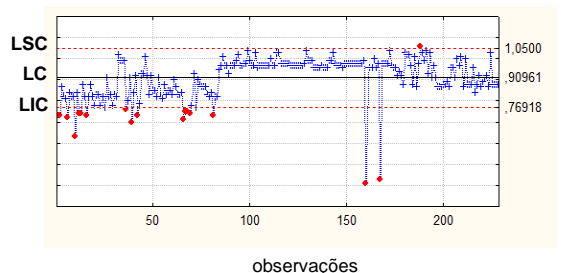


Gráfico  $\bar{x}$  da Vel\_V2\_6

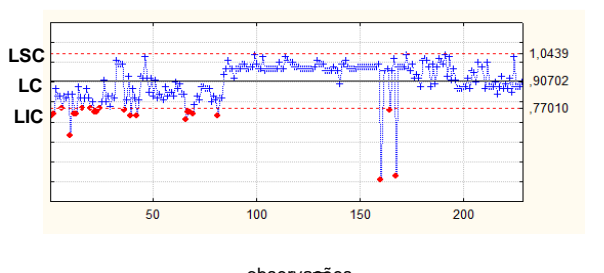


Gráfico  $\bar{x}$  Vel\_V2\_7

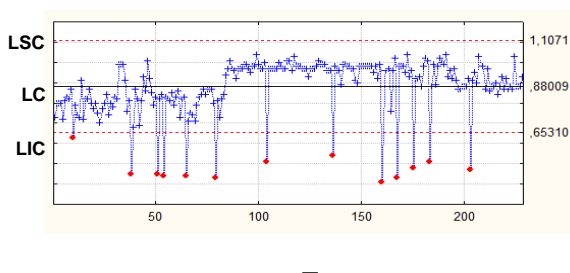
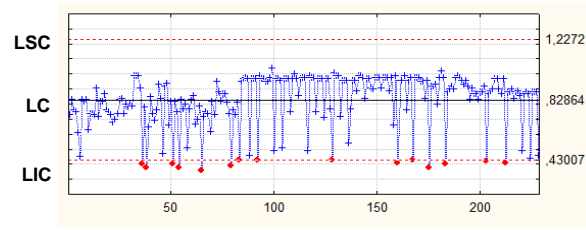


Gráfico  $\bar{x}$  da Vel\_V2\_8



—  
Gráfico  $\bar{x}$  da Vel\_V2\_9

Apêndice H - Análise da estabilidade do processo para a variável original velocidade do veio 3

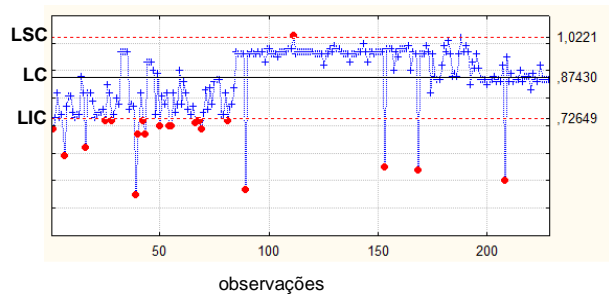


Gráfico  $\bar{x}$  da Vel\_V3\_1

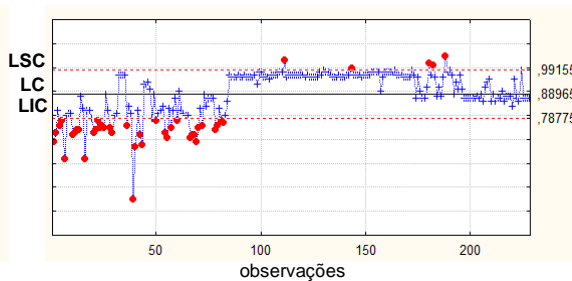


Gráfico  $\bar{x}$  da Vel\_V3\_2

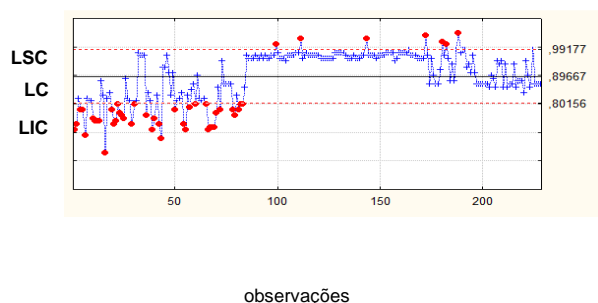


Gráfico  $\bar{x}$  da Vel\_V3\_3

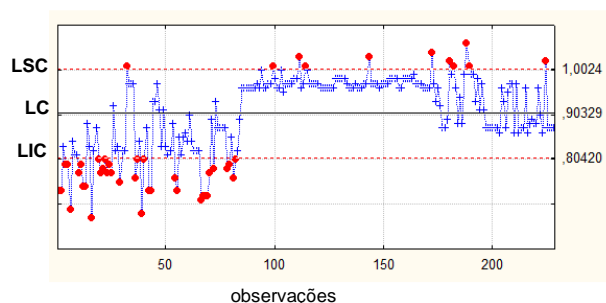


Gráfico  $\bar{x}$  da Vel\_V3\_4

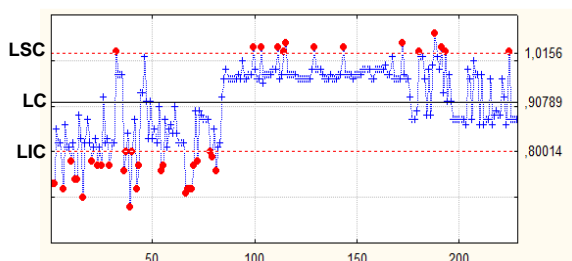


Gráfico  $\bar{x}$  da Vel\_V3\_5

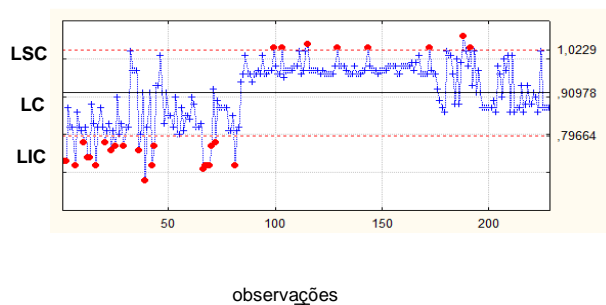


Gráfico  $\bar{x}$  da Vel\_V3\_6

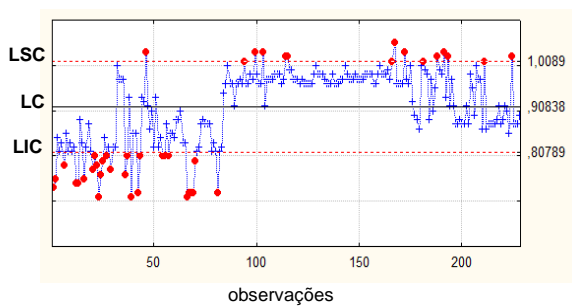


Gráfico  $\bar{x}$  da Vel\_V3\_7

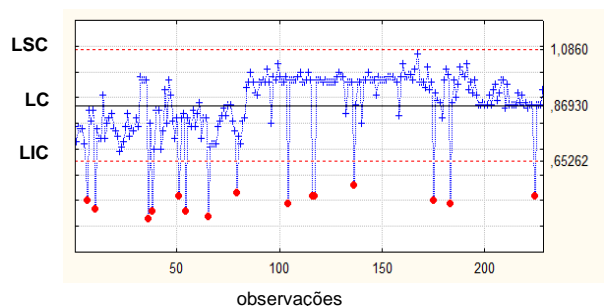


Gráfico  $\bar{x}$  da Vel\_V3\_8

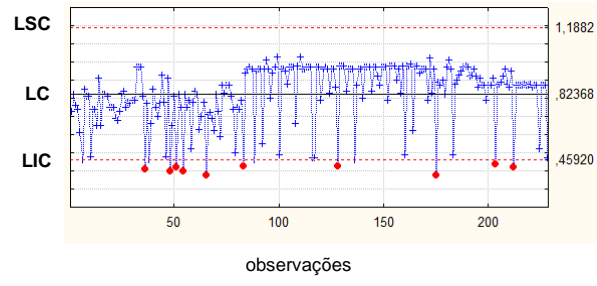
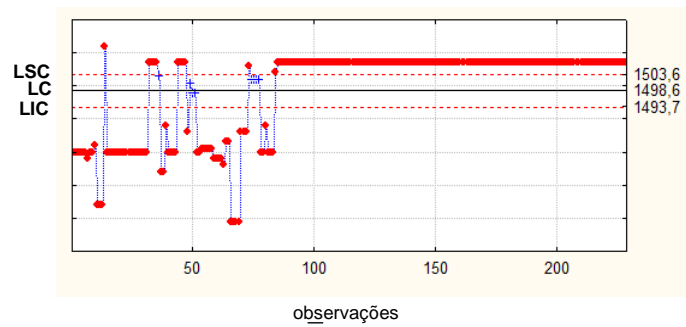
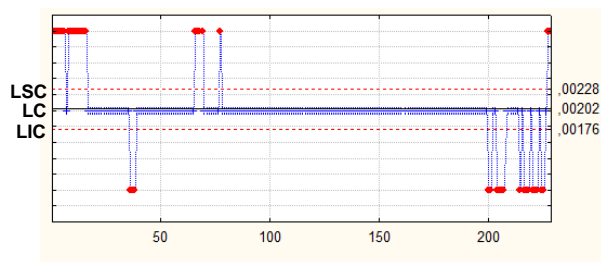


Gráfico  $\bar{x}$  da Vel\_V3\_9

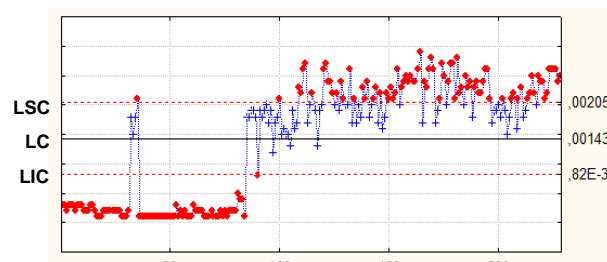
## Apêndice I - Análise da estabilidade do processo para a variável original temperatura liquidus

Gráfico  $\bar{x}$  da Temp\_Liquidus

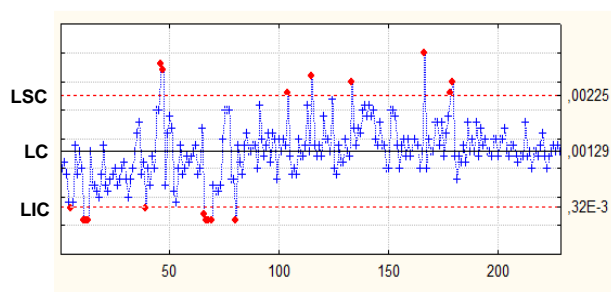
Apêndice J - Análise da estabilidade do processo para a variável original composição química



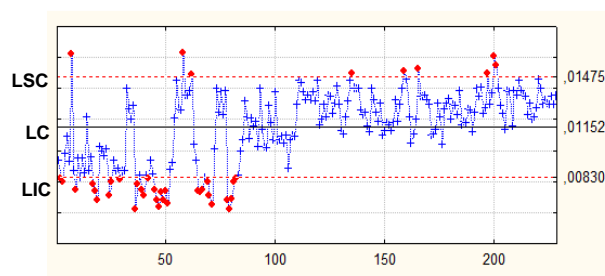
observações  
 $\bar{x}$   
Gráfico  $\bar{x}$  do As



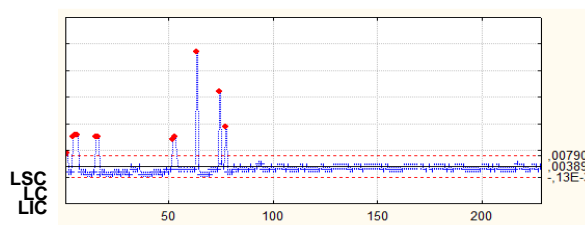
observações  
 $\bar{x}$   
Gráfico  $\bar{x}$  do Btot



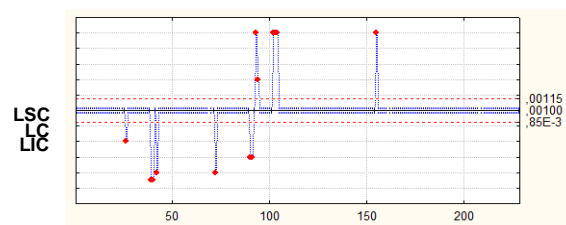
observações  
 $\bar{x}$   
Gráfico  $\bar{x}$  do Ca



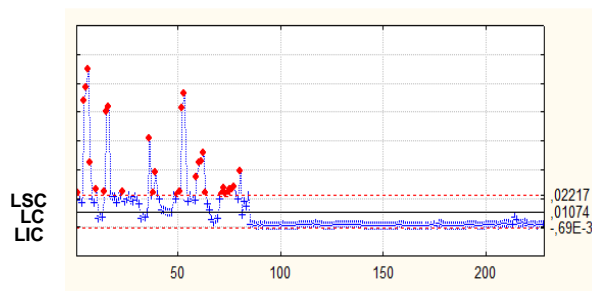
observações  
 $\bar{x}$   
Gráfico  $\bar{x}$  do N<sub>2</sub>



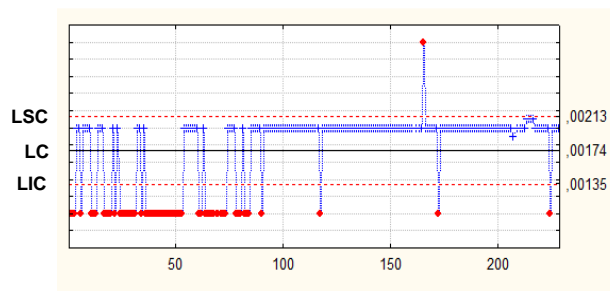
observações  
 $\bar{x}$   
Gráfico  $\bar{x}$  do Nb



observações  
 $\bar{x}$   
Gráfico  $\bar{x}$  do Pb



observações  
 $\bar{x}$   
Gráfico  $\bar{x}$  do Sb



observações  
 $\bar{x}$   
Gráfico  $\bar{x}$  do Titot

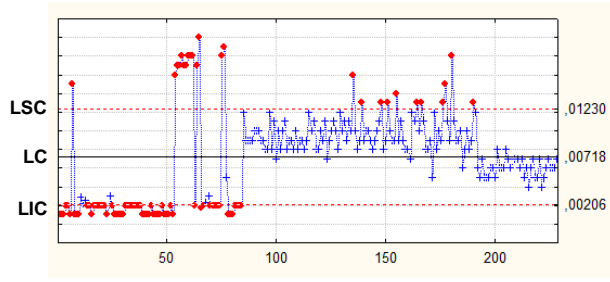


Gráfico  $\bar{x}$  do Zn

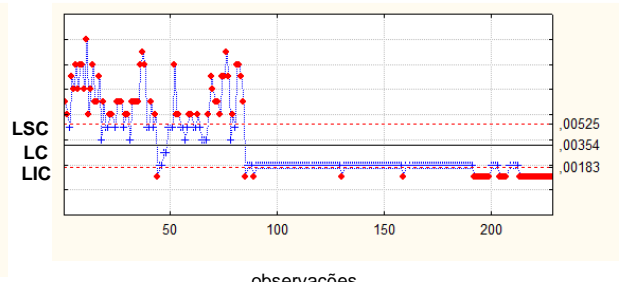
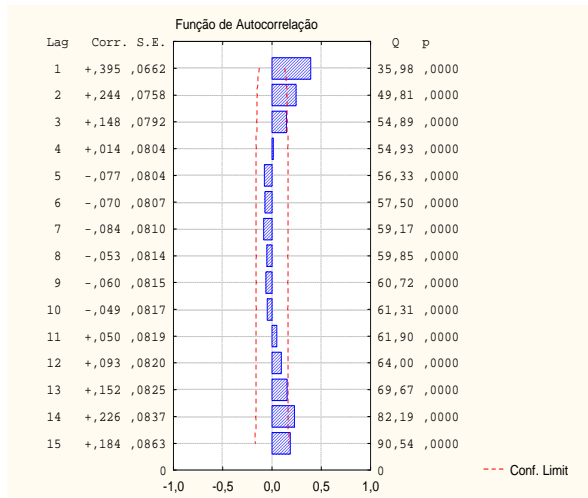


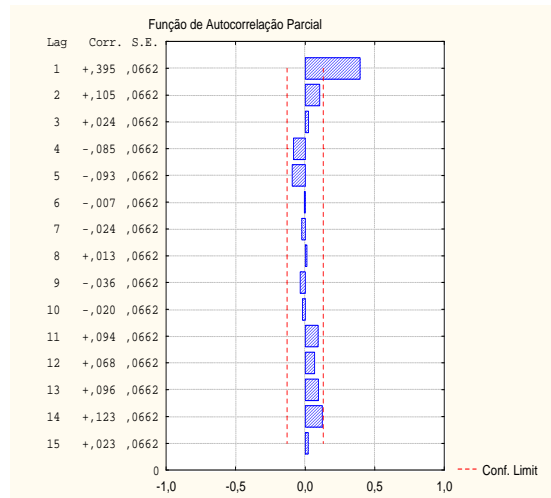
Gráfico  $\bar{x}$  do Zr



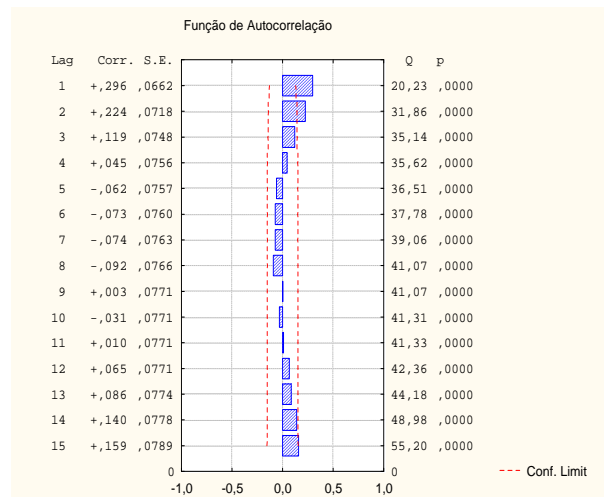
Apêndice K - FAC e FACP das variáveis originais referentes à temperatura do aço no distribuidor



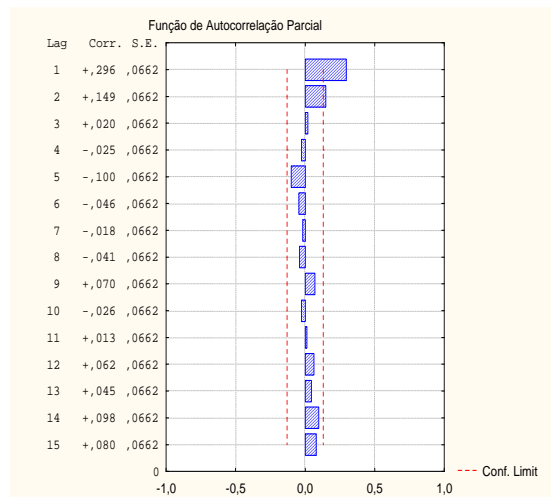
FAC da Temp\_2



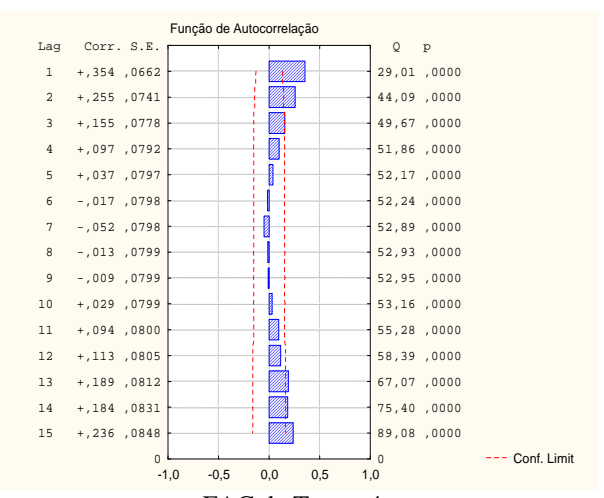
FACP da Temp\_2



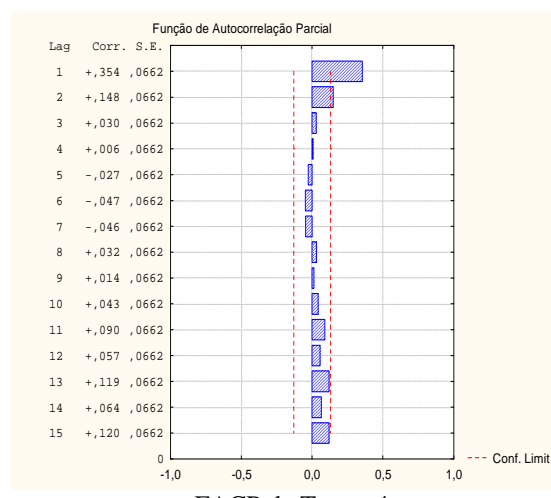
FAC da Temp\_3



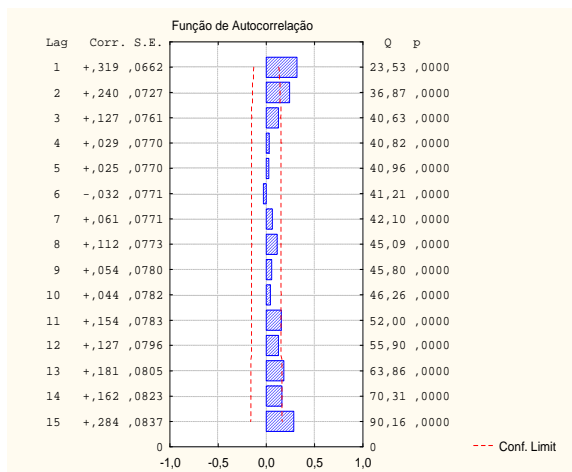
FACP da Temp\_3



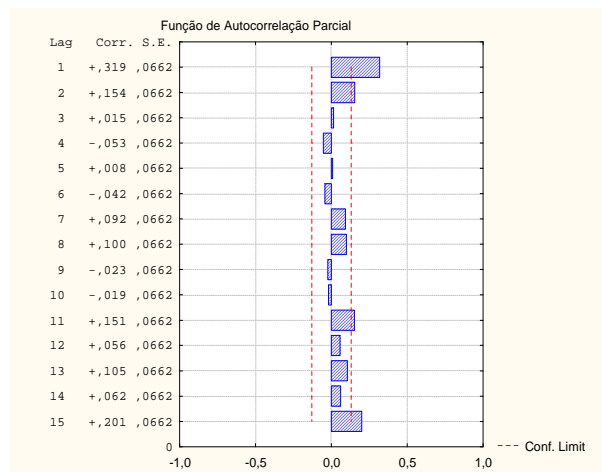
FAC da Temp\_4



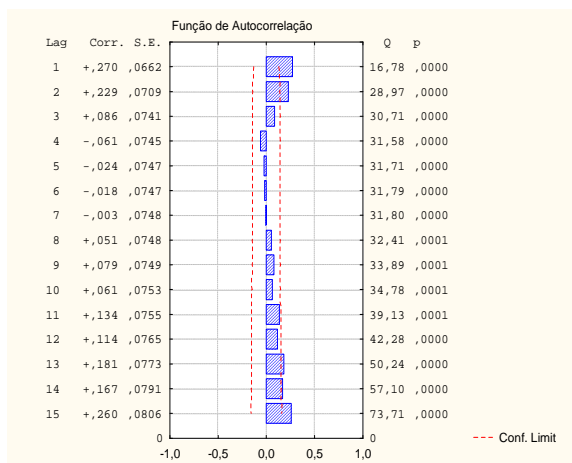
FACP da Temp\_4



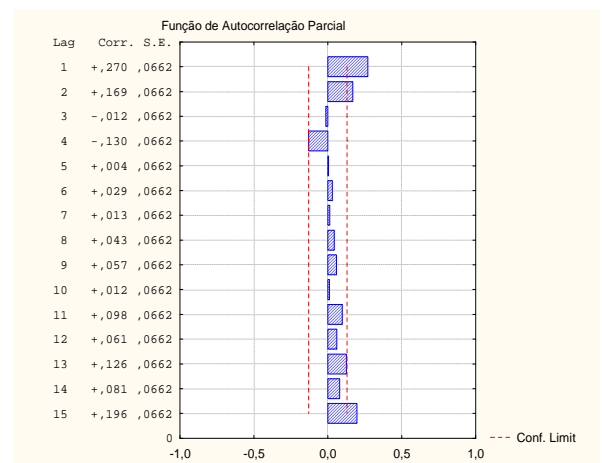
FAC da Temp\_5



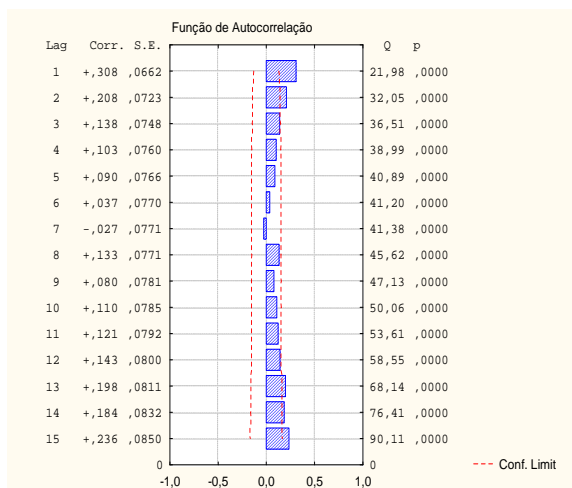
FACP da Temp\_5



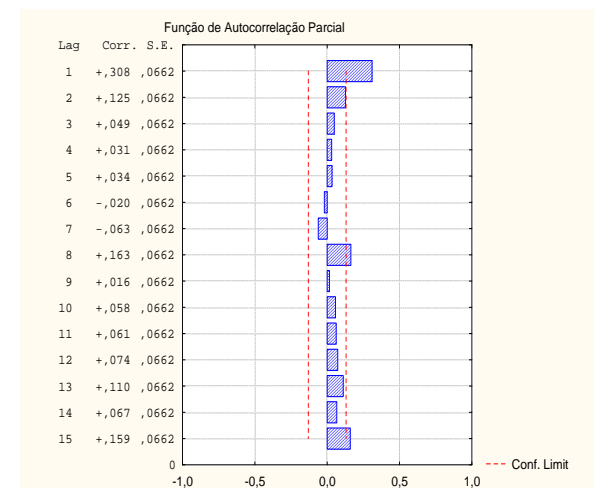
FAC da Temp\_6



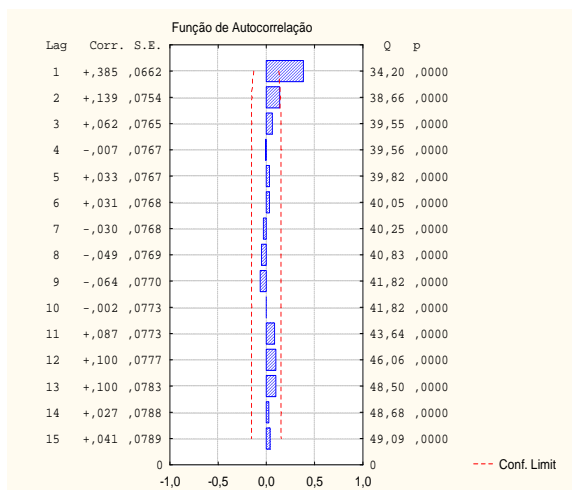
FACP da Temp\_6



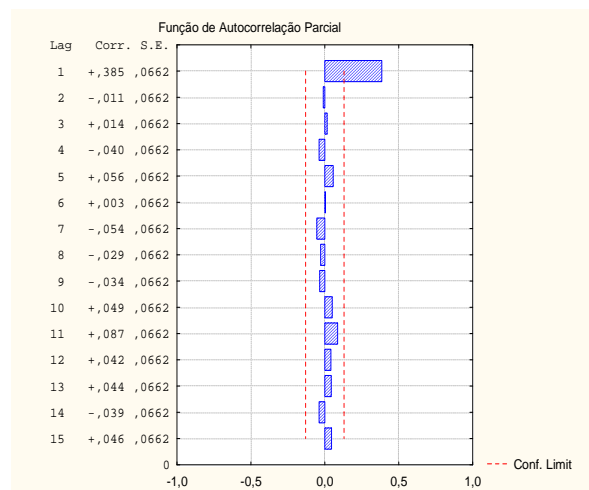
FAC da Temp\_7



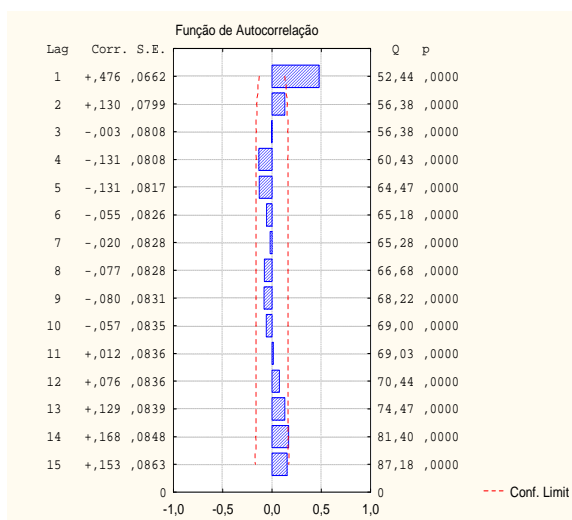
FACP da Temp\_7



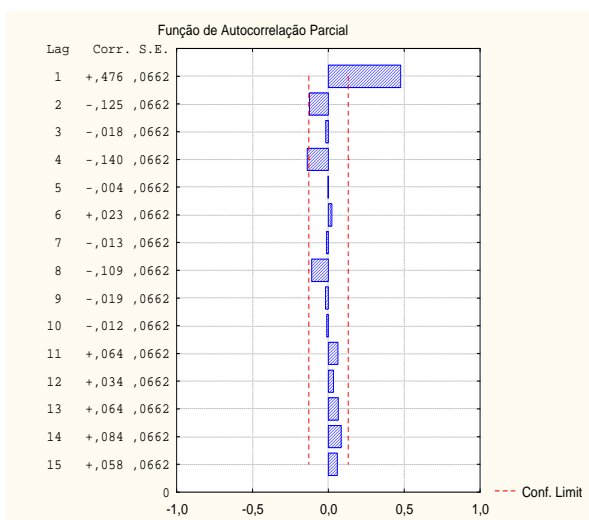
FAC da Temp\_8



FACP da Temp\_8

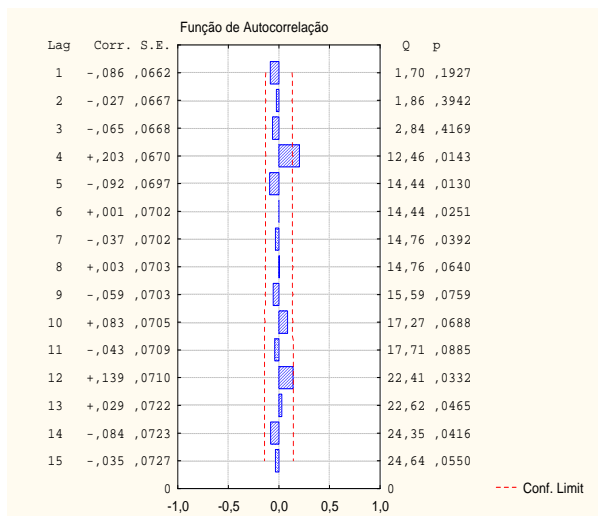


FAC da Temp\_9

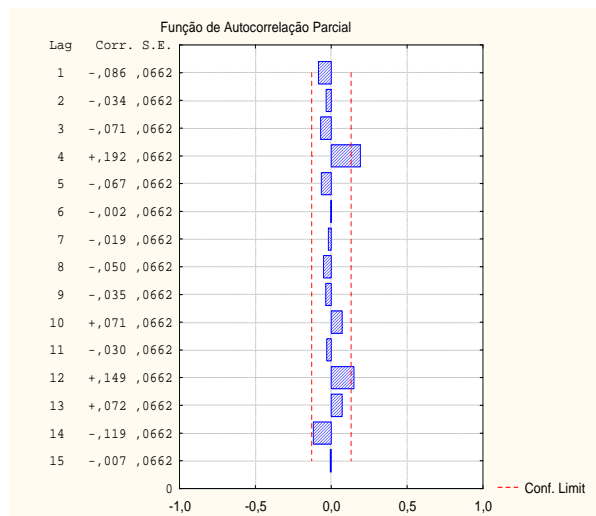


FACP da Temp\_9

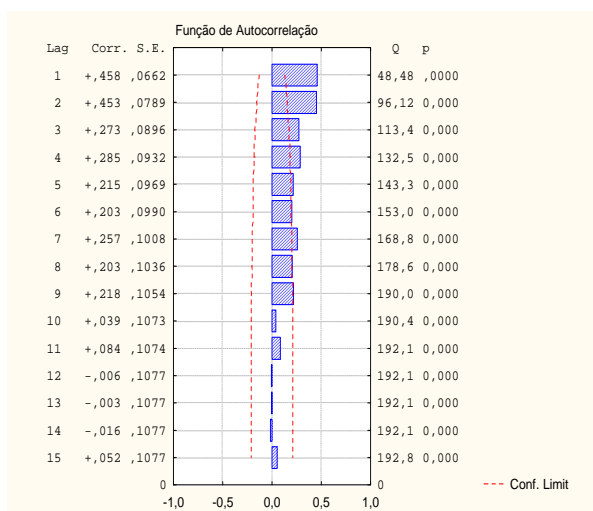
Apêndice L - FAC e FACP das variáveis originais referentes ao peso do distribuidor



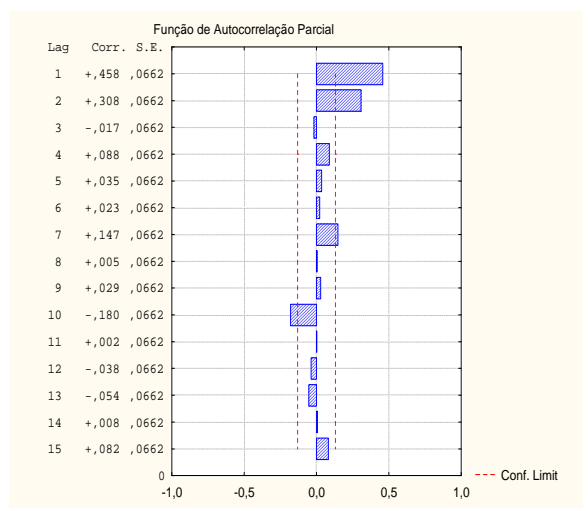
FAC do P\_dist1



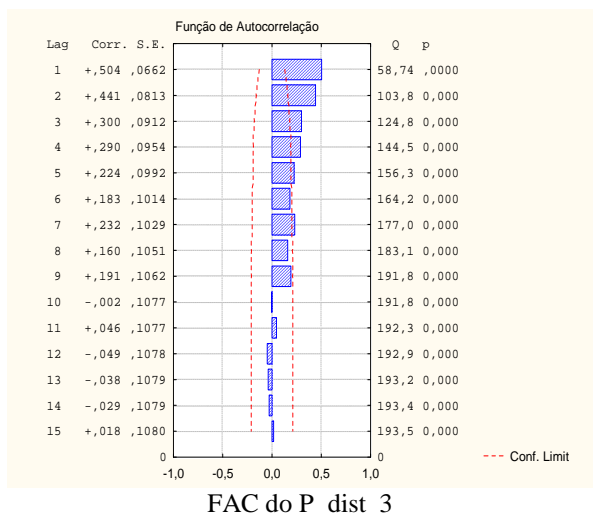
FACP do P\_dist1



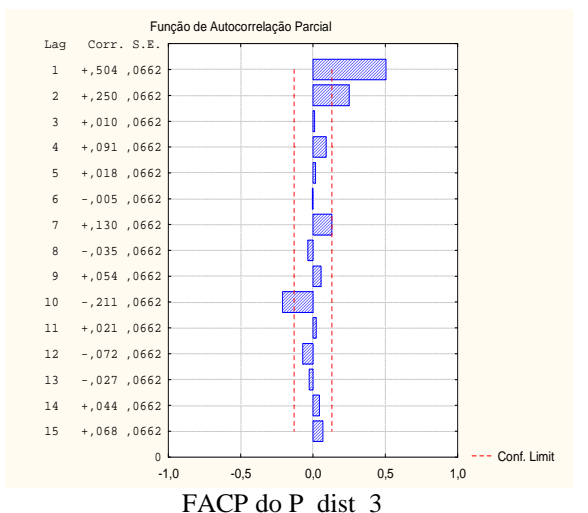
FAC do P\_dist2



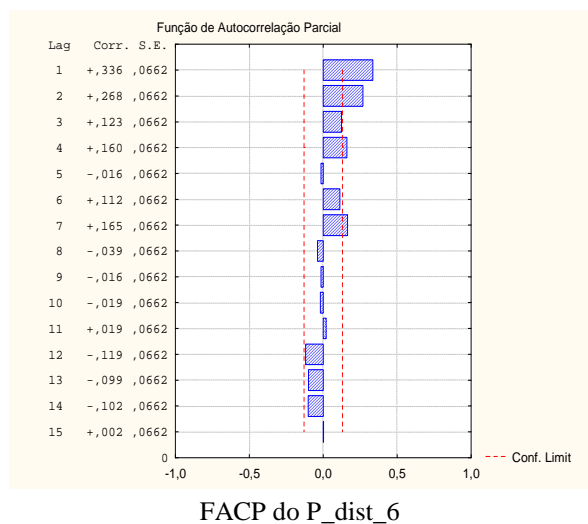
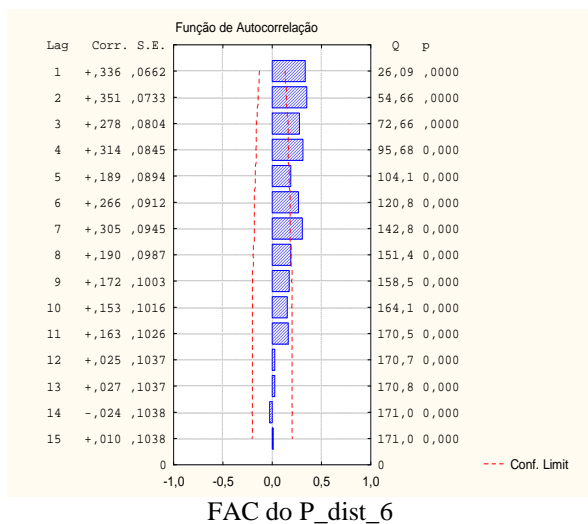
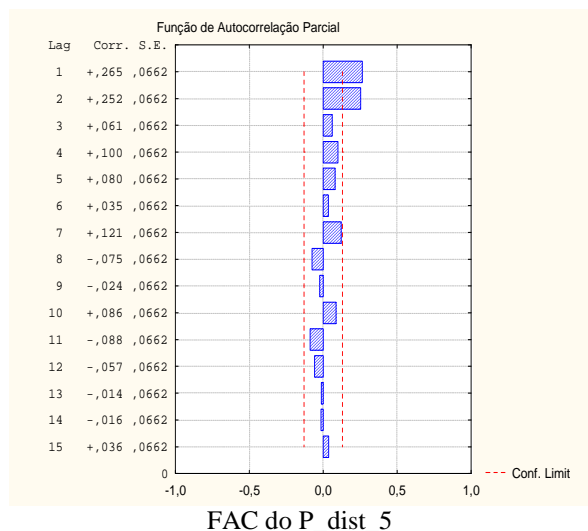
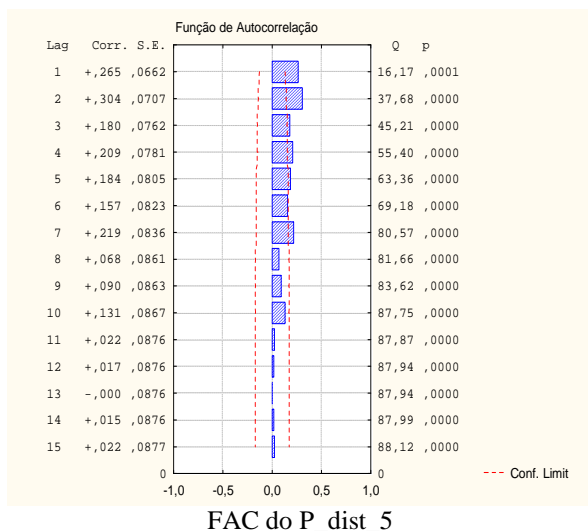
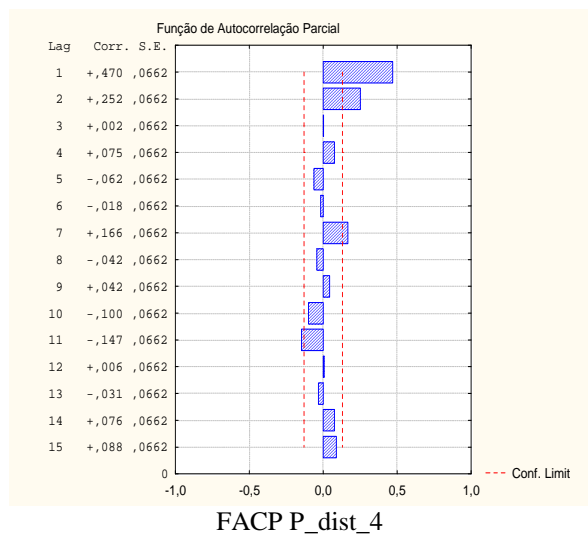
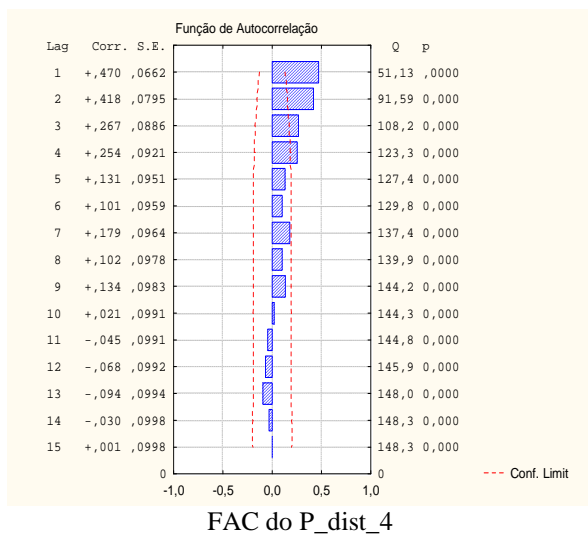
FACP do P\_distr\_2

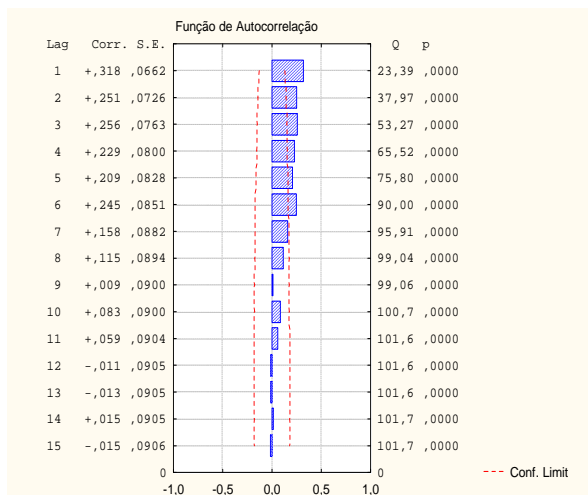


FAC do P\_dist3

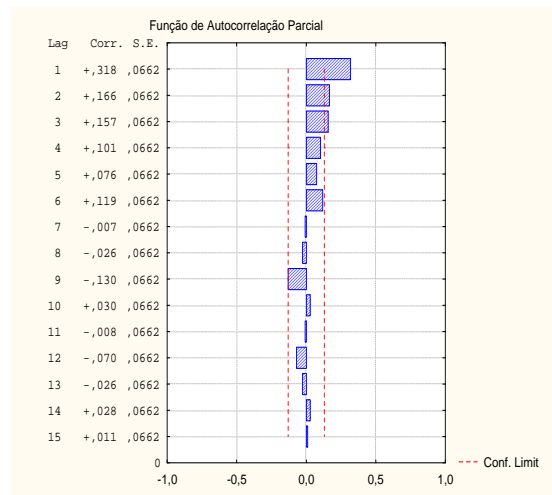


FACP do P\_dist3

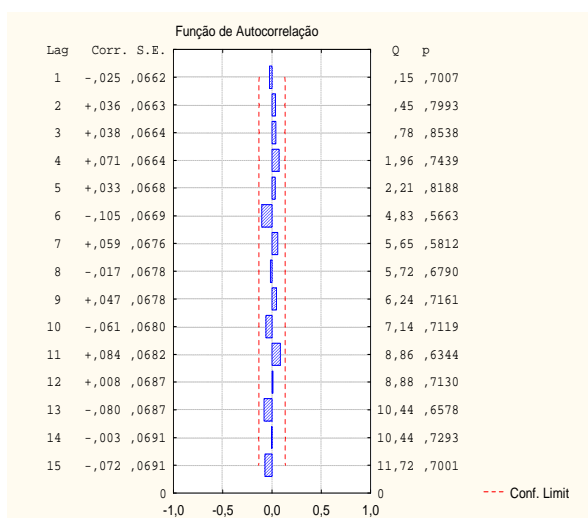




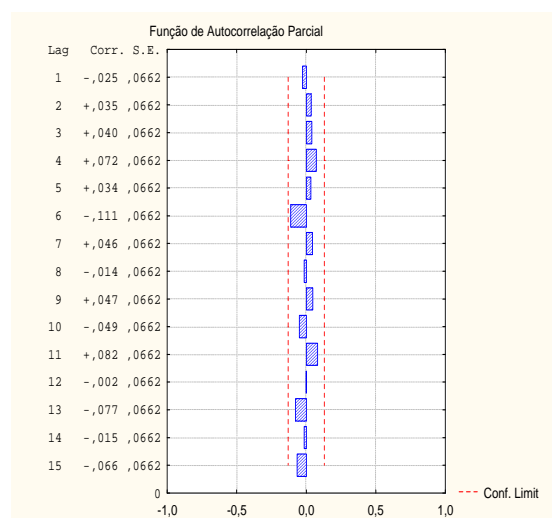
FAC do P\_dist\_7



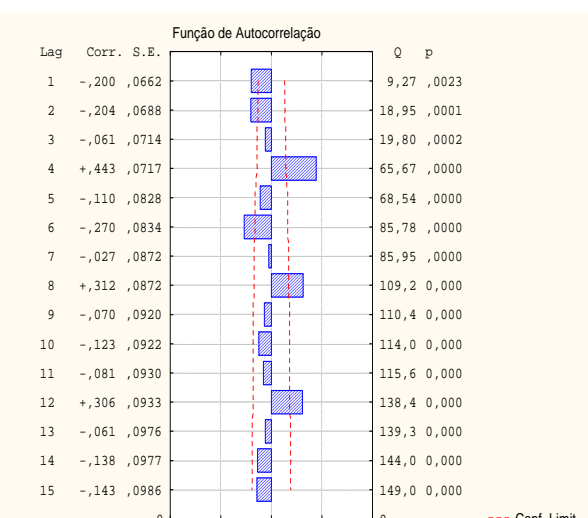
FACP do P\_dist\_7



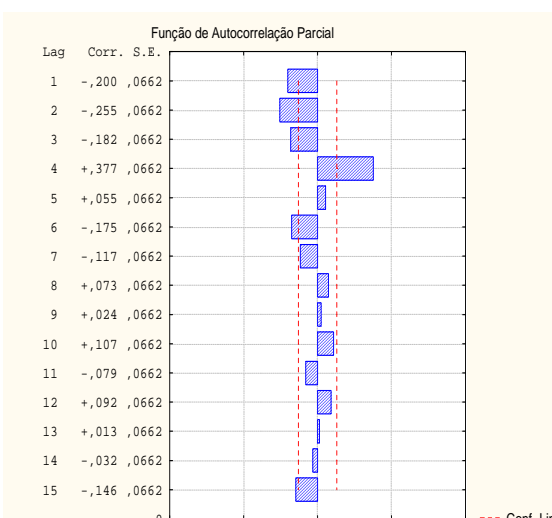
FAC do P\_dist\_8



FACP do P\_dist\_8

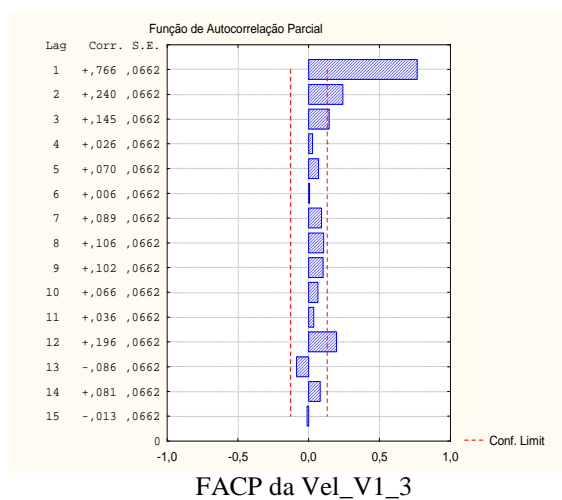
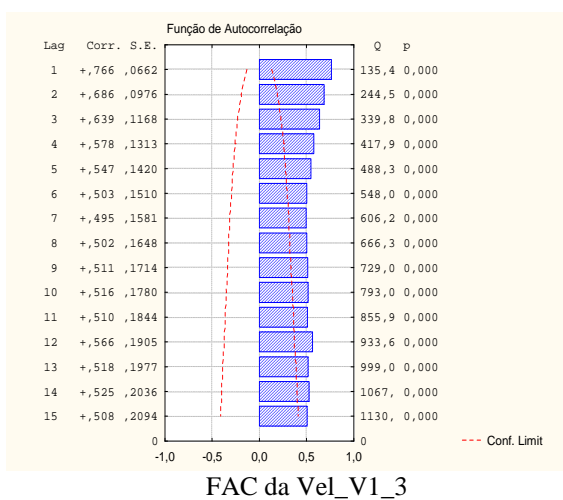
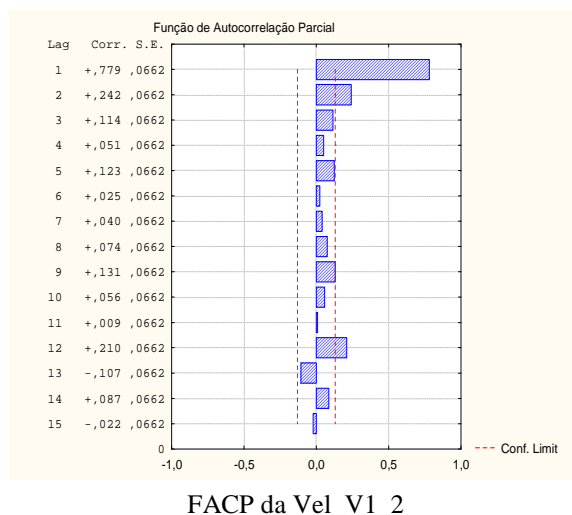
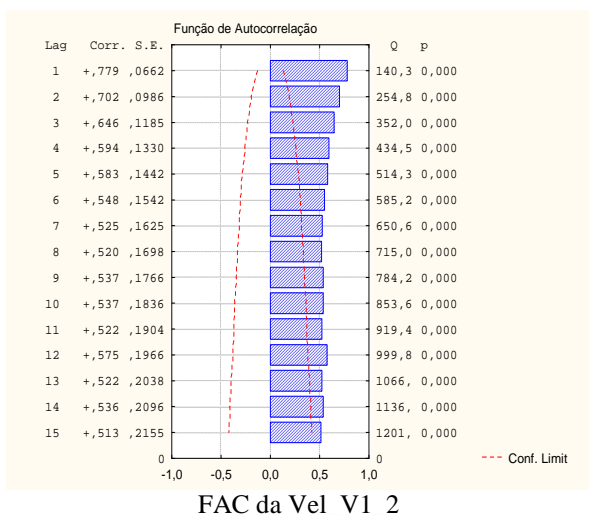
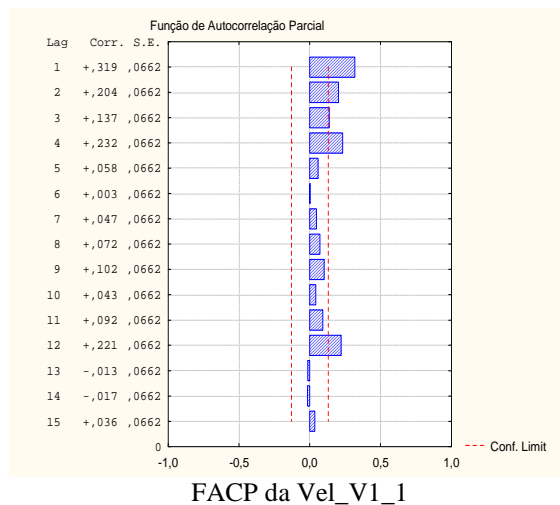
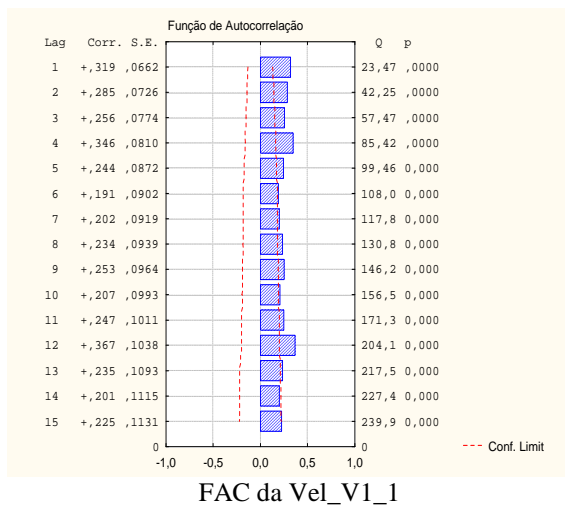


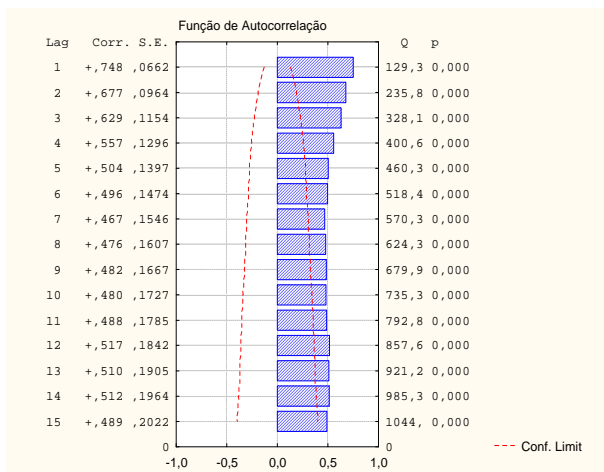
FAC do P\_dist\_9



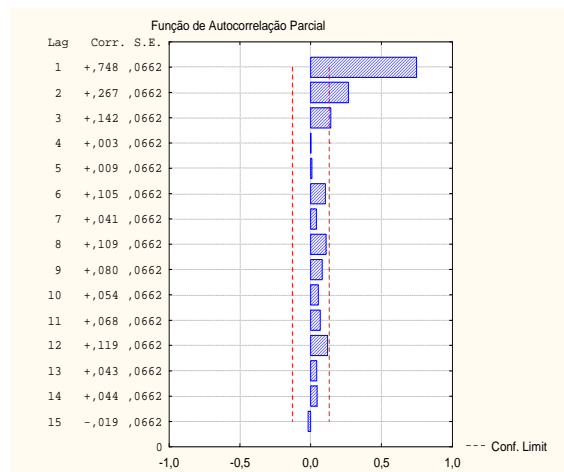
FACP do P\_dist\_9

Apêndice M - FAC e FACP das variáveis originais referentes à velocidade do veio 1

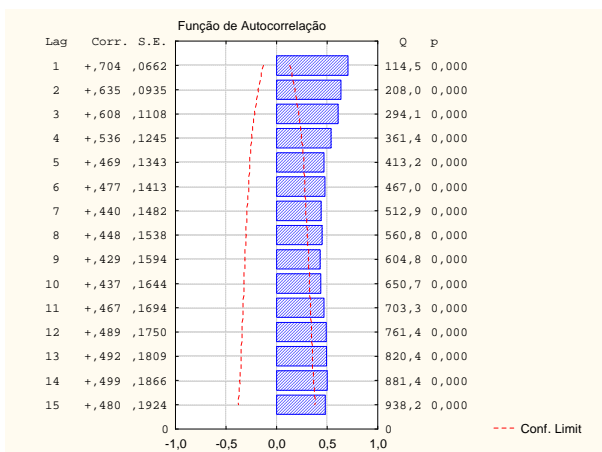




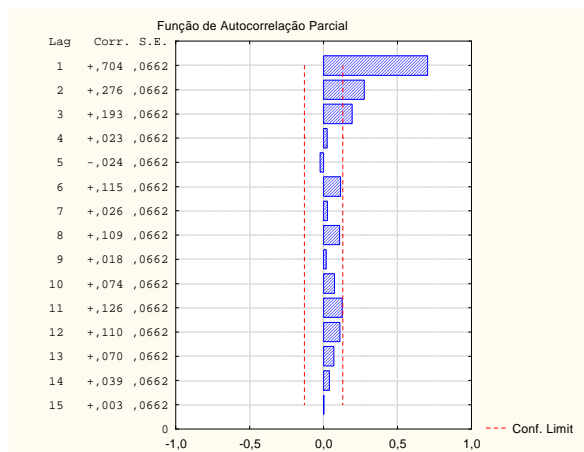
FAC da Vel\_V1\_4



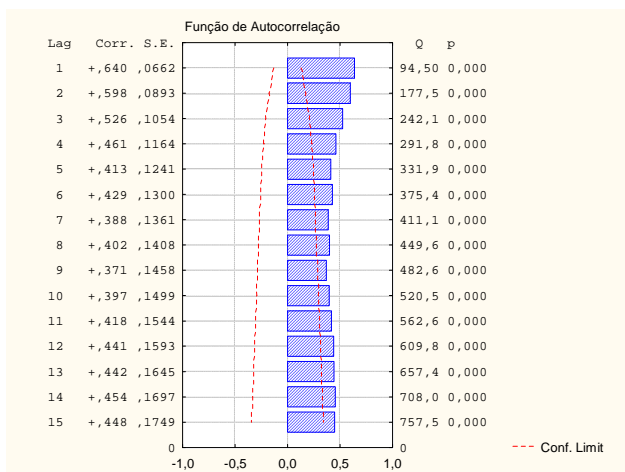
FACP da Vel\_V1\_4



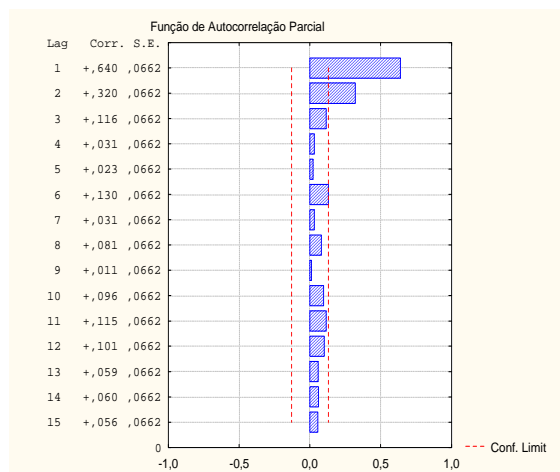
FAC da Vel\_V1\_5



FACP da Vel\_V1\_5

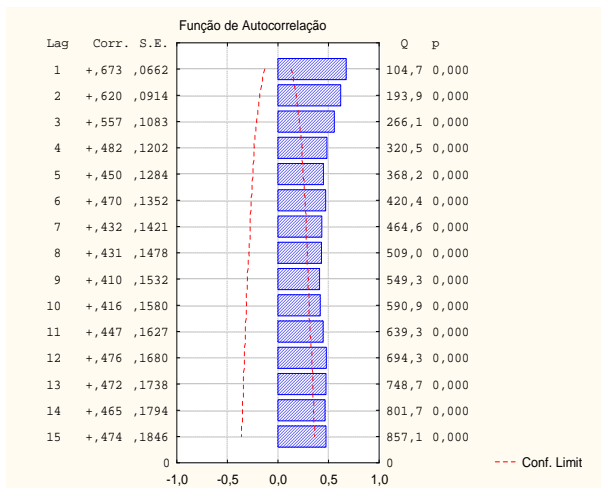


FAC da Vel\_V1\_6

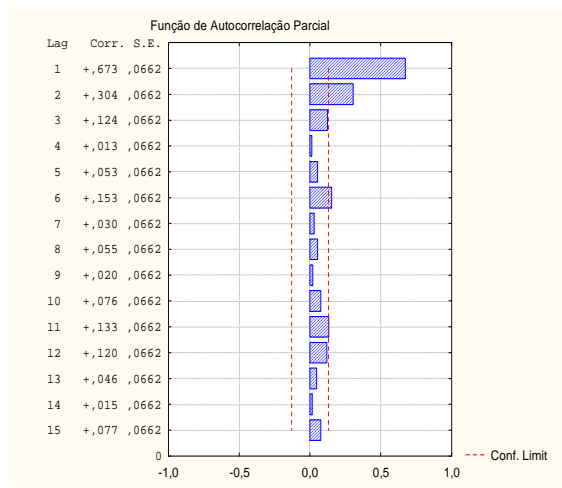


FACP da Vel\_V1\_6

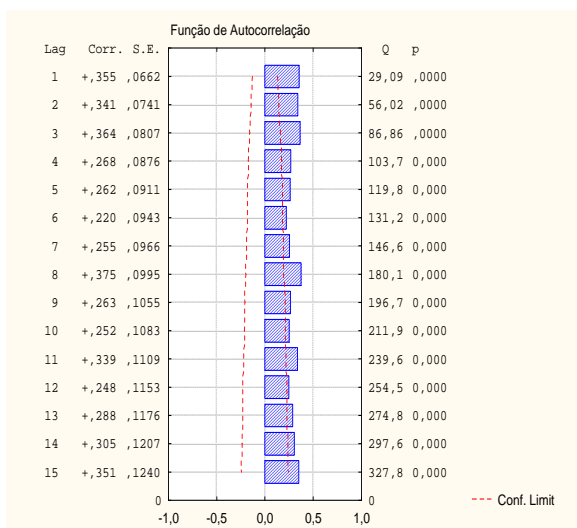




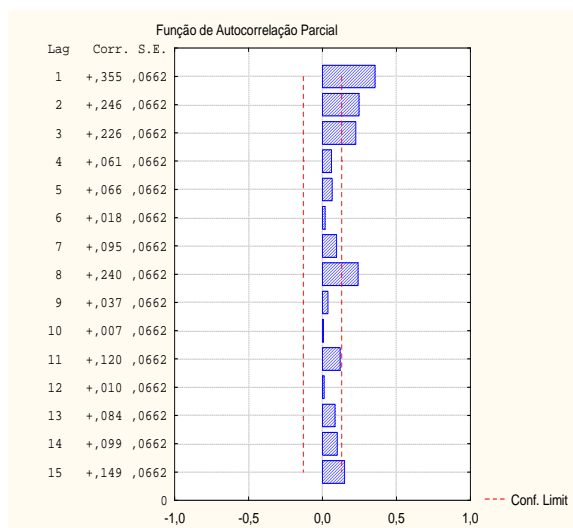
FAC da Vel\_V1\_7



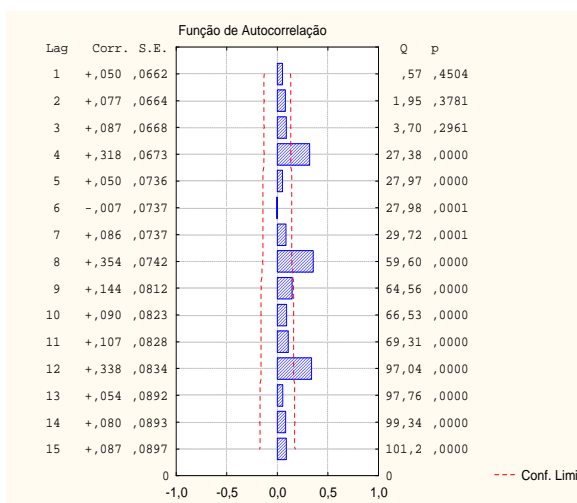
FACP da Vel\_V1\_7



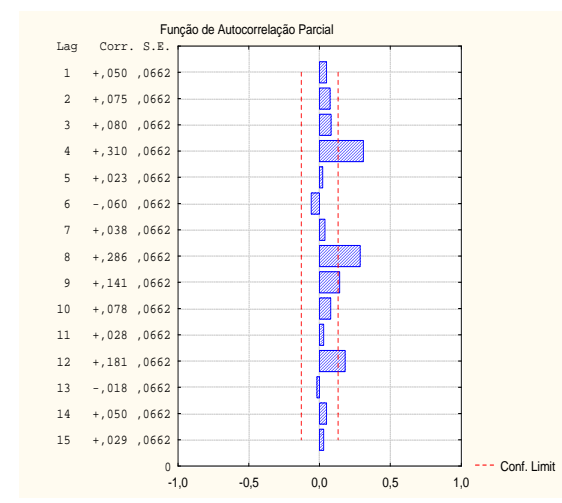
FAC da Vel\_V1\_8



FACP da Vel\_V1\_8

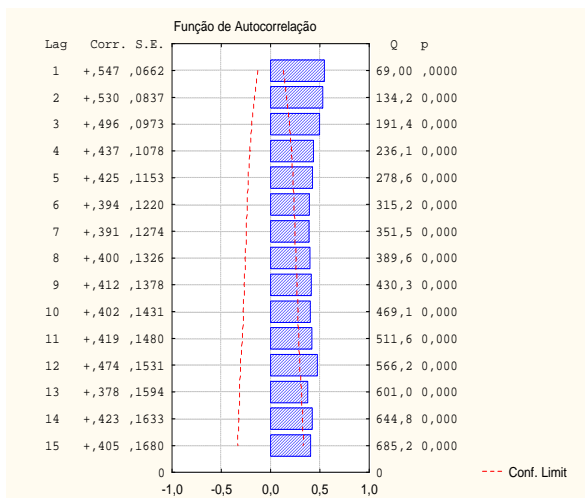


FAC da Vel\_V1\_9

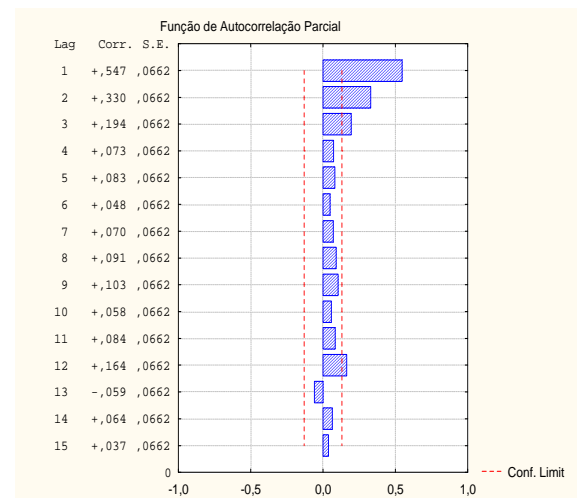


FACP da Vel\_V1\_9

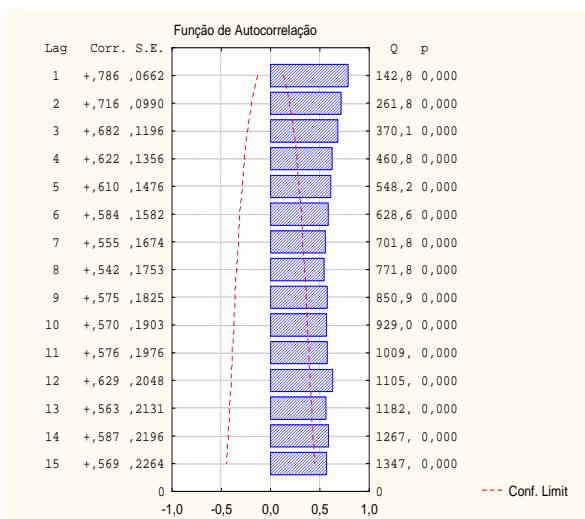
Apêndice N - FAC e FACP das variáveis originais referentes à velocidade do veio 2



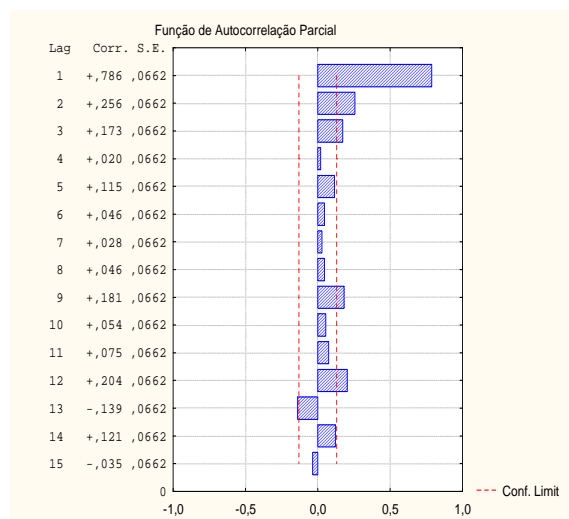
FAC da Vel\_V2\_1



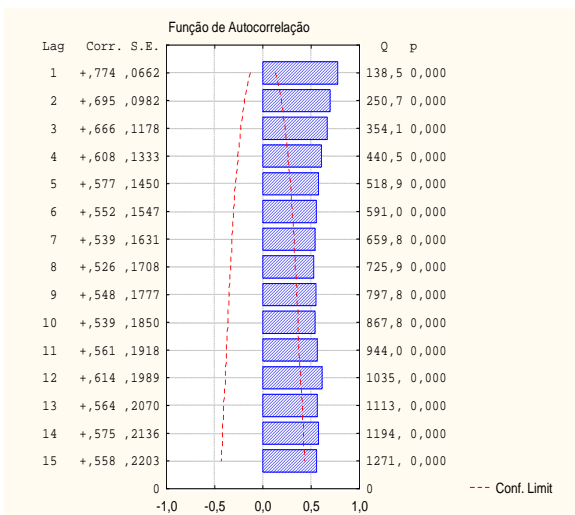
FACP da Vel\_V2\_1



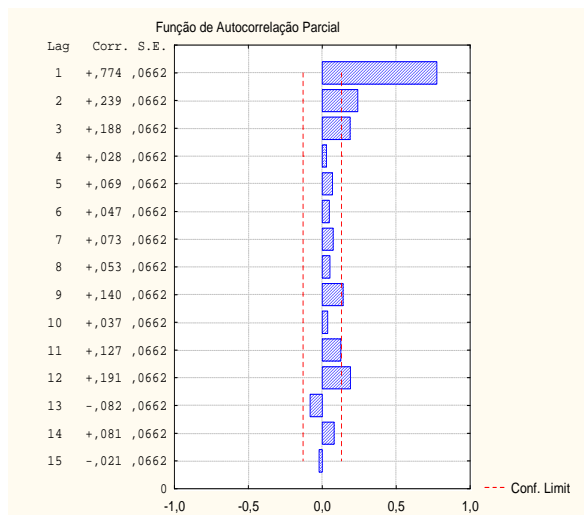
FAC da Vel\_V2\_2



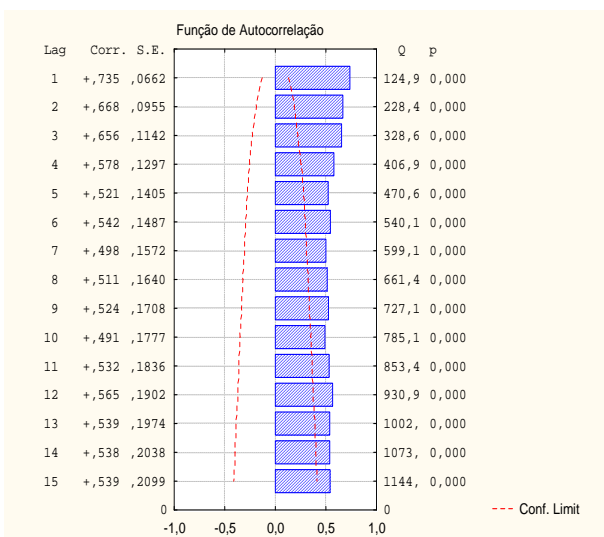
FACP da Vel\_V2\_2



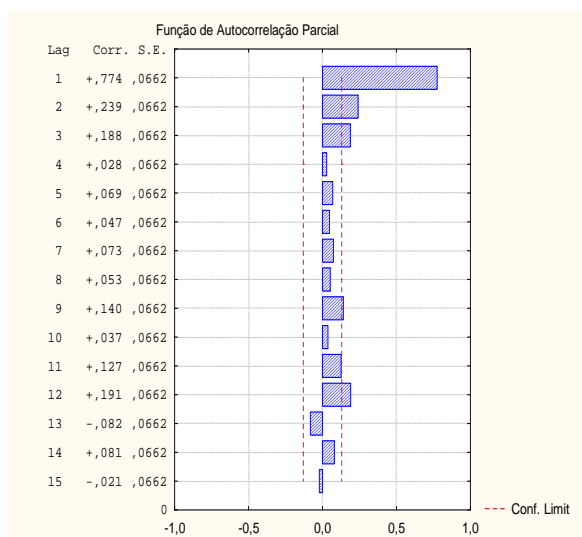
FAC da Vel\_V2\_3



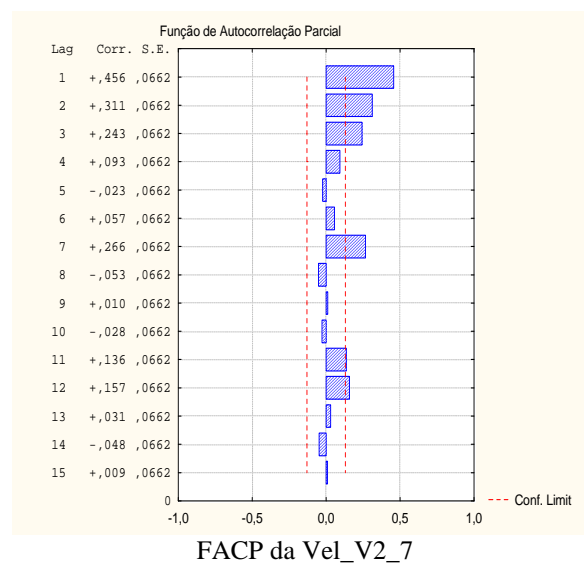
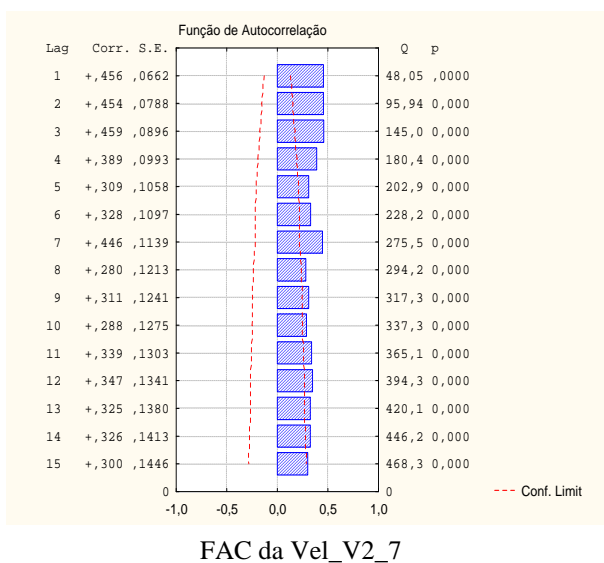
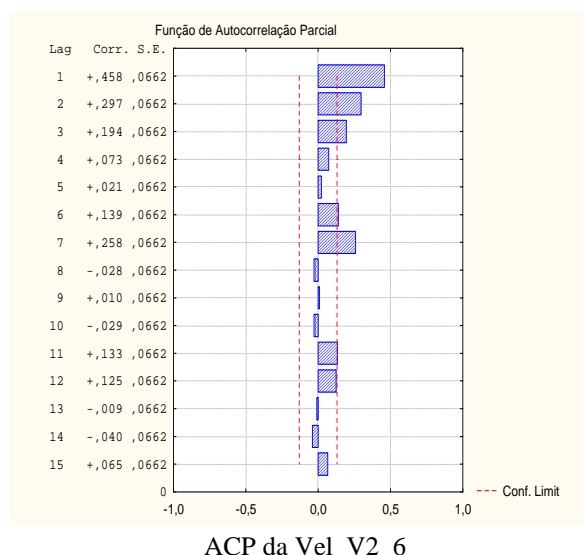
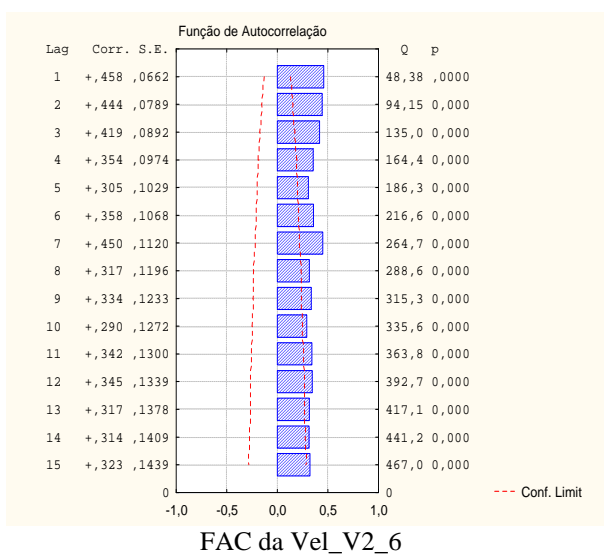
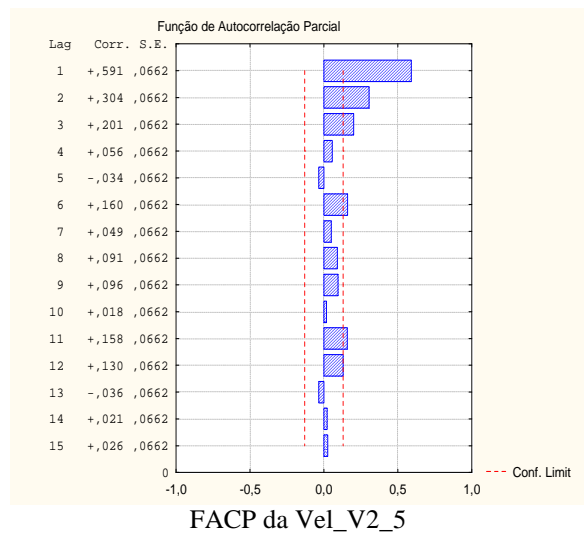
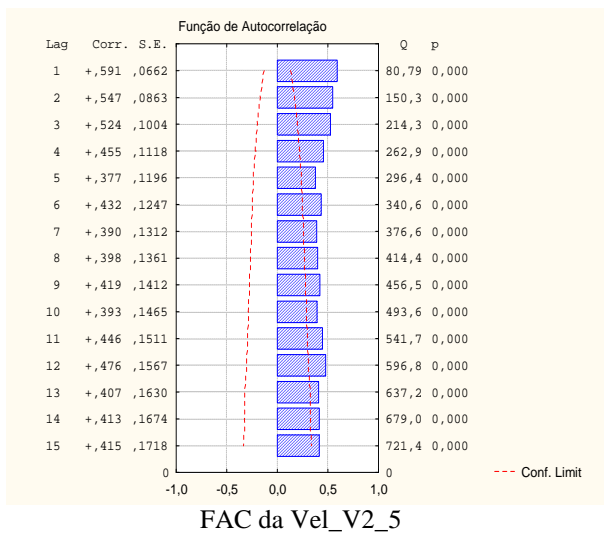
FACP da Vel\_V2\_3

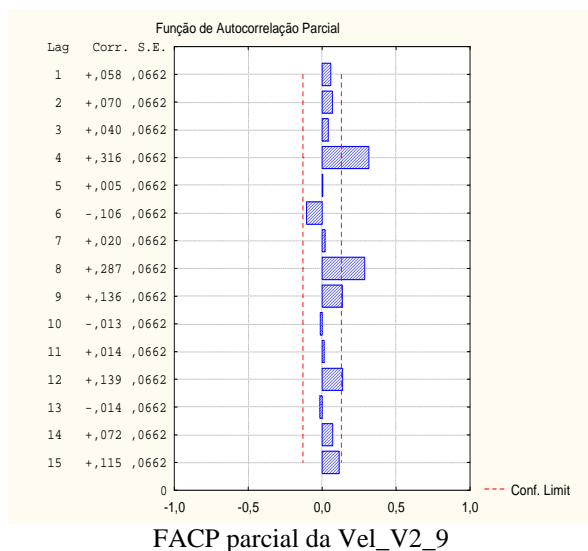
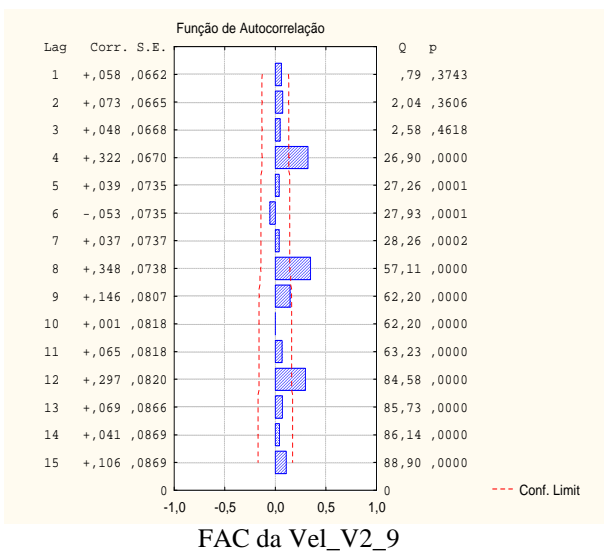
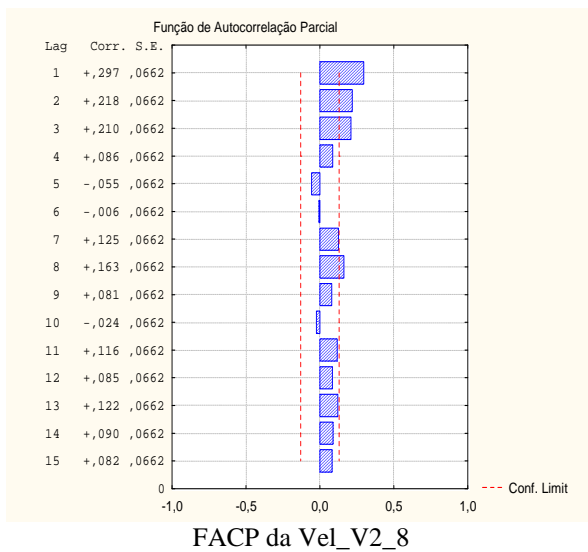
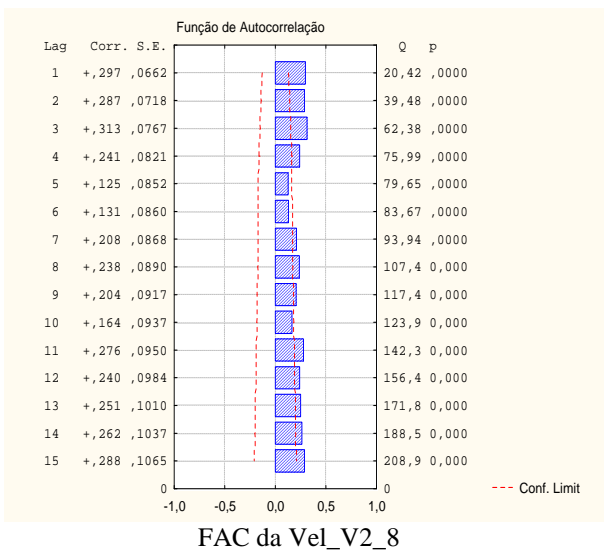


FAC da Vel\_V2\_4

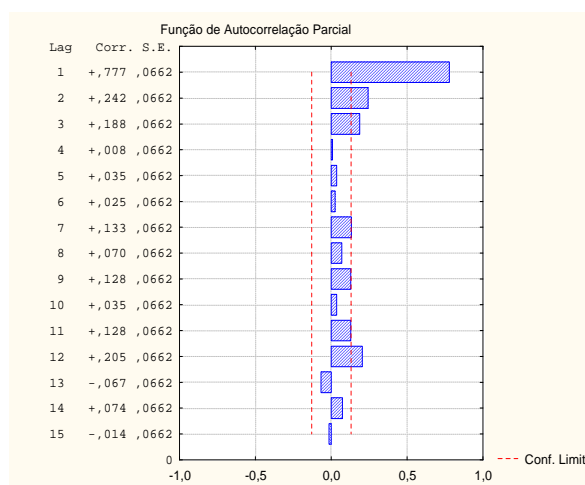
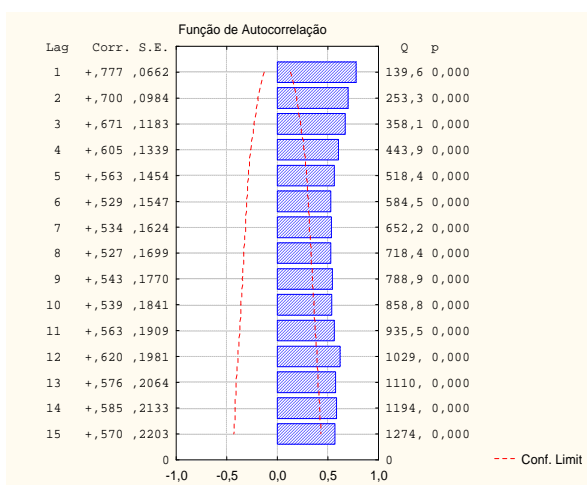
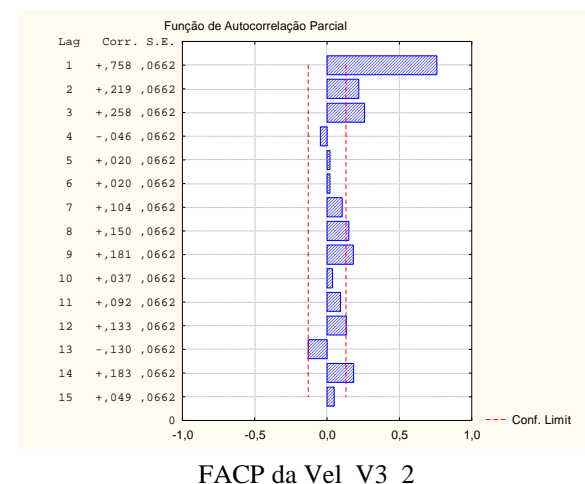
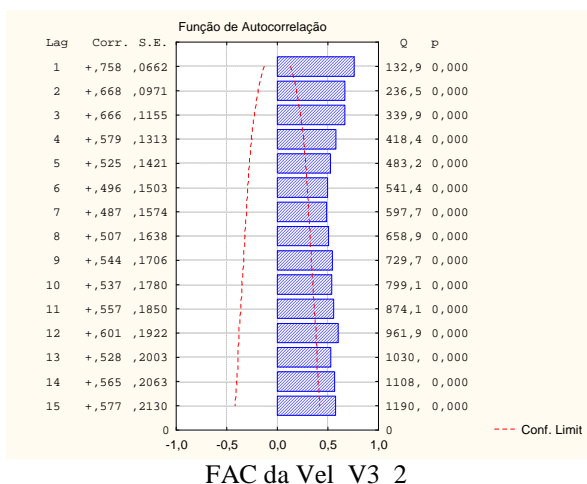
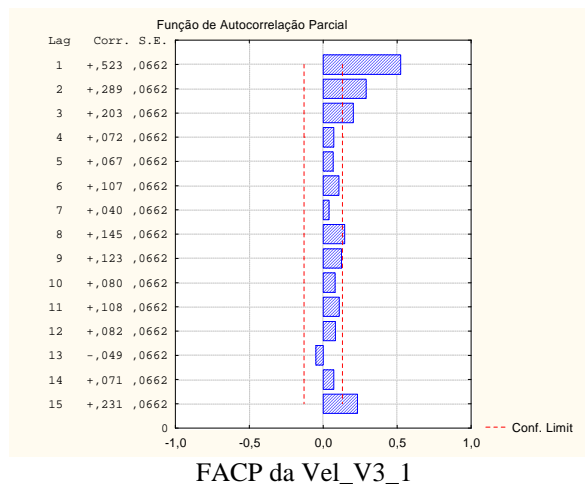
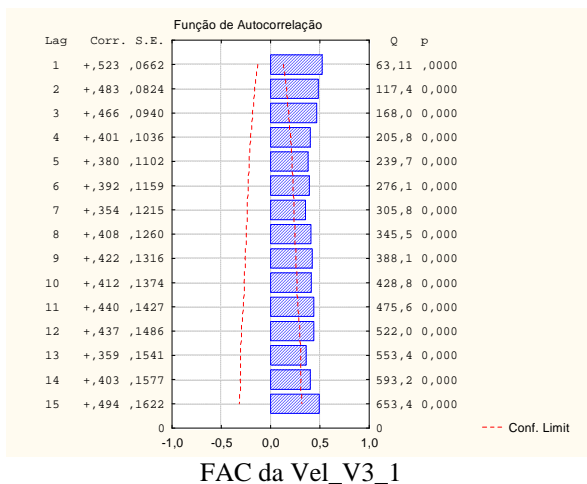


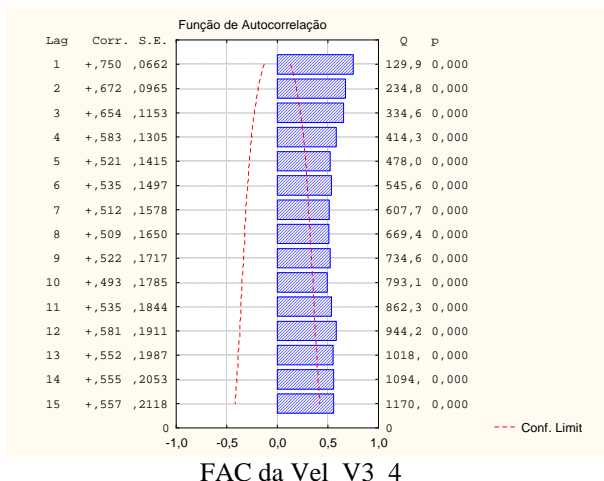
FACP da Vel\_V2\_4



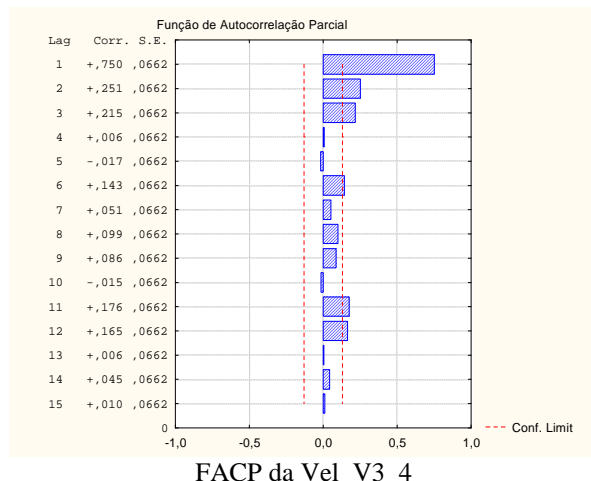


Apêndice O - FAC e FACP das variáveis originais referentes à velocidade do veio 3

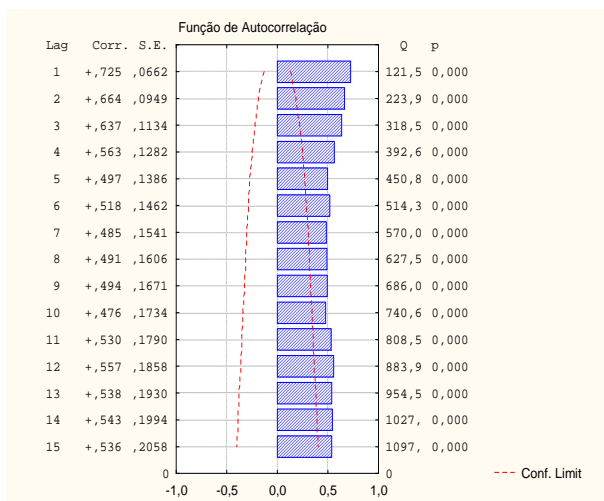




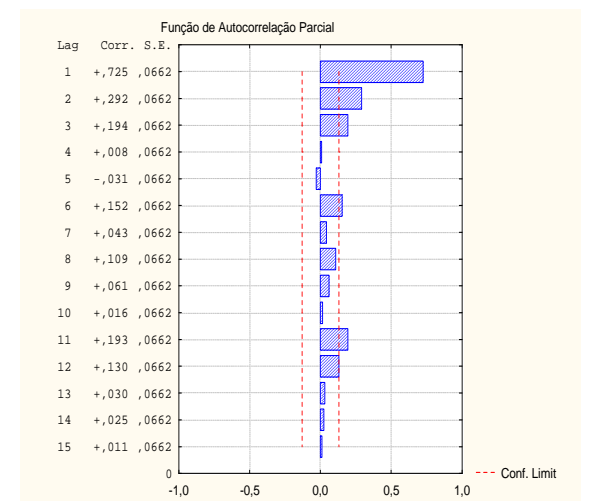
FAC da Vel\_V3\_4



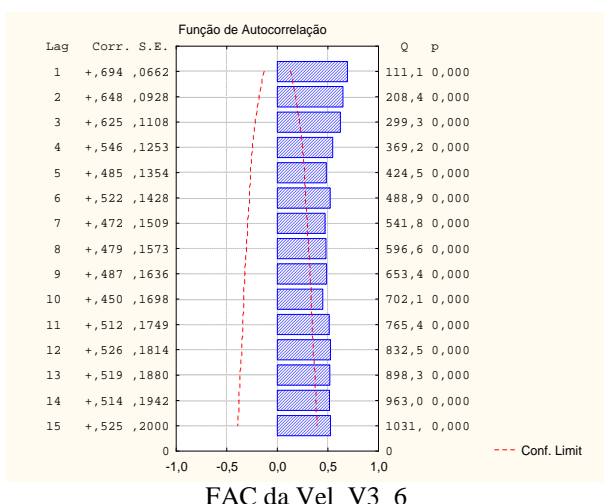
FACP da Vel\_V3\_4



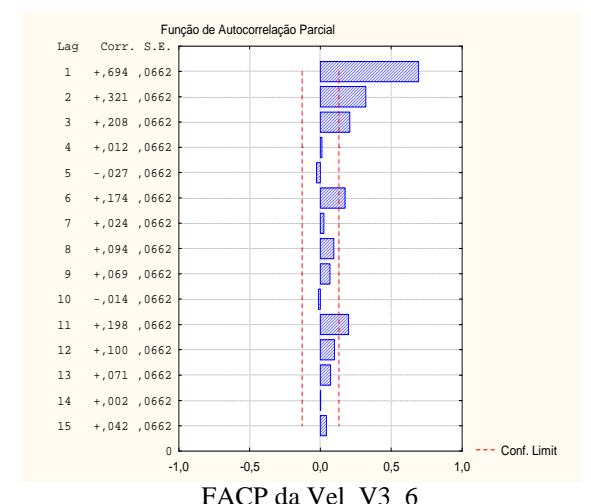
FAC da Vel\_V3\_5



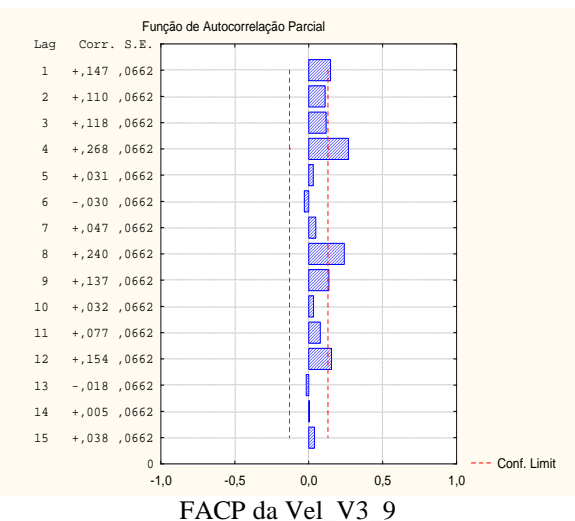
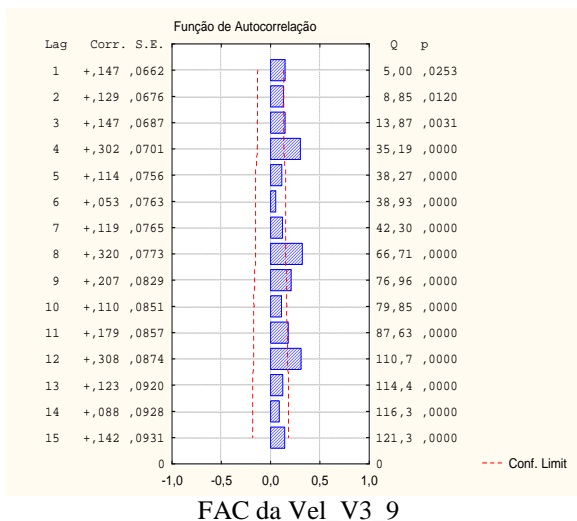
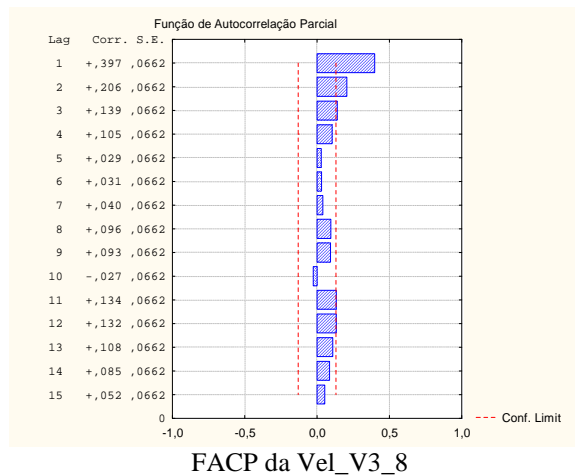
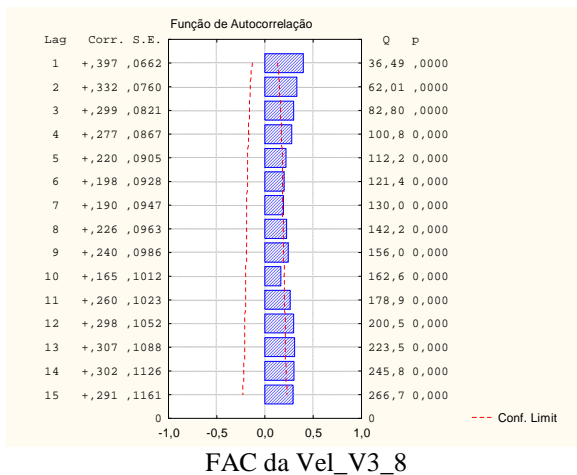
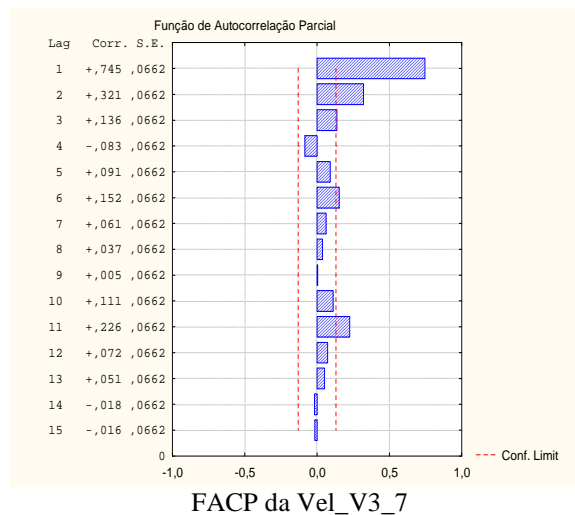
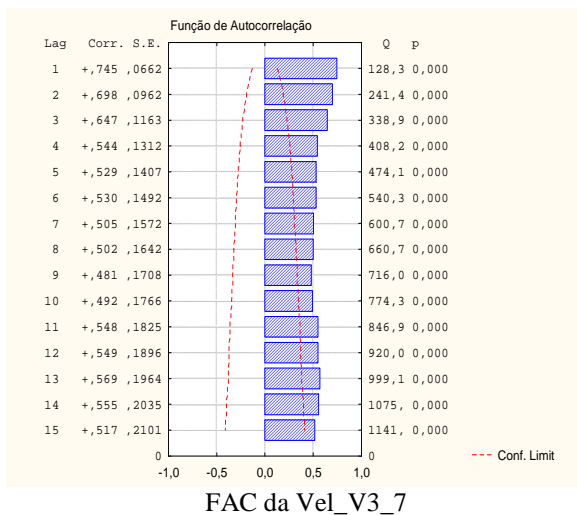
FACP da Vel\_V3\_5



FAC da Vel\_V3\_6

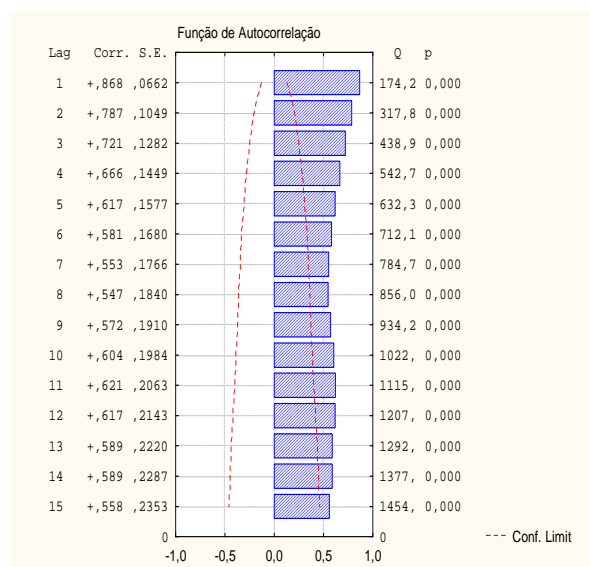


FACP da Vel\_V3\_6

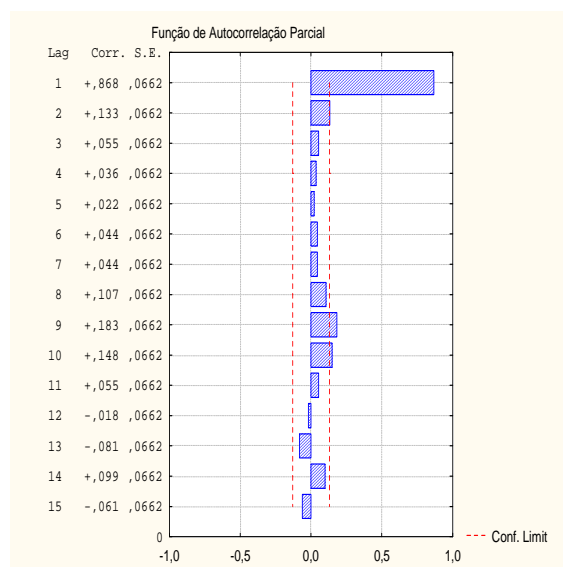




## Apêndice P - FAC e FACP da variável original para a temperatura liquidus

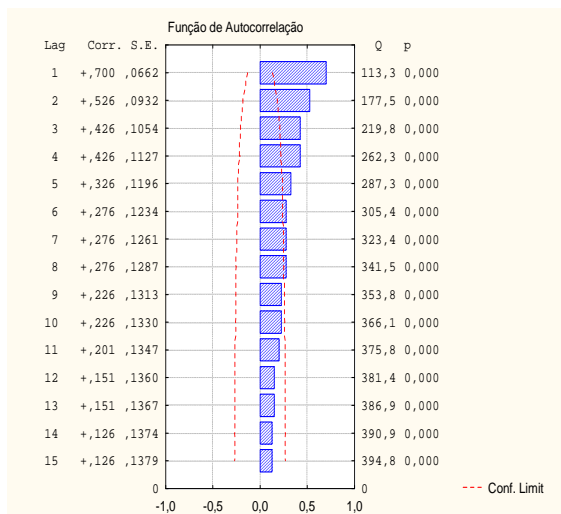


FAC da Temp\_Liquidus

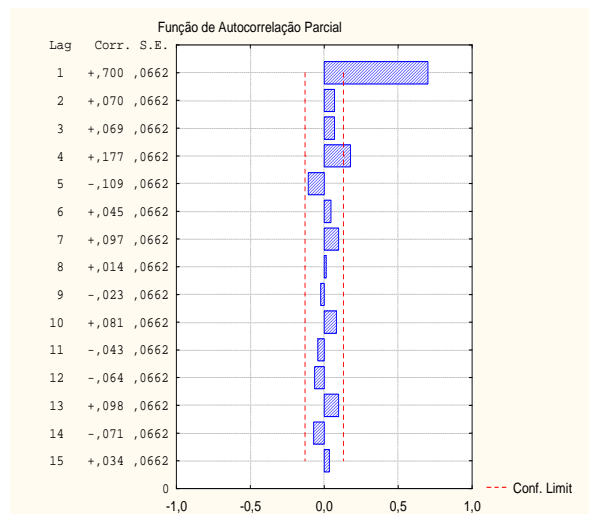


FACP da Temp\_Liquidus

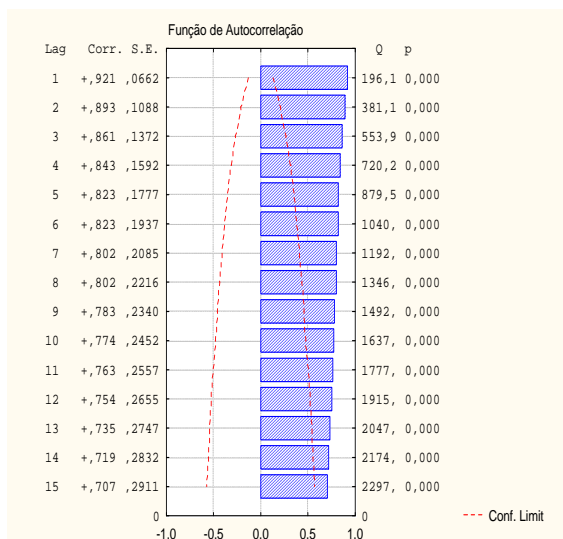
## Apêndice Q - FAC e FACP das variáveis originais referentes à composição química



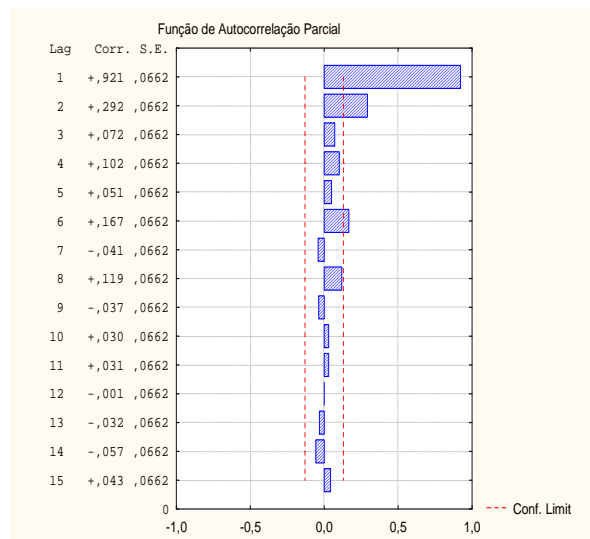
FAC do As



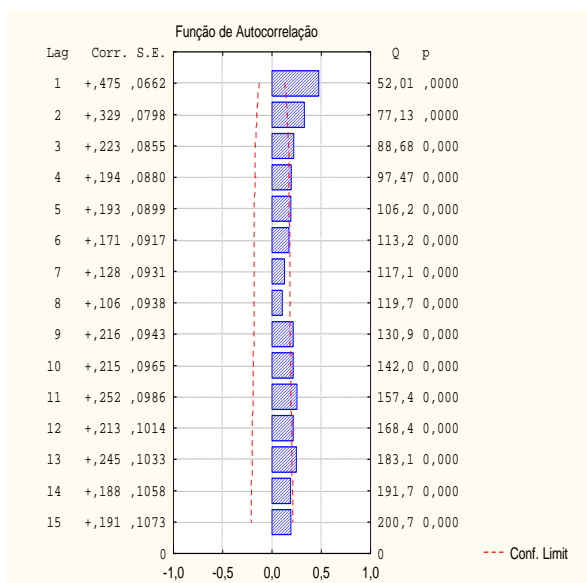
FACP do As



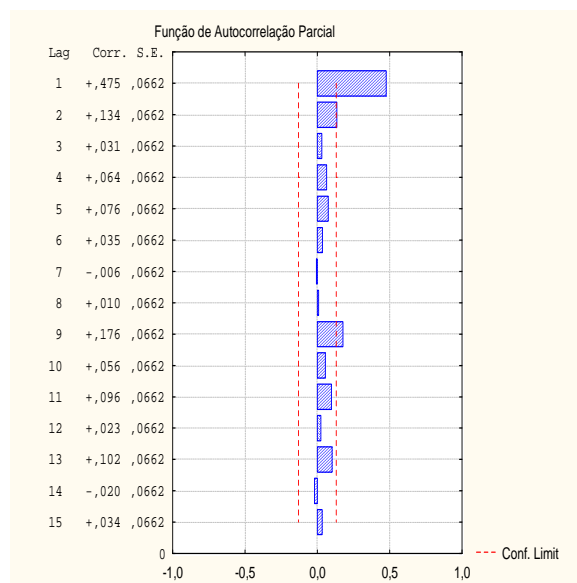
FAC do Btot



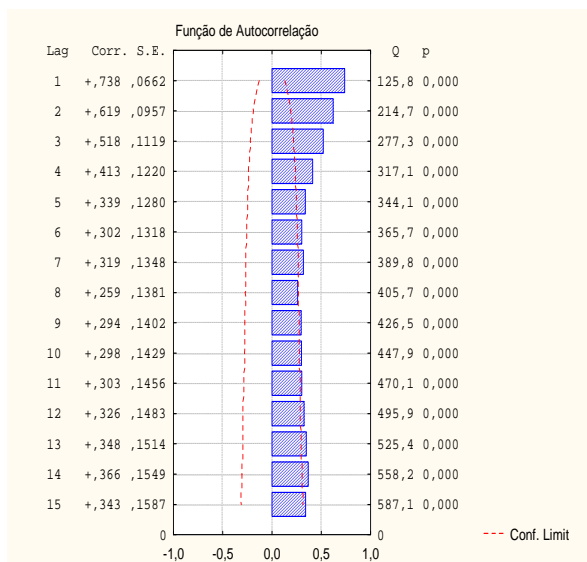
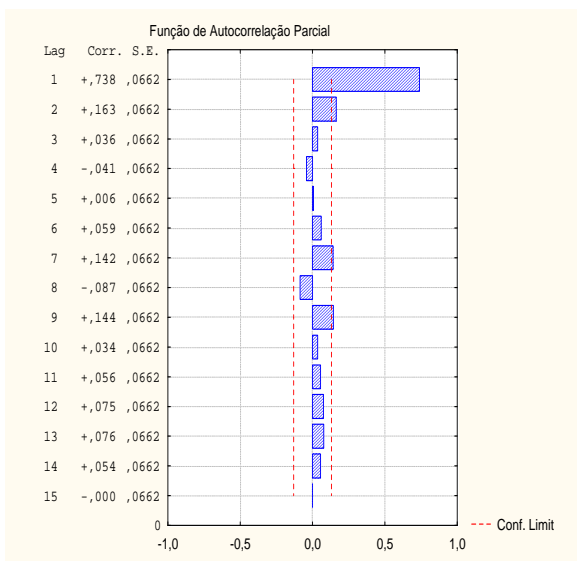
FACP do Btot

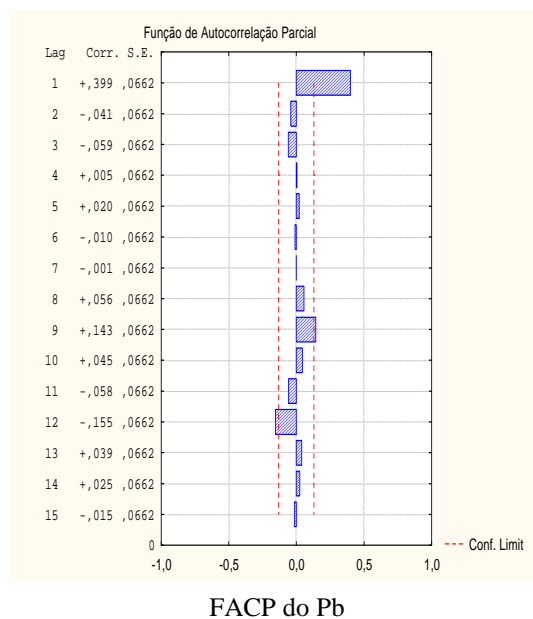
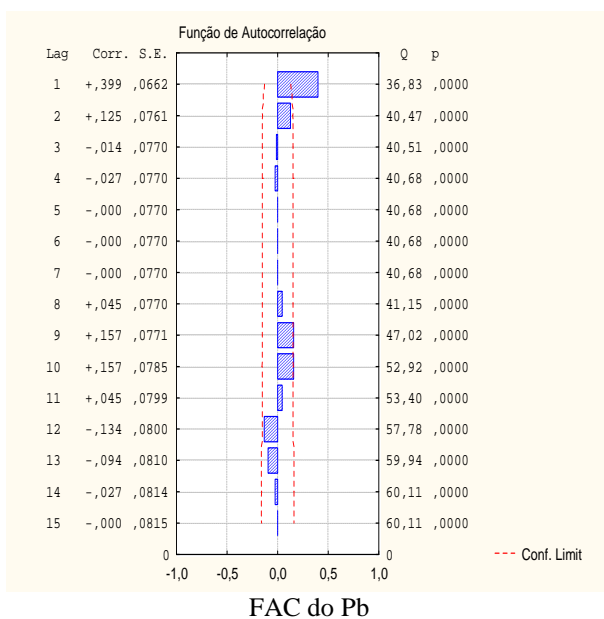
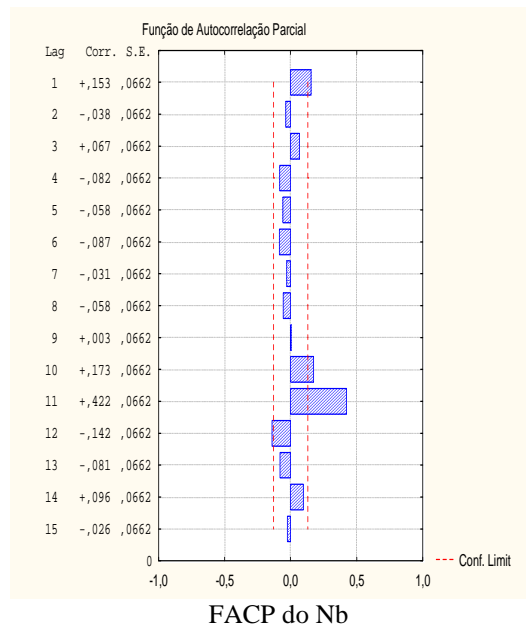
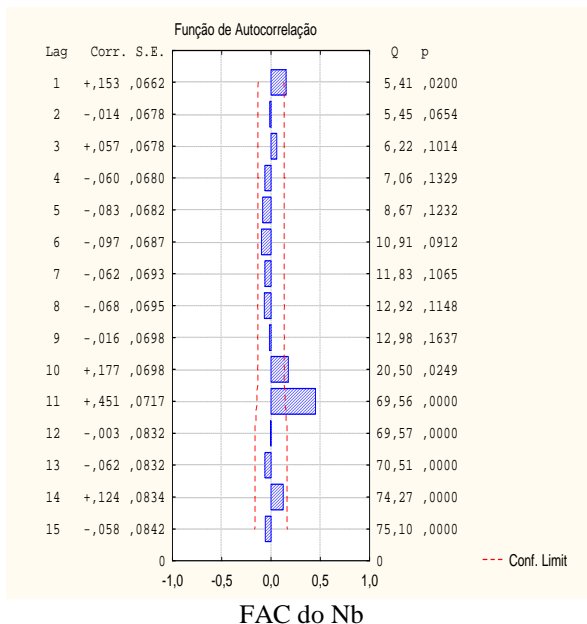


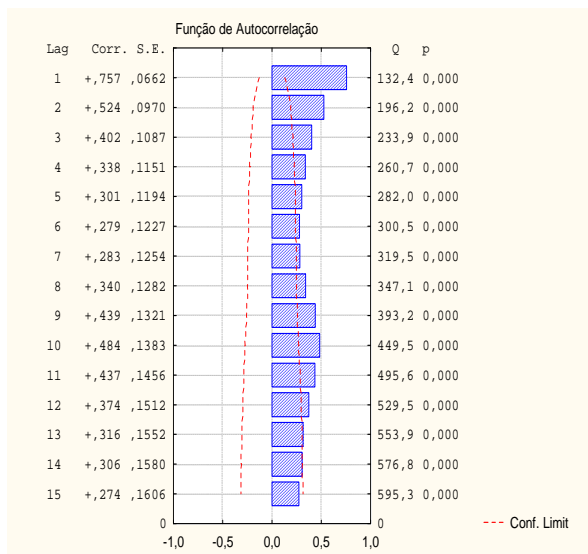
FAC do Ca



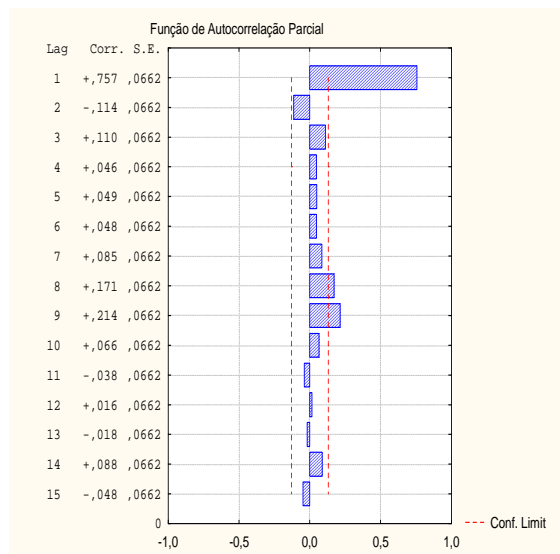
FACP do Ca

FAC do N<sub>2</sub>FACP do N<sub>2</sub>

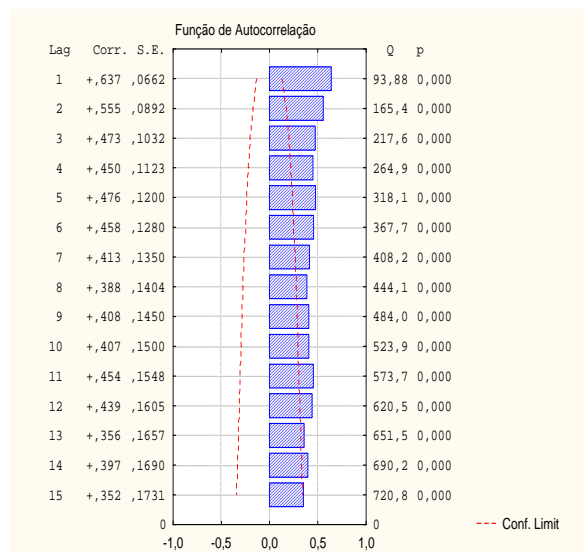




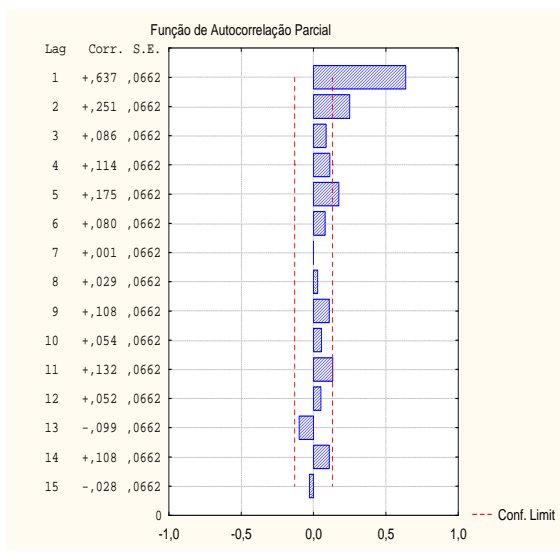
FAC do Sb



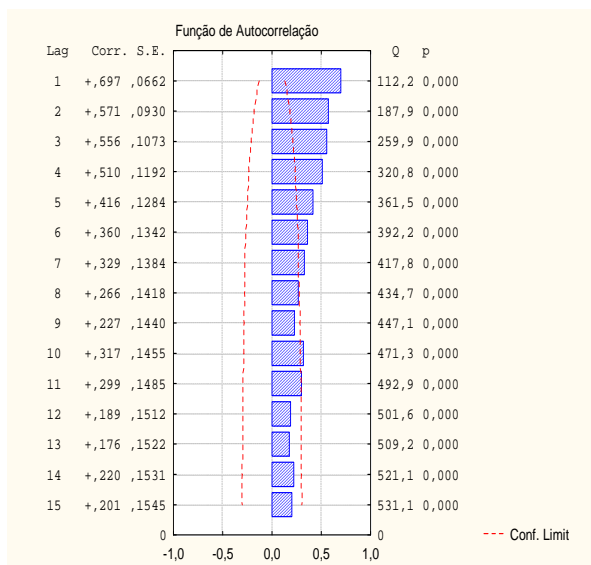
FACP do Sb



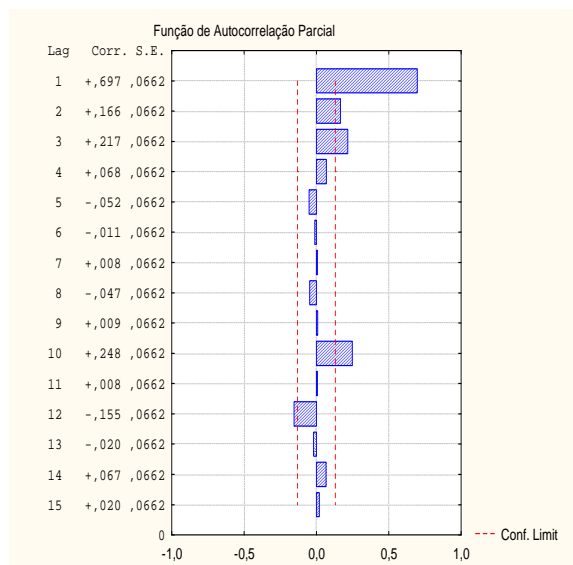
FAC do Titot



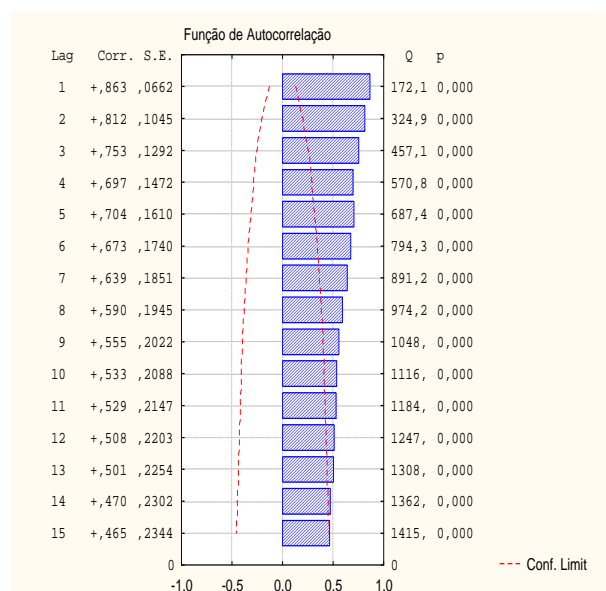
FACP do Titot



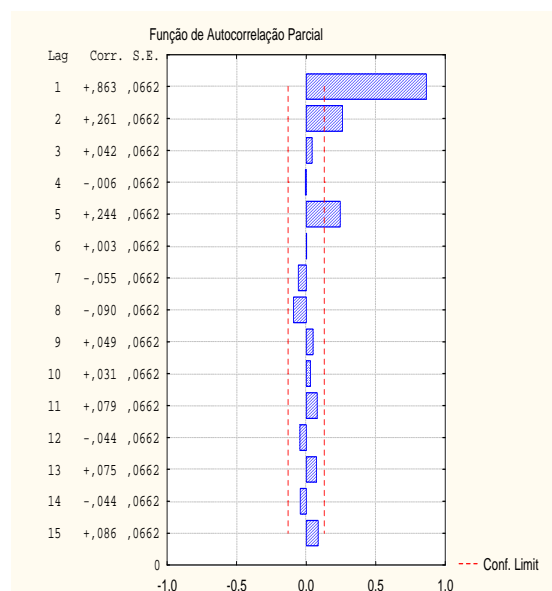
FAC do Zn



FACP do Zn



FAC do Zr



FACP do Zr

## Apêndice R - Correlação entre as temperaturas do aço no distribuidor

Tabela 1 - Autovalores e variância explicada de cada componente para a variável temperatura do aço

Variáveis	Temp_2	Temp_3	Temp_4	Temp_5	Temp_6	Temp_7	Temp_8	Temp_9
Temp_2	1,00							
Temp_3	<b>0,83</b>	1,00						
Temp_4	<b>0,64</b>	<b>0,69</b>	1,00					
Temp_5	<b>0,57</b>	<b>0,57</b>	<b>0,76</b>	1,00				
Temp_6	<b>0,48</b>	<b>0,49</b>	<b>0,63</b>	<b>0,84</b>	1,00			
Temp_7	<b>0,46</b>	<b>0,51</b>	<b>0,63</b>	<b>0,64</b>	<b>0,68</b>	1,00		
Temp_8	0,35	0,38	<b>0,41</b>	0,39	<b>0,41</b>	<b>0,55</b>	1,00	
Temp_9	0,31	0,32	0,39	0,39	0,38	<b>0,40</b>	<b>0,43</b>	1,00

As medições que estão mais correlacionadas são as temp\_2, temp\_3, temp\_4, temp\_5 e temp\_6 com as temp\_4, temp\_5, temp\_6 e temp\_7.

## Apêndice S - Correlação entre os pesos do distribuidor

Tabela 1 - Autovalores e variância explicada de cada componente para a variável peso do distribuidor

Variáveis	P_dist1	P_dist2	P_dist3	P_dist4	P_dist5	P_dist6	P_dist7	P_dist8	P_dist9
P_dist1	1,00								
P_dist2	0,27	1,00							
P_dist3	0,28	<b>0,93</b>	1,00						
P_dist4	0,30	<b>0,78</b>	<b>0,85</b>	1,00					
P_dist5	0,18	<b>0,61</b>	<b>0,65</b>	<b>0,75</b>	1,00				
P_dist6	0,24	<b>0,68</b>	<b>0,68</b>	<b>0,74</b>	<b>0,69</b>	1,00			
P_dist7	0,11	<b>0,49</b>	<b>0,48</b>	<b>0,54</b>	<b>0,45</b>	<b>0,64</b>	1,00		
P_dist8	-0,04	0,02	0,05	0,07	0,03	0,13	0,30	1,00	
P_dist9	-0,12	-0,08	-0,07	-0,08	-0,03	-0,08	0,00	<b>0,59</b>	1,00

As medições que estão mais correlacionadas são os P\_dist2, P\_dist3, P\_dist4 e P\_dist5 com os P\_dist4, P\_dist5, P\_dist6 e P\_dist7.



## Apêndice T - Correlação entre as velocidades dos veios 1, 2 e 3

Tabela 1 - Autovalores e variância explicada de cada componente para a variável velocidade dos veios 1, 2 e 3

Variáveis	Correlação												
	Vel_ V1_1	Vel_ V1_2	Vel_ V1_3	Vel_ V1_4	Vel_ V1_5	Vel_ V1_6	Vel_ V1_7	Vel_ V1_8	Vel_ V1_9	Vel_ V2_1	Vel_ V2_2	Vel_ V2_3	Vel_ V2_4
Vel_V1_1	1,00												
Vel_V1_2	<b>0,67</b>	1,00											
Vel_V1_3	<b>0,67</b>	<b>0,99</b>	1,00										
Vel_V1_4	<b>0,66</b>	<b>0,97</b>	<b>0,99</b>	1,00									
Vel_V1_5	<b>0,65</b>	<b>0,95</b>	<b>0,96</b>	<b>0,99</b>	1,00								
Vel_V1_6	<b>0,61</b>	<b>0,90</b>	<b>0,91</b>	<b>0,94</b>	<b>0,95</b>	1,00							
Vel_V1_7	<b>0,60</b>	<b>0,87</b>	<b>0,89</b>	<b>0,91</b>	<b>0,93</b>	<b>0,98</b>	1,00						
Vel_V1_8	0,37	<b>0,60</b>	<b>0,61</b>	<b>0,61</b>	<b>0,62</b>	<b>0,61</b>	<b>0,63</b>	1,00					
Vel_V1_9	0,22	<b>0,45</b>	<b>0,43</b>	<b>0,45</b>	<b>0,44</b>	<b>0,42</b>	<b>0,41</b>	<b>0,69</b>	1,00				
Vel_V2_1	<b>0,79</b>	<b>0,83</b>	<b>0,82</b>	<b>0,80</b>	<b>0,78</b>	<b>0,73</b>	<b>0,71</b>	<b>0,49</b>	0,33	1,00			
Vel_V2_2	<b>0,67</b>	<b>0,98</b>	<b>0,97</b>	<b>0,96</b>	<b>0,93</b>	<b>0,88</b>	<b>0,86</b>	<b>0,61</b>	<b>0,44</b>	<b>0,85</b>	1,00		
Vel_V2_3	<b>0,67</b>	<b>0,98</b>	<b>0,98</b>	<b>0,97</b>	<b>0,95</b>	<b>0,89</b>	<b>0,87</b>	<b>0,62</b>	<b>0,44</b>	<b>0,85</b>	<b>0,99</b>	1,00	
Vel_V2_4	<b>0,66</b>	<b>0,96</b>	<b>0,97</b>	<b>0,98</b>	<b>0,97</b>	<b>0,92</b>	<b>0,90</b>	<b>0,63</b>	<b>0,44</b>	<b>0,82</b>	<b>0,97</b>	<b>0,98</b>	1,00
Vel_V2_5	<b>0,59</b>	<b>0,86</b>	<b>0,88</b>	<b>0,88</b>	<b>0,88</b>	<b>0,82</b>	<b>0,81</b>	<b>0,54</b>	<b>0,39</b>	<b>0,74</b>	<b>0,87</b>	<b>0,89</b>	<b>0,90</b>
Vel_V2_6	<b>0,53</b>	<b>0,77</b>	<b>0,78</b>	<b>0,79</b>	<b>0,80</b>	<b>0,75</b>	<b>0,73</b>	<b>0,47</b>	<b>0,42</b>	<b>0,65</b>	<b>0,77</b>	<b>0,79</b>	<b>0,81</b>
Vel_V2_7	<b>0,51</b>	<b>0,74</b>	<b>0,75</b>	<b>0,75</b>	<b>0,76</b>	<b>0,76</b>	<b>0,77</b>	<b>0,49</b>	<b>0,40</b>	<b>0,62</b>	<b>0,75</b>	<b>0,76</b>	<b>0,77</b>
Vel_V2_8	0,37	<b>0,58</b>	<b>0,60</b>	<b>0,59</b>	<b>0,60</b>	<b>0,57</b>	<b>0,58</b>	<b>0,79</b>	<b>0,65</b>	<b>0,47</b>	<b>0,59</b>	<b>0,61</b>	<b>0,60</b>
Vel_V2_9	0,21	<b>0,43</b>	<b>0,42</b>	<b>0,42</b>	<b>0,42</b>	0,38	0,37	<b>0,68</b>	<b>0,90</b>	0,32	<b>0,42</b>	<b>0,43</b>	<b>0,42</b>
Vel_V3_1	<b>0,76</b>	<b>0,80</b>	<b>0,80</b>	<b>0,78</b>	<b>0,77</b>	<b>0,72</b>	<b>0,71</b>	<b>0,49</b>	0,33	<b>0,80</b>	<b>0,82</b>	<b>0,82</b>	<b>0,80</b>
Vel_V3_2	<b>0,68</b>	<b>0,96</b>	<b>0,95</b>	<b>0,94</b>	<b>0,92</b>	<b>0,87</b>	<b>0,85</b>	<b>0,59</b>	<b>0,42</b>	<b>0,83</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,96</b>
Vel_V3_3	<b>0,66</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,96</b>	<b>0,94</b>	<b>0,88</b>	<b>0,87</b>	<b>0,62</b>	<b>0,43</b>	<b>0,84</b>	<b>0,98</b>	<b>0,99</b>	<b>0,98</b>
Vel_V3_4	<b>0,65</b>	<b>0,95</b>	<b>0,96</b>	<b>0,97</b>	<b>0,96</b>	<b>0,91</b>	<b>0,89</b>	<b>0,63</b>	<b>0,44</b>	<b>0,82</b>	<b>0,97</b>	<b>0,98</b>	<b>0,99</b>
Vel_V3_5	<b>0,64</b>	<b>0,93</b>	<b>0,94</b>	<b>0,96</b>	<b>0,97</b>	<b>0,92</b>	<b>0,90</b>	<b>0,63</b>	<b>0,44</b>	<b>0,80</b>	<b>0,95</b>	<b>0,96</b>	<b>0,98</b>
Vel_V3_6	<b>0,65</b>	<b>0,92</b>	<b>0,93</b>	<b>0,95</b>	<b>0,97</b>	<b>0,93</b>	<b>0,92</b>	<b>0,61</b>	<b>0,43</b>	<b>0,79</b>	<b>0,93</b>	<b>0,95</b>	<b>0,97</b>
Vel_V3_7	<b>0,63</b>	<b>0,90</b>	<b>0,90</b>	<b>0,92</b>	<b>0,93</b>	<b>0,91</b>	<b>0,92</b>	<b>0,60</b>	0,39	<b>0,77</b>	<b>0,92</b>	<b>0,93</b>	<b>0,95</b>
Vel_V3_8	<b>0,44</b>	<b>0,61</b>	<b>0,61</b>	<b>0,61</b>	<b>0,61</b>	<b>0,56</b>	<b>0,55</b>	<b>0,77</b>	<b>0,65</b>	<b>0,58</b>	<b>0,63</b>	<b>0,64</b>	<b>0,64</b>
Vel_V3_9	0,28	<b>0,47</b>	<b>0,46</b>	<b>0,47</b>	<b>0,47</b>	<b>0,45</b>	<b>0,44</b>	<b>0,67</b>	<b>0,91</b>	<b>0,42</b>	<b>0,48</b>	<b>0,48</b>	<b>0,48</b>

Variáveis	Vel_ V2_5	Vel_ V2_6	Vel_ V2_7	Vel_ V2_8	Vel_ V2_9	Vel_ V3_1	Vel_ V3_2	Vel_ V3_3	Vel_ V3_4	Vel_ V3_5	Vel_ V3_6	Vel_ V3_7	Vel_ V3_8	Vel_ V3_9
Vel_V1_1														
Vel_V1_2														
Vel_V1_3														
Vel_V1_4														
Vel_V1_5														
Vel_V1_6														
Vel_V1_7														
Vel_V1_8														
Vel_V1_9														
Vel_V2_1														
Vel_V2_2														
Vel_V2_3														
Vel_V2_4														
Vel_V2_5	1,00													
Vel_V2_6	<b>0,90</b>	1,00												
Vel_V2_7	<b>0,87</b>	<b>0,97</b>	1,00											
Vel_V2_8	<b>0,67</b>	<b>0,72</b>	<b>0,71</b>	1,00										
Vel_V2_9	<b>0,46</b>	<b>0,49</b>	<b>0,47</b>	<b>0,72</b>	1,00									
Vel_V3_1	<b>0,72</b>	<b>0,64</b>	<b>0,61</b>	<b>0,47</b>	0,31	1,00								
Vel_V3_2	<b>0,86</b>	<b>0,76</b>	<b>0,73</b>	<b>0,58</b>	<b>0,41</b>	<b>0,84</b>	1,00							
Vel_V3_3	<b>0,88</b>	<b>0,78</b>	<b>0,75</b>	<b>0,60</b>	<b>0,43</b>	<b>0,81</b>	<b>0,97</b>	1,00						
Vel_V3_4	<b>0,90</b>	<b>0,81</b>	<b>0,77</b>	<b>0,61</b>	<b>0,43</b>	<b>0,80</b>	<b>0,96</b>	<b>0,99</b>	1,00					
Vel_V3_5	<b>0,89</b>	<b>0,81</b>	<b>0,77</b>	<b>0,61</b>	<b>0,42</b>	<b>0,79</b>	<b>0,95</b>	<b>0,97</b>	<b>0,99</b>	1,00				
Vel_V3_6	<b>0,89</b>	<b>0,81</b>	<b>0,78</b>	<b>0,60</b>	<b>0,41</b>	<b>0,78</b>	<b>0,93</b>	<b>0,95</b>	<b>0,98</b>	<b>0,99</b>	1,00			
Vel_V3_7	<b>0,85</b>	<b>0,77</b>	<b>0,77</b>	<b>0,56</b>	0,37	<b>0,77</b>	<b>0,91</b>	<b>0,93</b>	<b>0,95</b>	<b>0,96</b>	<b>0,97</b>	1,00		
Vel_V3_8	<b>0,55</b>	<b>0,49</b>	<b>0,46</b>	<b>0,73</b>	<b>0,67</b>	<b>0,51</b>	<b>0,62</b>	<b>0,63</b>	<b>0,64</b>	<b>0,64</b>	<b>0,63</b>	<b>0,60</b>	1,00	
Vel_V3_9	<b>0,43</b>	<b>0,46</b>	<b>0,44</b>	<b>0,65</b>	<b>0,88</b>	0,36	<b>0,46</b>	<b>0,47</b>	<b>0,48</b>	<b>0,48</b>	<b>0,47</b>	<b>0,42</b>	<b>0,72</b>	1,00

Na velocidade dos veios 1, 2 e 3, todas as medições estão altamente correlacionadas entre si.

## Apêndice U - Correlação entre os elementos da composição química

Tabela 1 - Autovalores e variância explicada de cada componente para a variável composição química

Variáveis	As	Btot	Ca	N <sub>2</sub>	Nb	Pb	Sb	Titot	Zn	Zr
As	1,00									
Btot	-0,31	1,00								
Ca	-0,27	<b>0,41</b>	1,00							
N <sub>2</sub>	-0,26	<b>0,66</b>	0,35	1,00						
Nb	0,13	-0,09	-0,04	0,06	1,00					
Pb	0,00	0,15	0,12	0,13	0,06	1,00				
Sb	0,29	<b>-0,63</b>	-0,38	-0,36	<b>0,41</b>	-0,12	1,00			
Titot	-0,14	<b>0,71</b>	0,38	<b>0,71</b>	0,15	0,22	-0,39	1,00		
Zn	-0,17	<b>0,41</b>	0,39	<b>0,58</b>	-0,08	0,17	-0,30	<b>0,51</b>	1,00	
Zr	0,37	<b>-0,78</b>	<b>-0,42</b>	<b>-0,52</b>	0,19	-0,12	<b>0,66</b>	<b>-0,52</b>	<b>-0,40</b>	1,00

As medições que estão mais correlacionadas na composição química são os elementos Btot, N<sub>2</sub> e Titot, com Titot, Zn e Zr.

## Apêndice V - Componentes principais da variável temperatura do aço no distribuidor

Cases	Componentes Principais							
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8
1	0,39865	0,22605	-0,22445	0,10179	0,01353	0,02797	-0,15847	-0,03222
2	1,65940	0,85716	-0,11429	0,08779	-0,24260	-0,07925	0,06459	0,00194
3	4,65282	0,89640	-1,76280	-1,89622	-4,18603	1,39946	-0,79306	-0,64777
4	1,40226	-0,27324	-0,29364	-0,24845	-0,03135	-0,09057	-0,07575	-0,12510
5	2,01538	1,17627	0,37150	-3,15030	1,41729	-0,78309	0,00878	-0,05427
6	-0,50520	1,29178	-0,15389	-2,00516	0,60864	-0,39983	0,22805	-0,05714
7	-1,79488	1,03065	-0,51639	-1,38399	-1,51042	0,60935	-0,19832	-0,28993
8	1,74731	0,34195	-0,40315	0,16213	-0,11163	-0,66181	0,68863	-0,27289
9	2,26266	1,27247	0,49839	0,23869	0,27258	-0,15461	0,03017	-0,05696
10	0,70772	2,20627	0,09921	0,26560	1,33086	1,67522	0,80762	0,38587
11	8,76704	-0,03786	0,07230	0,48736	0,09306	-0,47109	-0,23701	-0,12070
12	5,58973	-0,03831	0,30360	0,49420	0,11395	-0,15545	-0,26535	-0,00317
13	4,15729	-1,12222	-0,75761	0,12519	-0,24919	-0,08581	-0,13022	-0,12190
14	-2,28545	-2,34426	1,80596	-0,53447	0,07713	1,34886	0,22972	-0,21054
15	1,54690	-0,91185	-0,71843	-0,08757	-0,17267	-0,05455	-0,13877	-0,08918
16	0,14298	1,30159	0,04770	0,30941	-0,18575	0,05098	0,09817	-0,09582
17	2,48270	0,06402	0,21168	0,41480	0,11118	-0,14560	-0,11361	-0,00705
18	3,53348	-0,00068	-0,29229	0,07440	0,04167	-0,17416	-0,03790	-0,07307
19	1,52543	-0,32343	-0,31000	0,15792	0,00079	-0,12805	-0,09152	-0,02935
20	0,57451	0,14464	-0,17821	0,07869	0,01456	-0,09054	-0,04639	-0,07586
21	1,03620	0,00607	-0,27953	-0,01423	0,04608	-0,20630	-0,02607	-0,05413
22	1,06659	-0,67400	-0,98397	0,18018	-0,09180	-0,11163	-0,01803	-0,04080
23	0,60049	-0,72465	-0,23300	0,26048	0,07828	-0,17974	-0,07587	-0,09673
24	0,97459	-0,54243	-0,18157	0,26192	0,12031	-0,19735	-0,05893	-0,01114
25	1,50743	0,61631	0,26869	0,50507	-0,05195	-0,03860	-0,05066	0,01763
26	4,23286	-0,38327	-0,07399	0,30754	0,31472	-0,31374	-0,18324	0,04021
27	1,86045	-0,72080	-0,20029	0,16198	0,09366	0,01562	-0,29125	-0,01467
28	1,51715	-0,22672	-0,38696	0,12582	-0,11329	-0,14399	-0,01567	-0,07228
29	0,87551	-0,00174	0,04893	0,34148	0,12515	0,04885	-0,35646	0,03913
30	2,22061	0,46905	-0,04417	0,05596	0,02276	-0,12480	-0,14744	-0,14550
31	1,86809	-0,02620	-0,08104	0,18460	0,10129	-0,15714	-0,09566	-0,03145
32	1,16482	-0,26392	-0,26484	0,00321	-0,05371	-0,00595	-0,05268	-0,14501
33	-0,34003	-0,24301	-0,30656	0,07596	-0,08200	-0,14765	0,08026	-0,04725
34	-0,78255	0,35864	-0,55364	0,24521	-0,14878	-0,37185	0,49502	-0,25641
35	-0,76457	0,28714	-0,45066	0,14571	-0,05600	-0,46806	0,60958	-0,19425
36	-4,05570	1,31431	0,45785	0,05500	0,23362	-0,15665	0,20905	-0,07823
37	-1,19905	0,64498	-0,41677	-0,12401	-0,14980	0,05869	0,10664	0,09421
38	1,18381	0,26533	-0,10760	0,51620	0,84395	-0,40360	0,13835	0,28493
39	-1,50698	1,15589	0,91175	0,16778	0,34156	-0,09935	0,05867	-0,03288
40	6,07990	2,68664	-3,34165	-0,36095	-1,70429	2,95941	0,78318	2,11843
41	3,63459	-0,86485	-0,60780	0,25426	-0,15541	-0,18213	-0,16747	-0,00535
42	0,49288	-0,41904	0,13111	0,14583	0,10831	0,04205	-0,45491	0,08519
43	0,64104	0,43051	-0,10146	0,09421	-0,00239	-0,10670	0,07204	-0,02830
44	-1,16291	-0,24815	-0,07001	-0,06745	0,09089	0,20328	-0,34883	0,08169
45	-2,30225	0,48554	0,99166	0,18854	0,47960	0,42743	-0,68830	0,21582
46	-1,67618	0,23759	0,11666	-0,72851	0,51446	0,44462	-0,57039	0,34595
47	-3,98005	-1,91501	0,75275	-0,22080	0,04916	0,54002	-0,08437	0,10669
48	0,10056	-1,28131	-1,33554	-0,07035	-0,75068	0,03549	0,06227	-0,12915

49	-2,49930	-1,09703	-0,00340	0,02666	-0,17710	-0,26094	0,20848	0,09010
50	-1,77557	0,20265	-0,97430	0,16763	-0,07004	-0,09678	0,10668	-0,17200
51	-0,76376	0,80697	-0,29675	0,11811	-0,26830	-0,00819	0,10816	0,06447
52	2,07791	0,30301	0,21583	0,36461	0,08277	0,03065	-0,09508	-0,10081
53	3,75490	-0,42556	-0,79309	0,43967	0,38293	-0,22479	-0,06628	-0,00106
54	1,25883	0,81221	-0,13349	-0,06966	-0,65795	0,11122	-0,08185	-0,22004
55	2,64989	-0,45390	0,42135	0,04860	-0,10830	0,59059	-1,17143	0,18911
56	2,65278	-0,39151	-0,47999	0,08429	-0,10049	-0,09856	-0,11786	-0,07758
57	1,54332	-0,11223	-0,24796	0,35418	-0,03611	-0,16025	0,00313	-0,05978
58	3,41611	2,40126	1,39966	-4,30778	2,12670	-0,98897	-0,07435	-0,22895
59	-1,73266	-1,12748	-0,83725	-0,23654	-0,03587	-0,07361	0,05406	-0,01172
60	-2,96990	0,36775	-0,61954	-0,15319	-0,14109	0,12710	0,27665	-0,00167
61	-0,89063	-0,40893	-0,84263	0,16461	0,33754	-0,27932	0,31893	-0,07668
62	-1,05919	-0,07632	-0,10453	0,06415	0,21803	-0,47651	-0,35360	0,65971
63	0,62416	-0,51412	-0,47103	-0,09776	-0,23776	-0,04670	-0,10250	-0,09252
64	0,82912	0,04668	-0,45467	-0,08114	-0,08421	-0,12823	-0,05062	-0,15228
65	1,16936	1,03852	0,63186	0,35381	0,35186	-0,27665	-0,02599	-0,01949
66	6,83899	0,05114	0,75180	0,71167	0,24112	-0,18413	-0,33202	-0,05610
67	6,26457	0,51115	0,49872	0,72119	0,16869	-0,12866	-0,26762	-0,00403
68	7,16640	-0,55901	0,25703	0,63834	0,19290	-0,19278	-0,34155	0,00024
69	6,12298	-0,35003	0,22600	-0,30432	0,26445	-0,13352	-0,58718	-0,08494
70	1,89171	-2,07274	1,93976	0,07224	0,08603	0,99065	0,37911	-0,17408
71	2,44213	-0,75505	-0,90706	0,18181	-0,14996	-0,09021	-0,12498	-0,13584
72	0,70077	-0,52237	-0,68748	-0,33440	-0,54267	0,18031	-0,10453	-0,04718
73	-0,63815	-0,63309	-0,20404	-0,86233	-0,56397	0,46816	-0,69218	0,04757
74	-1,94409	-0,41445	0,55136	-1,02409	-0,65575	0,81159	-1,22655	0,11650
75	-2,35037	0,31323	-0,85948	-0,45818	-0,01724	-0,13646	-0,01201	-0,23470
76	-2,73469	-0,12262	-0,68228	-0,39102	0,01000	-0,20532	0,07816	-0,10081
77	-3,25107	0,48726	0,66319	-0,57130	-0,58670	0,67827	-0,84346	0,04228
78	0,66617	0,02757	-0,63510	0,22383	-0,01935	-0,43466	0,43818	-0,22737
79	0,84470	-0,38089	-0,31095	0,01967	-0,17301	0,06495	0,01394	0,04361
80	0,21581	-0,83037	0,18661	0,01848	0,11025	-0,02455	0,02330	-0,02031
81	1,32048	-0,21144	0,25247	0,42022	0,09793	-0,13370	-0,08578	-0,06348
82	3,42645	0,66864	-0,08794	0,07441	0,06879	0,05358	0,00687	-0,11684
83	3,06741	-0,00155	-0,02946	0,19572	0,03495	-0,22869	-0,19823	-0,10151
84	1,69560	-0,81532	0,94306	0,17846	-0,52568	-1,25908	-0,11872	0,76854
85	-0,11089	3,77092	2,93654	3,42311	-0,92661	0,46339	0,00678	-0,16766
86	0,58337	-0,03335	-0,16729	0,21561	0,12402	-0,16026	-0,04277	-0,08007
87	-0,11343	-0,25853	-0,51881	-0,16249	0,04390	-0,08578	0,02922	-0,09919
88	-1,64348	0,20309	-0,08037	-0,19761	0,14213	-0,07138	0,07090	-0,07816
89	-2,96355	-0,67894	0,25765	0,41421	0,01058	0,07363	0,06503	-0,08295
90	0,15800	0,35944	-0,06986	0,30467	0,01967	-0,07538	-0,03065	-0,13131
91	-0,74977	1,04778	0,75036	1,50352	-0,10751	0,08309	0,07253	-0,06188
92	-0,65379	1,34725	0,67802	1,28790	-0,09411	0,10725	0,10523	-0,14178
93	-2,77912	0,09927	0,22059	0,48737	-0,12557	-0,02708	0,11065	-0,04229
94	0,58916	0,08754	-0,36627	0,25328	0,16074	-0,24450	-0,02522	-0,03764
95	0,38866	-0,08243	-0,30655	0,19474	-0,02903	-0,14572	-0,06986	0,03193
96	0,37450	-0,05965	-0,50546	0,31730	0,39944	0,04554	-0,07928	-0,18469
97	-2,37614	-0,15127	-0,19515	-0,32442	-0,14373	-0,00259	0,06746	-0,05602
98	-1,43880	0,80729	-0,19826	0,31643	-0,13789	-0,01124	0,15330	0,03044
99	0,30851	1,97843	0,79859	0,17622	-0,30176	1,03907	1,52562	0,35718
100	0,67990	1,48217	1,17985	0,18442	-0,02605	1,53587	0,11200	0,80613
101	0,83801	0,17926	-0,64275	-0,63835	1,66007	1,18192	0,84895	2,47452

102	-0,66078	-0,11367	0,34610	0,18610	0,16030	0,45986	-0,71888	0,16176
103	0,76535	-0,08311	-0,42049	-0,25696	0,06786	-0,25612	0,02472	-0,06771
104	-2,00538	1,17112	0,30336	-0,70080	-0,69380	0,18888	-0,10448	-0,21959
105	-1,16976	-0,06858	0,45956	-0,20530	-0,05927	0,96566	0,30994	0,40321
106	-0,86148	-0,05364	-0,13430	0,12912	0,00891	-0,11210	0,01248	-0,07455
107	-0,39512	0,24553	-0,29589	0,02710	0,03365	-0,03467	0,01902	-0,07083
108	-0,98896	0,23380	0,04926	0,08372	0,17679	-0,29757	0,01685	-0,07113
109	4,37621	-5,59567	3,86361	-0,23708	0,52544	2,06270	0,38215	-0,14733
110	0,58840	0,55768	0,11327	0,38823	0,00889	-0,11404	0,15176	-0,13854
111	0,76544	-0,35529	-0,44477	-0,04138	-0,03690	-0,43452	0,40662	-0,21697
112	-0,70873	0,20722	-0,22490	-0,05730	0,30326	0,04691	0,24361	0,26426
113	-1,56667	-0,31070	0,38480	0,44546	-0,05104	0,06816	0,06433	-0,03102
114	1,34503	0,00157	-0,18208	0,12413	0,08913	-0,27216	0,04682	-0,10213
115	1,01459	-0,31506	-0,38489	-0,19750	0,13006	-0,18874	-0,08247	-0,08212
116	-0,64267	0,45777	-0,21739	-0,27547	0,10000	-0,11516	0,21090	-0,13836
117	0,64944	2,01267	0,69640	1,92346	-0,12582	-0,20556	0,22171	-0,03192
118	0,04154	-0,06225	-0,48549	-0,07045	0,06392	-0,17383	-0,27282	-0,02016
119	-1,30818	0,84965	-0,16996	-0,57783	-1,02915	0,33798	-0,12801	-0,29843
120	-1,83287	0,32624	0,57999	-0,33581	-0,51738	-0,43045	0,19509	0,04786
121	-0,91778	0,19886	-0,36585	0,21439	-0,05555	-0,38699	0,32695	-0,14180
122	-0,96698	0,41805	-0,25190	0,17991	-0,02448	-0,06457	0,02924	-0,10751
123	0,57141	0,37539	0,11516	0,42953	0,05156	-0,04842	-0,02406	-0,07281
124	-2,05540	0,59147	0,37892	1,02452	-0,34449	0,14290	0,04085	-0,04973
125	-0,55182	0,97699	-0,45752	0,25473	-0,12337	-0,35480	-0,06262	-0,05388
126	0,98088	-0,07322	-0,04126	0,11918	0,07720	-0,14402	-0,07198	-0,06848
127	0,68624	-0,07485	0,11402	0,16519	0,12940	-0,41645	0,02236	0,14230
128	-0,78592	-0,08294	0,32167	0,56394	0,13530	-0,16682	-0,01663	-0,01812
129	-0,90721	-0,67124	-0,44511	-0,10126	0,17724	-0,01982	0,08009	0,21135
130	-0,99312	0,59679	0,60104	-0,87962	0,58705	-0,17599	-0,32567	0,04317
131	0,28699	0,01610	-0,03595	0,18293	0,04121	0,04093	0,02910	-0,11122
132	0,33801	0,02116	-0,25074	0,32148	0,39070	-0,00354	-0,03230	-0,15821
133	-0,95091	-0,67206	-0,17149	0,14930	0,06382	-0,06342	-0,26652	0,02841
134	-0,91449	-0,19917	0,08571	0,02130	0,11760	0,10821	-0,32520	0,06572
135	-1,21436	-0,45808	-0,17662	-0,02811	0,11307	0,22133	-0,40277	0,05312
136	-2,27813	-0,00954	-0,05242	-0,02640	0,07294	-0,10248	0,10171	-0,02179
137	-3,18260	0,00445	0,78683	-0,27282	-0,20598	0,38485	0,10302	-0,13982
138	-1,26864	-0,37913	-0,09564	0,20489	0,05121	-0,15715	0,02714	-0,06169
139	-0,69790	-0,23357	-0,29716	0,10970	0,05696	-0,17136	0,00820	-0,05717
140	-1,20986	-0,35918	0,23654	0,08381	0,04261	-0,30879	0,07695	0,06784
141	-0,58326	-0,28891	0,08136	0,17099	-0,00253	-0,10348	0,00172	-0,02380
142	0,70381	0,19416	-0,04008	0,30380	-0,03672	-0,06207	-0,01686	0,03376
143	0,88066	-0,83300	-0,12979	0,05651	-0,06150	-0,07084	-0,08169	-0,01422
144	3,35490	-2,66383	0,68917	0,27316	-1,54392	-4,27180	1,20399	2,04269
145	-0,37661	-0,13142	-0,25968	0,10006	0,06500	-0,23729	-0,02568	-0,09004
146	-1,01886	-0,10993	-0,11360	0,21985	0,00374	-0,16747	0,06934	-0,05690
147	-0,00050	-0,27228	-0,48912	0,16033	-0,26533	-0,05809	-0,03368	-0,00313
148	-0,68291	-0,32266	0,23050	0,00186	-0,61527	-0,16191	-0,08436	0,06771
149	-0,35931	-0,57607	-0,10054	0,02543	0,10486	-0,15783	-0,01827	-0,05745
150	-0,56231	-0,23206	-0,03800	0,08790	0,10597	0,08833	-0,20192	0,00641
151	0,32581	0,49973	-0,17874	-0,52589	-0,29174	0,03813	-0,05308	-0,01240
152	0,04112	0,48634	0,11699	-0,59828	-0,44697	0,01619	-0,14077	-0,19802

153	-0,48307	-0,77344	0,41650	0,17693	0,10168	0,20366	-0,16176	0,01394
154	-0,28131	-0,11055	-0,27291	0,23686	-0,06535	-0,14821	0,02343	-0,08525
155	-0,05724	-0,18293	-0,42545	-0,18556	0,04944	-0,18123	0,00726	-0,10790
156	-2,64209	-0,42325	-0,39417	-0,18439	0,02336	-0,07558	-0,00157	-0,04092
157	-2,63455	0,46429	-0,19278	0,31937	-0,03055	-0,04579	0,18195	-0,06298
158	-1,51032	-0,77914	0,77570	0,28201	-0,37040	-0,64657	0,08673	0,34530
159	-2,49705	-0,21521	-0,03973	0,28745	-0,05606	-0,10593	0,09492	-0,02287
160	1,71508	1,62208	-0,08892	-2,51746	0,83902	0,00325	0,16867	0,46207
161	0,08032	-1,27329	0,59503	-0,17415	0,14293	0,38742	-0,31515	0,10409
162	-2,42949	0,08203	0,03679	0,28879	-0,08512	-0,05692	0,08776	-0,06444
163	-0,08290	-0,22576	-0,36961	-0,19113	-0,05594	-0,11423	-0,01854	0,00258
164	-1,60253	-0,27875	-0,03650	0,20971	-0,01598	-0,12853	0,05147	-0,01925
165	0,92479	-0,59682	0,90530	0,50740	0,07942	0,39125	0,11496	-0,14708
166	1,12009	-0,00270	-0,07288	0,13743	0,07718	-0,17667	-0,07985	-0,06782
167	1,25908	0,23432	-0,15159	-0,03564	-0,00036	-0,31394	-0,04879	-0,01838
168	-0,85196	-0,48161	0,03739	0,14996	-0,04067	-0,20458	-0,18071	0,11141
169	-0,40492	-0,28318	-0,29167	0,13560	0,11161	-0,12804	0,00373	-0,07447
170	-0,06899	-0,45334	-0,65200	-0,25895	-0,10108	-0,14110	-0,04504	-0,04543
171	-1,53210	-0,23050	0,01556	-0,27268	0,17953	0,06443	-0,45696	0,07462
172	-0,10299	1,17598	0,81195	0,64228	0,92940	-0,01446	-0,84960	-0,75719
173	-0,49716	-2,75790	1,26599	-0,61667	-0,03630	0,35693	2,15164	-0,64944
174	-3,36968	0,18590	-0,05666	0,30556	-0,17340	-0,05254	0,12295	-0,07453
175	0,14316	-0,86064	-0,94281	0,27941	-0,66478	-0,01491	-0,11819	-0,07717
176	-1,47617	-0,30260	0,12484	0,16709	-0,08416	-0,00046	0,02341	-0,09394
177	-0,65553	0,03659	-0,37790	-0,21956	-0,36759	0,13988	-0,02646	-0,10214
178	-2,79428	-0,84300	-0,23735	-0,33184	-0,02884	0,20079	-0,35449	0,11177
179	-2,79286	-0,56546	-0,81848	-0,20158	0,61905	0,91752	-0,05193	1,09141
180	1,40887	-0,33896	0,00514	0,33378	0,11283	-0,15170	-0,09318	-0,07848
181	1,24927	-0,31675	-0,07957	-0,08008	0,09861	-0,04348	-0,16496	-0,01094
182	4,85950	1,70404	1,54708	-3,51385	-1,71927	0,54511	1,94203	-1,30795
183	1,43931	2,25521	1,56395	-2,24314	1,66115	-0,73374	-0,01293	-0,08947
184	-2,40547	-0,14495	0,17252	0,28561	0,05029	-0,11352	-0,00456	-0,02218
185	0,54570	-0,17853	-0,69699	-0,14378	0,00459	-0,29532	0,13975	-0,05376
186	-0,83513	0,01023	-0,02029	0,18859	-0,01663	0,07496	-0,17056	0,10092
187	-0,99890	-0,18065	1,29356	-0,37260	-0,66792	-0,75185	0,12770	0,33143
188	0,91478	0,09892	-0,45720	0,19703	0,06802	-0,55199	0,15154	-0,06433
189	0,04782	-0,52735	-0,42401	-0,05545	0,16159	-0,22770	-0,02328	-0,03753
190	-0,96776	-0,14941	-0,03887	-0,23963	-0,03322	0,20977	-0,43026	0,09330
191	-0,23097	-0,25500	-0,24903	-0,39044	-0,25098	0,84119	0,23767	0,43421
192	-1,47745	-0,48339	-0,23388	0,32419	-0,06976	-0,07991	0,04490	-0,03457
193	1,61902	0,74618	-0,53410	-1,50137	-0,74881	0,01376	-0,24395	-0,29682
194	-1,03329	0,45584	0,82797	-1,16748	0,89403	-0,17641	-0,38687	0,09184
195	-1,58307	0,38407	1,81727	-1,55371	-0,25366	-0,58793	-0,44513	0,44250
196	-1,58307	0,38407	1,81727	-1,55371	-0,25366	-0,58793	-0,44513	0,44250
197	-2,00905	-1,37756	-0,03963	-0,00265	-0,02306	-0,23908	-0,31030	0,29310
198	-3,25546	-0,25456	-0,56797	-0,18808	-0,05494	-0,07641	0,15764	0,04054
199	-3,23504	-0,12064	-0,66251	-0,27289	-0,19407	0,18802	0,17318	0,17953
200	2,31192	-0,33746	-6,14094	1,29938	3,82114	1,55239	0,64847	-0,98178
201	-2,64781	-0,56981	-0,05185	0,01512	-0,05876	-0,09114	0,06148	0,07002
202	-1,49560	-0,32162	-0,93065	-0,07834	-0,18229	-0,10047	0,06986	-0,10703
203	-3,98482	0,33282	-0,12161	-0,11901	0,06719	-0,02958	0,18256	-0,08708

204	-1,95711	0,63965	2,26733	0,60638	0,09994	0,23581	2,43454	-0,81867
205	-0,15846	0,48586	0,65379	1,21491	1,07408	-0,52193	0,15678	0,07579
206	-0,28985	-0,14211	-0,21527	0,14265	0,08250	-0,14920	0,02466	0,02846
207	0,32280	-0,22318	-0,49706	0,13157	-0,04535	-0,15503	0,17787	-0,18236
208	3,73995	-4,85363	3,58851	-0,08519	0,52731	2,09537	-0,03705	-0,03621
209	-0,18067	-0,40256	-0,47164	0,03586	-0,04999	-0,11129	-0,01771	-0,03377
210	-0,89316	0,51002	0,45067	-0,11358	0,29405	0,08110	-0,34314	0,09330
211	1,94609	2,67062	1,25048	-0,25913	-0,04191	-0,11184	-0,08481	-0,15304
212	-1,87751	3,16382	2,92441	-0,16457	1,12999	0,54180	-0,90620	0,37744
213	-2,29506	-0,54359	-0,24973	-0,09844	0,04125	-0,19698	0,04707	-0,09660
214	-3,47802	0,16153	-0,15217	0,23034	-0,12464	-0,10918	0,12942	-0,06656
215	-0,20601	-0,98627	-0,79855	0,02188	0,30036	-0,32396	0,07215	0,02904
216	-1,80053	-0,56077	-0,27408	-0,02509	0,54106	0,04129	-0,90227	-0,89822
217	-1,96437	0,02864	-0,35239	-0,00707	-0,04304	-0,03284	0,05581	-0,13511
218	-0,32242	-0,06961	-0,87778	-0,33534	-1,07904	0,29783	-0,17270	-0,26680
219	-2,20586	-0,67668	-0,52995	-0,17233	-0,01641	-0,15855	0,06363	-0,03317
220	-2,96454	-0,46072	-0,24222	-0,24017	0,00248	0,07970	-0,21904	0,01453
221	-2,00554	0,42177	-0,42440	0,00665	-0,01977	0,62107	0,01961	0,51294
222	-0,94418	-0,43555	-0,73256	0,10066	-0,08570	-0,26332	0,37213	-0,18742
223	-1,07563	2,30537	1,84580	3,50597	-0,20270	0,19304	-0,03610	-0,00824
224	2,65809	1,30371	0,66902	3,56045	-0,62201	0,01831	-0,11193	-0,09537
225	-3,24776	-0,78090	0,12355	0,09462	0,08631	0,02966	-0,28567	0,11173
226	-2,04797	-0,46167	-1,04915	-0,19370	-0,16042	-0,17111	0,24988	-0,08462
227	-4,18712	-0,60368	-0,33711	-0,15367	-0,12584	0,25419	-0,16443	0,13723
228	-3,78046	-0,34813	-0,92238	-0,14012	-0,37634	-0,08638	0,26661	0,10294



## Apêndice W - Componentes principais da variável peso do distribuidor

Cases	Componentes Principais								
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9
1	1,1442	-0,67755	-0,69287	-0,05002	-0,06038	-0,05704	-0,09080	-0,03589	0,01061
2	1,5081	-0,83748	0,14600	0,77949	-0,04203	-0,43714	-0,30552	0,09705	0,05667
3	2,1635	3,61158	0,22320	-2,25284	0,79032	-0,02395	0,95327	-0,39714	-0,00757
4	0,1363	-0,90730	0,22502	0,30560	0,33907	-0,10394	-0,14254	-0,20044	0,11663
5	0,2563	0,35038	0,68356	-1,58040	0,20421	0,13437	-0,14238	-0,12563	-0,07899
6	0,3612	1,88448	-0,32049	0,75561	0,22207	-0,02386	0,64545	-0,08750	0,10762
7	2,7260	-0,17943	0,64846	-0,95218	0,18889	0,63272	0,18049	-0,04586	-0,05655
8	0,7537	-0,49826	0,29238	-0,02554	0,08349	-0,15584	-0,05207	-0,00908	0,01766
9	0,8758	1,61948	-0,12027	-0,34374	0,35833	-1,63280	-0,00911	-0,22430	0,10241
10	1,2540	2,37086	-0,40233	0,69139	0,02941	-0,57221	-0,26006	0,01160	0,08126
11	2,8363	-0,10793	0,18581	-0,40238	1,03512	0,32840	-0,01794	0,40359	0,29714
12	2,7256	-1,00066	0,12006	0,95419	0,05383	-0,34984	0,06091	0,06991	0,08411
13	-0,1620	2,61122	-0,43131	1,06392	-0,22042	0,26225	-0,24641	0,07110	0,04763
14	0,9135	-0,47648	0,29154	0,28178	0,03204	-0,23322	-0,17641	0,03916	0,02956
15	1,2895	-0,56854	0,43661	0,07071	0,07096	-0,03837	-0,07618	0,02776	0,01371
16	0,8182	-0,80988	0,33576	0,12440	0,14857	-0,03344	-0,08486	-0,03564	-0,01078
17	0,9449	-0,54813	0,28344	0,21086	0,03538	-0,17236	-0,14725	0,03271	0,02409
18	1,5849	-0,56408	0,28638	0,32890	0,12246	-0,12499	0,09294	-0,09215	0,01321
19	1,5412	-0,42349	0,27218	0,19505	0,04416	-0,14336	-0,13700	0,03507	0,02347
20	2,5727	-0,52353	0,23318	0,39318	0,03964	-0,16070	-0,11799	0,05860	0,03593
21	2,3969	0,09323	0,38794	-0,50008	0,24749	0,02954	0,27886	-0,08782	0,00895
22	2,7441	-0,57698	0,30570	0,25251	-0,03694	-0,10323	-0,39039	0,10158	0,00773
23	1,0181	-1,20515	0,17698	0,84239	0,06245	-0,35753	0,10778	0,03989	0,07942
24	0,2171	-0,80958	0,27730	0,35315	0,05785	-0,15831	0,01366	0,01735	0,03876
25	1,3096	-0,53579	0,14434	0,13652	0,48801	-0,06355	0,02703	-0,15313	-0,04382
26	0,9414	-0,72366	0,32324	0,18920	0,03378	-0,14467	-0,14298	0,03558	0,02066
27	0,1653	-0,67055	0,35022	0,06975	0,02071	-0,12923	-0,19671	0,02821	0,00996
28	0,6263	-0,35479	0,69108	-0,39442	0,17770	0,19842	0,15294	-0,03531	-0,00839
29	1,4826	-0,56684	0,34882	0,12994	0,09884	-0,07519	-0,30456	0,00310	-0,02049
30	1,2273	-0,59407	0,29194	0,22361	0,03150	-0,15070	-0,15377	0,04027	0,02302
31	1,2536	-0,52212	0,29583	0,18044	0,03989	-0,11119	-0,12956	0,03487	0,02054
32	1,0347	-0,58782	0,41756	0,01380	0,06713	0,05025	-0,04489	0,02175	0,00755
33	0,2710	-0,48395	0,24211	-0,63555	0,24539	0,15646	-0,12154	0,12993	-0,45971
34	-0,2955	-1,12745	0,27861	0,38882	0,05919	-0,23525	-0,10574	0,02528	-0,06167
35	-2,2496	0,79278	-0,02676	0,87699	-0,21490	0,82294	-0,21046	0,15545	0,00083
36	0,6315	1,38382	-0,50760	1,27289	-0,17400	0,67713	0,18210	0,22520	0,18778
37	0,8493	-0,44222	0,17793	-0,30941	-0,10309	0,00175	-0,59339	0,06472	-0,03967
38	2,4909	3,64224	-0,19696	-0,68777	0,35795	-0,15174	0,36942	-0,19795	0,03635
39	0,4571	1,42436	-3,42671	-0,36212	-0,24824	0,14518	-0,16609	-0,25078	-0,02764
40	0,0256	-0,71605	0,04056	0,12403	-0,30377	-0,27858	-0,05554	0,28069	0,13575
41	0,5969	-1,10575	0,39723	0,18029	0,04918	-0,04133	-0,03093	0,02873	0,01897
42	-1,2749	-0,49577	0,65999	-0,31777	-0,84626	-0,25194	-0,36810	0,06352	0,06085
43	0,6148	-0,84994	0,31571	0,19934	0,04623	-0,35724	-0,17443	0,02057	0,03051
44	1,7400	-0,12260	0,23859	0,12290	0,11129	-0,30865	-0,18092	0,06588	0,13024
45	2,2486	0,49701	-0,05572	-0,15473	0,15925	-0,96398	-0,75423	-0,76514	0,34704
46	0,1004	1,08660	-0,86498	2,13093	1,20167	0,32621	0,44326	0,46297	0,14889
47	1,1981	-0,41400	0,34031	0,04344	0,72400	-0,02865	0,11250	-0,08678	-0,03512
48	0,0115	1,86755	0,13268	0,68673	-0,29028	0,54064	-0,20912	0,34237	-0,36967

49	1,9309	1,04022	-4,55227	-1,53140	-0,24805	-1,49111	0,38217	0,13353	-0,62728
50	0,3395	-0,69509	0,21705	0,31880	0,12500	-0,17756	-0,20949	0,08017	-0,06727
51	-0,0120	3,42657	-0,60711	0,01831	0,00275	-1,03025	0,16870	-0,01986	0,08521
52	1,6375	-0,73363	0,15225	0,64795	0,87757	-0,16038	-0,01123	0,21152	0,03836
53	0,8362	-0,77402	0,25260	0,42315	-0,01127	-0,27809	-0,25079	0,06327	0,03285
54	-5,2078	3,46085	1,25876	0,04056	-0,72098	-1,53551	2,46657	1,45683	-0,12788
55	-1,5428	-2,42465	-2,53984	-0,70190	-1,06795	-0,03910	-0,96659	0,35000	0,87659
56	-7,5677	-1,50956	0,71427	-0,70975	0,18165	0,16596	0,34544	-0,06254	-0,08942
57	-4,4591	-2,35660	1,01652	-0,10297	-0,82801	-0,33026	-0,10525	0,40557	0,27105
58	-9,5084	1,43436	0,41772	0,25902	-0,05534	0,82320	0,13186	-0,01347	-0,01157
59	-2,4319	-2,67287	-3,45157	0,14369	-0,23109	0,10613	0,14055	-0,30655	-0,02923
60	-6,0883	-0,95178	1,02387	-2,06392	-1,20124	0,28447	-1,43810	-0,15514	-0,19760
61	-5,9675	-1,87390	0,42013	0,27978	0,05728	-0,39336	0,12688	-0,06546	0,04499
62	-7,9626	-0,34066	0,26216	0,53251	-0,22614	1,03150	-0,05687	0,08898	-0,02979
63	-9,9087	0,97162	-0,30246	-0,96615	0,38108	-1,93046	0,23468	-0,44941	0,09295
64	-5,8423	-2,06471	0,66745	-0,30216	0,11850	-0,13538	0,06920	-0,08776	-0,10092
65	-11,1656	3,17380	-0,47856	-0,10430	0,21009	-1,34423	0,08743	-0,31527	0,10324
66	0,2590	-0,96428	-0,06286	0,70595	0,24248	-0,08816	-0,17316	-0,11441	-0,03453
67	-0,0150	-0,76162	-0,03655	0,93296	0,19097	-0,21599	0,66134	-0,05571	0,11353
68	3,8931	-1,24547	-0,12012	1,53609	1,03694	-0,41832	0,50489	0,45357	0,19517
69	-1,8263	1,01975	0,14966	0,47280	-0,39491	1,21245	0,63291	0,43302	0,34211
70	-0,5782	-0,87189	0,31261	0,23081	-0,01514	-0,24753	-0,00917	0,15774	-0,00669
71	-0,8693	-1,52127	0,48689	0,02344	0,13738	-0,02217	-0,01513	0,04761	0,01243
72	-1,7841	1,46746	-0,03222	0,97476	0,03891	0,74939	-0,37733	0,05639	0,22368
73	-1,6557	-0,72560	0,50981	-0,43845	-0,66502	-0,26910	0,34602	1,12170	-0,75950
74	0,5551	3,78726	0,41581	-2,31051	0,69643	0,42358	1,09485	-0,43253	-0,03305
75	-1,4313	-0,31939	0,20160	-0,91209	0,20328	0,19438	0,34179	-0,16274	-0,02160
76	0,8675	-0,64416	-0,10027	-0,41280	-0,49714	-0,24406	0,16599	0,73901	0,29249
77	1,2236	1,33137	0,24126	0,31128	-0,80691	-1,06719	-0,54090	0,20585	-0,46237
78	0,1367	-0,93899	0,24517	0,51531	0,02408	-0,24779	-0,06464	0,03900	0,04625
79	-0,5940	3,11340	-0,95045	0,54098	2,31709	-0,41942	-1,14888	-1,48689	-0,41871
80	-0,5793	-0,84085	-0,27614	-0,18617	-0,07838	-0,18856	0,19513	0,27518	0,14105
81	-1,3646	-1,42532	0,42402	1,27157	1,21664	-0,36463	0,73486	-0,61404	-0,08704
82	-2,6274	-1,17953	0,62752	0,52309	-0,16898	-0,37692	0,81516	-0,07150	-0,02745
83	-3,0752	1,14501	-0,09636	0,74927	-0,15182	0,49918	-0,17727	0,09309	0,01673
84	0,8877	0,37678	0,57232	-1,62536	0,44159	0,24923	0,65086	-0,25822	-0,03572
85	2,1985	-0,29541	0,57451	0,12881	0,95229	-0,09732	0,44649	0,28071	0,19173
86	0,9938	-0,59018	0,22728	0,27754	0,20682	-0,30990	0,35912	-0,06299	0,06797
87	0,0426	-0,18416	0,33443	-0,24078	0,14778	-0,24843	0,08810	0,03378	0,05223
88	-0,3122	1,22064	-0,14992	0,93088	-0,23624	0,51478	-0,26350	0,20442	-0,04984
89	0,0548	-1,65930	-3,42189	-0,39557	-0,43699	0,17380	-0,10590	-0,17279	-0,01855
90	-0,0668	-0,64157	0,38232	-0,86231	-1,18814	-0,26787	-0,63317	-0,27527	0,04109
91	-3,0748	0,04894	0,55445	-1,34055	-0,81321	0,15789	-0,14722	-0,06150	0,09939
92	-2,8226	0,20066	0,11270	0,73112	-0,19802	0,81768	-0,17492	0,14029	-0,00777
93	1,9942	-0,84040	-0,03994	0,58602	-0,12436	-0,39716	0,08191	0,80217	0,20809
94	2,5154	-1,11471	0,64627	0,83022	-0,43771	-0,76530	-0,13777	0,59390	-0,19283
95	-2,6609	-0,48627	0,38504	-0,73210	0,31822	0,12886	0,21269	0,13839	-0,78168
96	0,1560	1,76590	-0,23150	0,34114	0,10948	-0,77450	-0,16443	-0,05674	0,07722
97	-0,6418	-0,95447	0,45344	-0,65042	0,10023	-0,31454	0,13676	-0,05811	0,02906
98	-4,0171	-0,78776	1,01744	-0,72538	-0,51957	-0,12280	-0,33650	0,24207	-0,02174
99	-3,3029	-1,40964	0,10737	0,96287	0,40444	-0,39925	0,67812	-0,21617	0,07026
100	0,6713	1,09756	0,15794	0,75050	-0,48117	0,54671	-0,17444	0,33313	-0,17940
101	0,2495	-1,06223	-3,16712	-1,37157	-0,25118	0,52791	0,23068	-0,29462	-0,06308

102	0,4968	-0,57205	0,04902	-0,15681	0,13687	-0,04715	-0,04400	0,01365	0,01048
103	0,5974	-0,54630	0,22706	0,27886	0,04553	-0,47538	-0,20615	0,01670	0,04106
104	0,9781	1,11398	0,62200	-2,34510	0,27076	-0,25882	0,83218	-0,16604	-0,02351
105	0,1418	-0,93853	0,21499	0,85763	1,26875	0,01065	-0,18801	-0,86960	-0,31899
106	0,3726	-0,68084	0,31659	0,17762	0,03254	-0,14147	-0,13201	0,02750	0,02039
107	0,4569	-0,74234	0,26052	0,30242	0,11578	-0,14901	-0,16195	-0,02090	0,00002
108	0,4983	1,19296	-0,14580	1,35833	-0,42179	1,44329	-0,32939	0,35455	-0,08608
109	1,1862	-0,48085	0,19531	-0,32972	-0,44376	-0,09673	-0,19771	-0,00341	0,02569
110	1,4330	-0,60240	0,36489	0,05002	0,20617	0,29515	0,51397	-0,04811	0,03163
111	0,3005	-0,41937	0,13748	-0,59071	-0,36110	-0,04432	0,57920	0,20899	0,17427
112	0,2195	1,50705	-0,18629	0,92844	-0,06314	0,38021	-0,35551	0,08631	0,00084
113	-0,2413	-0,94126	0,35100	0,34165	-0,22494	-0,18004	-0,43747	-0,19810	-0,06058
114	1,3858	-0,61807	0,31469	-0,08094	0,07331	-0,18572	0,11029	-0,02630	-1,61145
115	-1,0277	-0,29447	0,23024	-0,29480	1,03504	0,19453	0,21105	-0,79964	-0,25865
116	-0,6433	1,66904	-0,09661	-0,17613	-0,37703	0,97289	-1,02187	-0,25251	0,13674
117	-0,9369	-1,30516	-4,05155	0,60118	1,45833	1,02959	-0,24881	-0,94296	-0,42965
118	1,7733	-0,69685	0,13234	0,49717	0,34440	-0,17163	-0,09284	-0,13978	-0,03283
119	1,7431	0,72923	0,34177	-1,02439	0,24978	0,18582	0,94339	0,74687	0,21693
120	-1,2880	0,56963	-0,24818	1,21412	-0,91929	1,19985	-0,47322	-0,27004	0,32407
121	-0,0308	-1,31326	-3,55280	-0,78968	-0,37079	0,27679	0,06563	-0,24480	-0,03080
122	0,7462	-0,52994	0,41783	-0,14275	0,15829	-0,15585	0,10681	-0,04330	0,02155
123	0,2109	-0,21915	0,33674	0,03395	0,92855	-0,01754	0,24142	-0,49996	-0,14235
124	-2,3098	0,68886	-0,20780	0,52272	0,01504	1,30123	-0,56339	-0,14067	-0,10003
125	-0,4370	-0,71823	0,26202	0,04361	0,04366	-0,13441	-0,07900	-0,00397	0,01608
126	-0,8175	-0,53468	0,32060	-0,32092	0,22678	-0,06465	0,24328	0,15674	0,07999
127	-2,5893	0,42798	-0,50921	1,95499	-0,22545	0,59330	0,63377	0,60655	0,00005
128	2,1324	1,07002	-0,08140	0,93057	-0,26299	0,49720	-0,35953	0,14646	0,01292
129	2,6056	-0,46378	0,36748	0,15609	-0,10401	-0,17481	-0,68337	0,13641	-0,01150
130	0,6142	-0,29017	-0,07094	-0,06132	1,81840	0,13381	1,15895	0,53662	0,18808
131	-0,6879	-0,69732	0,48381	0,48948	0,80554	-0,05024	0,47203	-0,69933	0,85394
132	0,1120	3,78024	-0,75122	0,80973	0,07730	-1,12065	-0,30177	-0,05706	0,12359
133	0,0713	-1,28420	-3,38640	-1,05193	-0,80977	0,26623	0,79918	0,05241	0,08177
134	0,6931	-0,49615	0,52195	-0,54806	0,17994	0,19919	0,19516	-0,06485	-0,01349
135	-0,8702	-0,58670	0,45259	-0,75121	0,33726	0,33917	-0,92638	-1,43996	-0,10474
136	-1,4363	1,90614	-0,19423	0,87319	-0,28607	0,73540	-0,20113	0,19911	0,03824
137	-0,9811	3,54131	-0,88423	0,23195	0,06611	-1,35650	-0,14453	-0,11565	0,14201
138	-0,4586	-0,70976	0,29767	0,12590	-0,29262	-0,30763	0,02170	0,22370	0,03958
139	0,7271	-0,39540	0,54175	-0,43757	-0,25208	-0,05317	-0,41055	-0,09217	-0,04679
140	0,4331	2,81809	-0,47900	0,67121	0,03792	-0,57307	-0,22729	-0,01038	0,08432
141	1,2429	0,05671	0,51489	-0,86960	-0,19658	0,05450	-0,06824	-0,22942	-0,05438
142	-0,5928	-1,21994	0,09950	0,01682	1,14963	0,17766	-0,51374	-0,22282	-0,20863
143	0,5912	-0,70448	0,94944	-0,42140	0,19973	0,21218	0,15953	-0,02345	-0,01273
144	-0,9844	1,11774	0,37244	0,29698	-0,74352	0,77747	-0,56926	0,58989	-0,35639
145	0,8629	-0,11745	0,47009	0,26492	-0,33400	-0,29300	-0,10596	-0,28372	-0,01653
146	0,0514	-0,35814	0,43304	-0,38976	0,15551	0,03869	0,12561	-0,06120	-0,00040
147	1,1106	2,67728	0,58202	-2,06784	-0,78942	-0,91978	0,37720	0,45885	0,32900
148	0,7700	2,18408	-2,63493	0,33902	-0,25441	-0,19016	-0,19699	-0,10526	0,05121
149	0,5115	-0,68782	0,27690	0,25522	0,12224	-0,16680	0,16376	-0,01876	0,04496
150	0,5893	-0,65346	0,44962	-0,27786	0,10218	-0,07269	-0,05740	-0,02005	-0,00139
151	0,9493	-0,16969	0,59014	-1,86969	-1,64947	0,10603	-1,59045	0,52943	0,11495
152	0,1841	0,62888	0,14760	0,15772	0,00788	0,20880	-0,09824	0,48416	-0,23434

153	0,9095	-0,90474	-2,83453	-1,08163	-0,18862	0,27407	0,22255	-0,26690	-0,03424
154	0,1712	-0,63194	0,36966	-0,03288	0,07756	-0,09248	-0,04086	-0,00587	0,01296
155	1,2381	-0,70400	0,47618	0,20295	0,37644	-0,15656	0,11826	0,21749	-0,28397
156	-0,7025	-0,20331	0,19578	-0,00517	0,09993	-0,43044	-0,06844	-0,04822	0,03413
157	2,3201	-0,41279	0,34754	0,00089	0,22542	-0,05321	-0,08246	-0,13849	0,32518
158	2,2061	2,19702	-0,02778	0,57525	-0,88771	0,53541	-0,62879	0,67826	-0,20122
159	-0,1967	-0,72087	0,36626	-0,10101	0,20534	-0,16872	0,04491	0,00303	0,02370
160	0,0563	1,55600	-0,08098	0,11539	0,07891	0,91804	-1,12326	-0,06462	-0,12314
161	1,3075	-0,97163	-0,16988	0,58268	1,18374	-0,12934	-0,14986	0,16765	-0,01621
162	-0,6567	-0,53577	0,37256	-0,09637	0,08288	-0,03797	0,00045	-0,02211	0,00915
163	-0,6239	-0,91205	0,33517	-0,06606	-0,00513	-0,14403	-0,26436	0,01933	-0,00212
164	-1,9702	0,20740	0,10604	0,77125	-0,20149	0,82883	-0,19538	0,15561	-0,00701
165	0,0467	-0,82820	-1,86679	-0,71496	-1,11432	0,17879	-0,13444	0,28392	0,22985
166	-0,7086	-0,60513	0,32333	0,05701	0,94641	-0,08860	0,06157	-0,43680	-0,14649
167	-0,8617	0,10088	0,25109	0,84225	-0,44427	0,52710	-0,13521	0,27857	-0,10603
168	-0,5192	-0,67055	0,12245	-0,25712	0,23038	0,19929	0,15779	-0,01262	0,27328
169	1,2544	-0,53760	0,29965	0,17054	0,04317	-0,12427	-0,12788	0,03263	0,02083
170	1,8229	-0,35200	0,45311	-0,34119	0,10752	0,20678	0,00303	-0,00404	-0,01420
171	3,8129	2,64944	-0,37485	0,89559	0,00072	-0,36318	-0,31835	0,08212	0,07897
172	1,1416	-1,54673	0,04374	1,34729	0,41879	-0,37699	0,73289	-0,09174	0,29326
173	0,8495	0,36858	0,40826	-0,60392	0,03609	0,00449	0,20609	-0,19230	-0,37658
174	-0,0101	-0,65098	0,52853	0,13826	0,18102	-0,14811	-0,03307	0,05226	0,02934
175	0,1955	2,43491	-0,34889	0,47744	0,06360	-0,47188	-0,15451	-0,02685	0,07100
176	-0,5727	-0,30029	0,27734	-0,65228	-0,30563	0,07779	-0,16260	-0,20983	-0,05368
177	1,8595	-0,98122	0,43617	0,06456	0,04086	0,10727	-0,08304	0,05004	0,00286
178	-2,9334	-0,66145	0,30966	-0,96603	1,08051	0,49874	0,27364	-0,64188	0,38865
179	0,2859	2,86954	-0,18887	-0,00530	1,25920	-0,05681	-0,85174	-0,78842	0,28851
180	1,3985	-0,67779	0,29255	-0,36671	-1,02505	-0,15354	-0,21490	0,72682	-0,19497
181	0,7629	-0,53584	0,31782	-0,30299	0,99279	0,07277	-0,15242	-0,84657	1,06241
182	2,4951	0,49342	1,49325	-2,05234	-2,03215	-0,09120	-0,45564	0,09022	0,00430
183	-0,2453	3,43342	-0,50265	0,19781	0,19242	-0,91290	-0,05152	-0,13495	0,09460
184	0,3088	-0,60741	0,40875	-0,60023	-0,11034	0,13751	0,08056	-0,03069	0,09645
185	-0,4178	-0,08551	0,51916	-0,81256	0,35957	0,23450	-0,14408	0,02104	-0,23309
186	2,5183	-0,54051	0,31475	0,15996	-0,03919	-0,22355	-0,47518	0,09361	0,00461
187	2,5464	1,91332	0,95577	-2,40063	0,32675	4,30509	1,79299	-0,28300	0,10607
188	0,5358	-0,28559	0,17258	-0,61519	0,50889	0,02268	0,45323	0,07442	0,05674
189	-0,0168	-0,60399	0,11582	-0,46136	-0,42151	-0,04052	-0,15483	0,32475	0,11194
190	1,2785	2,52966	1,04620	-3,41716	-1,05258	-0,63528	-1,24172	0,16954	0,09173
191	-0,0270	0,67342	0,46405	-0,34259	-0,23082	0,76353	-1,16852	0,16335	-0,14311
192	0,4947	-0,54164	0,61947	0,30725	0,03263	-0,13106	1,74322	0,35167	-0,37329
193	1,1897	-0,21034	0,61911	-0,96870	0,26570	0,46288	0,39767	-0,11458	-0,03487
194	-2,5812	-0,43526	0,10947	-1,45582	-0,04252	-0,05311	-0,58581	-0,09433	-0,09525
195	-2,1289	0,94184	-0,16468	1,41697	1,00508	0,80295	-0,24660	-0,15464	-0,24922
196	0,2058	-0,67193	0,36441	0,08903	-0,05657	-0,14306	-0,16517	-0,01602	0,00880
197	-0,7994	-0,73906	0,49800	-0,24231	-0,09215	0,03260	-0,17754	-0,27648	0,28258
198	-0,6191	-0,79157	0,38856	0,03421	-0,04958	-0,13305	-0,40266	0,05651	-0,00624
199	-0,8419	1,99641	-0,49059	1,41934	-0,32393	0,35563	0,06488	0,23095	0,13116
200	0,3115	-0,85667	0,36058	0,27006	0,01922	-0,21415	-0,18110	0,04222	0,02489
201	1,1389	-0,92124	0,29929	0,82619	0,48590	-0,18615	-0,44394	-0,74575	-0,34174
202	-0,0352	-0,69810	0,27515	0,27045	0,08115	-0,18987	0,04877	-0,00361	0,03914
203	0,5036	1,91902	-0,26743	0,83460	-0,23306	0,42378	-0,28493	0,08736	0,02090

204	1,7563	0,00969	0,35130	-0,10404	0,06819	0,47098	0,06721	0,02617	-0,01145
205	1,5018	0,62916	0,23943	-1,65337	0,99852	0,39995	0,69939	-0,80324	-0,22449
206	2,2527	-0,86426	0,64485	0,87053	0,04413	-0,41454	-0,21037	0,12116	0,06496
207	-0,7427	0,88957	0,07421	1,04536	-0,44078	1,10417	-0,24312	0,39061	-0,22346
208	-0,2075	-1,39598	-3,47064	-0,80378	0,00418	0,17062	1,04474	0,96206	0,41048
209	0,8611	-0,79758	0,27830	0,36420	-0,00204	-0,23128	-0,22361	0,05818	0,02880
210	0,5478	0,04821	0,48849	-0,89336	0,29866	-0,05839	0,32363	-0,15546	-0,00458
211	1,8524	0,59547	0,52519	-1,31079	0,34875	0,12567	0,49534	-0,19717	0,07588
212	1,2339	1,79976	0,00298	0,94498	-0,35681	0,40230	-0,25508	0,37781	-0,25397
213	0,0407	-0,94946	-0,14762	0,35834	0,79763	-0,01333	0,17172	-0,46979	-0,13353
214	-0,8359	-0,78290	0,34084	0,09262	0,10962	-0,13354	0,12695	-0,03358	0,03084
215	-0,4039	-0,73871	0,36919	0,03248	0,02359	-0,13179	-0,18108	0,01820	0,00840
216	2,8978	0,06911	1,16606	2,74419	-6,55456	-0,21801	2,19498	-3,33903	-0,09414
217	-0,6034	-0,72055	0,31831	-0,00018	0,28096	-0,10431	0,08530	0,04776	0,03231
218	1,5264	-0,30894	0,72787	-1,17718	-0,71080	0,47977	0,04751	0,04853	0,20457
219	0,4000	-0,80744	0,39904	0,00622	-0,13439	-0,08053	0,31175	0,33971	0,07394
220	-1,3773	0,65141	-0,25009	1,51935	-0,14362	0,44226	1,08187	0,55186	-0,22810
221	1,4871	-1,44124	-3,21911	-0,51101	-1,52827	-0,15647	0,50756	0,52221	-0,10365
222	-0,0107	-0,58094	0,25694	0,24956	-0,03761	-0,26539	-0,16700	0,07962	-0,04265
223	2,9366	-0,05624	0,34929	0,34056	0,09944	-0,28491	0,17234	0,29317	-0,58353
224	-0,1036	1,80505	-0,10918	0,90522	-0,45961	-0,09524	0,09905	0,44502	0,14036
225	-0,1936	-1,63316	-3,20721	-0,84300	-0,55574	0,00506	-0,10910	0,24942	-0,25471
226	-0,7988	-0,62352	0,64729	-0,00346	-0,32716	-0,25617	-0,03082	0,23571	-0,24461
227	-0,2434	-0,97075	0,22808	0,53232	0,08968	-0,28572	0,14603	-0,00296	0,06245
228	-0,4875	1,10469	0,11368	0,49788	-0,57205	0,85319	-0,55409	0,45614	0,60176

## Apêndice X - Componentes principais da variável velocidade dos veios 1,2 e 3

Var	Componentes principais												
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10	CP11	CP12	CP13
1	9,55314	1,18587	-0,42335	-0,39648	0,03917	-0,19792	-0,16007	-0,10248	-0,21830	0,16451	0,04708	-0,236634	0,04551
2	8,50147	2,12851	-0,79366	-0,56106	-0,03259	-0,26440	0,18889	-0,13243	-0,11199	-0,01177	-0,21403	0,175220	0,06615
3	3,37956	-0,06619	0,21539	-0,31913	0,14000	0,32310	-0,10425	-0,17681	-0,15049	0,02263	0,12191	-0,112184	-0,03398
4	5,50317	0,70289	0,39454	0,19415	-0,18844	0,31209	-0,12087	-0,02059	0,15334	0,13032	0,01359	-0,110546	-0,05851
5	6,04828	-1,12218	0,51715	0,15306	0,21466	0,32402	-0,39636	-0,14804	0,27588	-0,30116	-0,08992	-0,025353	0,27817
6	12,10267	-0,31980	1,82375	0,52003	-1,96149	1,22455	0,46989	-0,56355	-0,72189	0,97995	-0,30970	-0,229403	0,13722
7	4,14289	1,15391	0,07291	0,06328	0,03361	-0,17981	-0,47397	-0,56428	0,08279	0,41579	-0,11309	-0,142999	-0,00897
8	4,53240	0,86656	-0,50154	-0,56940	0,14722	-0,30434	0,13724	-0,03476	-0,11034	0,03194	-0,10474	0,079189	-0,01350
9	4,23578	1,21401	-0,41307	-0,53278	-0,35469	-0,18454	0,15300	-0,05226	-0,23035	-0,01912	-0,13738	0,242591	0,08655
10	8,66950	-1,03742	-1,23600	0,86956	0,47526	0,84015	1,44835	-0,03365	-0,03955	1,20278	0,40971	-0,687946	0,93916
11	6,19154	0,78888	0,94134	0,06536	-0,28280	0,66815	-0,56511	-0,65835	0,18428	0,30083	0,32315	-0,432218	-0,11142
12	8,12562	0,92958	-0,78595	-0,39286	0,14343	-0,05724	0,30378	0,20692	0,04384	-0,18931	-0,12398	0,075396	-0,07081
13	8,25421	0,53582	-0,71030	-0,39521	0,02129	-0,13471	0,34607	0,22114	0,18873	-0,23301	-0,00601	0,146727	0,21290
14	0,97260	1,23461	-0,53540	-0,48411	-0,00572	-0,24945	0,07412	-0,17592	-0,10995	0,06037	-0,12942	0,094230	-0,00584
15	4,71409	-0,96593	-0,30427	-0,30903	0,29298	-0,36605	0,14133	-0,20155	0,07172	0,08925	0,01383	0,292320	0,13660
16	10,89562	3,23935	0,45380	-0,27023	-0,68665	0,74140	-0,59585	-0,59279	-0,31878	0,18279	0,08531	-0,010563	0,21486
17	4,00723	0,83895	-0,63315	-0,38904	0,14500	-0,05514	0,20688	0,07971	-0,00722	-0,09887	-0,09904	0,085533	-0,03762
18	2,25510	0,57695	0,24458	-0,14477	0,11693	0,09530	-0,17502	-0,09239	0,40309	0,08441	0,17595	-0,248124	0,08161
19	5,04313	0,44766	-0,27480	-0,41364	-0,09706	0,23970	-0,01524	-0,01286	-0,28934	0,01478	0,11214	-0,160663	0,12934
20	7,45980	0,93521	-0,15860	-0,27126	-0,01363	0,07667	-0,25292	-0,24691	0,08464	0,05762	-0,01956	-0,214567	0,00266
21	6,59775	0,72240	0,40717	-0,18126	-0,07417	0,42547	-0,32320	-0,46549	0,04426	0,16826	-0,10346	-0,463496	0,04714
22	6,14054	-0,48708	0,23225	0,19679	0,46081	-0,04255	-0,07517	-0,13207	0,54167	0,07230	-0,04257	-0,831969	-0,11436
23	7,84244	0,07302	-0,31787	-0,44062	0,44300	-0,62618	0,23873	0,04773	0,33354	-0,00356	-0,07544	-0,167057	-0,36146
24	6,02592	0,29616	-0,21575	-0,27242	0,25070	0,00778	0,14358	0,27564	0,43955	0,06394	0,04773	-0,634172	-0,19532
25	6,49931	1,70958	-0,21170	0,04170	0,09228	0,52741	0,00436	0,17092	0,12533	-0,10556	-0,06182	0,108489	-0,03351
26	0,08537	0,00494	0,11092	0,06816	0,50673	-0,16415	0,14314	0,53138	0,52047	-0,01211	0,15813	-0,381816	-0,55635
27	4,43365	-0,28674	-0,75645	-0,44380	0,50254	-0,29243	0,38729	0,45295	0,28506	-0,11022	-0,02759	-0,085111	-0,28504
28	5,08834	0,77624	0,60976	0,47050	0,01546	0,11423	-0,25620	-0,12532	0,39010	0,35838	0,03211	-0,145978	-0,23305
29	7,33060	1,29776	-0,15441	-0,32275	-0,05702	0,31921	-0,03569	-0,10916	-0,04283	-0,05581	0,20143	-0,187047	-0,01175
30	4,63313	0,81600	-0,14773	-0,43825	-0,06827	-0,25501	0,02099	-0,24391	0,13477	0,10876	-0,16223	0,074810	-0,09043

31	4,53798	0,65500	-0,11339	-0,02807	0,15141	-0,06697	0,09039	0,00649	0,08642	-0,03701	-0,17059	-0,019925	-0,01701
32	-5,69742	0,49933	0,18861	0,22074	0,10196	0,78534	-0,08682	0,07524	0,31776	0,07000	0,25627	-0,350309	-0,03434
33	-4,94626	0,64187	-0,31106	-0,21118	0,14797	0,52088	0,26003	0,57961	0,03921	-0,27132	0,16831	0,071230	-0,03008
34	-4,94626	0,64187	-0,31106	-0,21118	0,14797	0,52088	0,26003	0,57961	0,03921	-0,27132	0,16831	0,071230	-0,03008
35	-4,49349	-0,65185	-0,22587	-0,19727	0,17670	0,32446	-0,00563	0,50327	0,28382	-0,48231	0,36437	0,271819	0,28017
36	7,16118	-4,07522	0,37070	-0,27783	0,57557	1,04995	0,79934	1,61037	0,70206	-1,54025	-0,34384	-0,794367	0,44525
37	4,75345	0,57355	-0,52703	-0,14032	0,09012	-0,56287	0,42252	0,33924	0,01223	-0,21933	-0,42089	0,480271	-0,05673
38	4,94574	-5,09075	1,76541	0,26751	1,84668	1,03744	-0,82908	-0,72119	-0,48935	0,26012	-0,14911	0,474960	0,29905
39	11,73395	1,40449	0,71418	1,33924	-0,02606	-0,57341	-0,69016	1,56687	-0,89470	-0,28159	0,18668	0,112320	0,46074
40	5,04004	2,17098	1,02958	0,71616	-0,41432	0,85154	-0,57735	0,05161	-0,02550	0,09919	0,07129	0,059072	0,07314
41	1,83423	-0,37209	0,14446	0,22947	0,06652	0,47922	-0,44984	0,15345	0,78038	-0,21450	0,27154	-0,729189	-0,17076
42	8,93389	0,56134	-0,76694	-0,35206	0,19091	-0,03409	0,37285	0,36819	-0,02602	-0,13401	-0,07761	0,132204	-0,21834
43	7,81786	1,76693	0,81296	0,30522	-0,58894	1,24586	-0,37222	-0,27537	0,06057	0,12548	0,26318	-0,163937	-0,08783
44	-1,72415	0,71027	-0,43659	-0,35448	0,14695	0,00482	0,09247	-0,04569	-0,05752	-0,00464	-0,05342	0,096114	0,00346
45	-0,97730	-0,70443	-0,20635	-0,51133	0,70156	-0,23798	0,43985	0,06332	0,14029	0,19327	-0,11419	-0,170906	0,31311
46	-2,69399	-4,52256	1,80895	-0,46894	-1,01647	-0,32715	-1,95383	-0,66351	0,85820	-1,52530	-0,39278	-0,398732	1,12853
47	-1,10969	0,83913	-0,26455	-0,07365	0,10226	0,28082	0,15962	0,14731	-0,09249	-0,11410	0,08111	0,008814	-0,03416
48	4,50218	-0,81815	0,88480	0,38610	-1,82838	-0,22660	0,36666	0,26705	0,81560	0,38099	1,26810	1,006847	0,72509
49	0,07473	-2,38527	0,07238	-0,39635	0,39266	-0,02283	0,02726	0,54374	-0,20237	-0,10524	0,22165	-0,416765	0,19433
50	4,44006	1,24441	0,80475	0,97646	0,01374	0,58131	-0,31766	0,04597	0,63675	-0,04030	-0,00911	-0,270215	-0,21127
51	4,84721	-5,30052	0,94923	0,09233	1,58059	1,16545	-0,72357	-0,31894	-0,23349	-0,43675	0,36828	0,649191	0,44469
52	3,86767	0,94049	-0,41625	0,09046	0,13733	0,23764	0,18848	0,41776	0,23907	-0,19645	-0,08428	0,078440	-0,09425
53	1,68298	-0,35269	0,18446	0,21772	0,13125	0,17466	-0,25333	0,29463	0,86608	-0,24577	0,08530	-0,786183	-0,12495
54	8,58952	-4,22191	1,17062	0,19386	1,55127	0,85565	-0,46642	0,04761	0,37244	-0,27224	0,08515	0,057107	0,05985
55	7,47058	2,44443	1,22803	1,13978	-0,26365	0,00269	-0,18860	-0,81774	-0,90584	-0,53791	0,47789	-0,150816	0,19935
56	2,82862	-0,06102	0,27063	-0,36376	0,11478	0,18457	-0,15573	-0,19623	0,06989	0,17159	0,02689	-0,056309	0,15005
57	5,09197	0,95388	0,21126	-0,10970	0,07967	0,14915	-0,11757	0,11328	0,15694	0,09527	0,10257	-0,217656	-0,16460
58	3,98885	-1,64942	0,26216	0,05033	-1,82465	-0,60010	-0,32350	0,00381	-0,03406	0,13567	-0,24411	-0,043503	-0,04539
59	2,24353	-0,17231	0,07419	0,87222	0,62960	-1,55725	0,72681	-0,28060	-1,17098	-0,68685	0,59642	-0,467695	-0,04020
60	4,54778	1,27262	-0,00832	-0,04750	-0,07133	0,23592	-0,35170	-0,55219	0,12909	0,29832	-0,07255	-0,163795	-0,01673
61	0,50760	0,32144	-0,01606	0,09054	0,13658	-0,40699	0,09548	-0,04960	0,07960	0,06038	-0,02923	0,100559	-0,06701
62	4,95423	-1,28334	0,30002	-1,09390	0,21034	-1,30289	-0,38183	-1,00463	-0,20303	0,90969	-0,38383	0,364931	0,36683
63	3,96147	-0,14180	0,63205	0,56733	-0,65850	0,64059	-0,25340	-0,14964	-0,27170	-0,30784	-0,05233	0,645462	0,15042

64	4,44679	0,83239	0,33943	0,39578	-0,11880	-0,18617	-0,03135	0,07286	0,19222	0,00061	-0,21059	0,223377	-0,11428
65	6,72303	-5,24035	0,98000	0,05500	1,54677	0,27642	-0,21516	-0,21487	-0,06359	0,11597	0,02517	0,291048	-0,05193
66	9,89490	1,05750	-0,80622	-0,48815	0,13814	-0,25054	0,31764	0,08073	-0,01292	-0,07359	-0,15276	0,099852	-0,05346
67	8,69131	0,99342	-0,49755	-0,72872	0,14699	-0,35069	0,30042	0,34807	-0,13199	-0,11747	-0,02786	0,090605	-0,06914
68	8,72357	0,74247	-0,47743	-0,72582	0,16731	-0,42235	0,27984	0,39948	-0,05609	-0,21851	0,01049	0,145779	0,00656
69	9,32363	0,17161	-0,14778	0,01361	-0,36866	-0,13974	0,11754	0,28593	-0,01149	-0,30050	0,01990	0,056265	-0,21505
70	6,06839	1,47169	-0,51805	-0,12792	0,09208	0,25317	0,23858	0,32413	0,01759	-0,12036	-0,01085	0,179832	-0,09828
71	1,45999	-0,82082	0,26918	0,18428	0,32377	0,23847	-0,18068	0,51102	0,88305	-0,45402	0,20679	-0,974401	-0,30089
72	6,19774	0,14423	0,06279	-0,10108	-1,48831	-0,19300	0,18231	0,12051	0,35817	-0,21887	1,09379	1,055734	0,24242
73	-0,46913	0,36155	-0,17170	0,35861	0,50186	-0,53456	0,40071	0,77081	0,54273	0,09444	-0,07101	0,048026	-0,44596
74	1,76921	0,34796	0,41064	0,56148	0,29705	0,10720	-0,11458	0,28031	0,48359	-0,02306	-0,14872	0,038745	-0,18071
75	1,36565	0,80548	-0,47964	-0,23541	0,15048	0,01472	0,16258	0,09842	0,02720	-0,08654	-0,09093	0,109872	-0,03712
76	1,31891	0,77554	-0,56023	-0,33782	0,14565	0,04130	0,17771	0,08271	-0,00593	-0,09255	-0,06457	0,086273	-0,02448
77	1,57702	0,06373	-0,33922	-0,40259	0,21107	0,04165	0,28893	0,13813	-0,00625	-0,12559	-0,17168	-0,062527	0,09707
78	6,11137	0,57894	0,38946	-0,01410	-0,14507	0,22782	-0,27420	-0,26251	0,14220	0,08543	0,02414	-0,254260	-0,02931
79	7,74454	-3,16619	0,41809	0,36320	-0,01041	0,27372	0,17463	-0,48121	-0,74873	1,32297	0,12203	0,751861	-1,03309
80	4,10344	-0,04458	-0,33682	-0,49712	0,21683	-0,58258	0,23230	-0,10977	-0,01554	0,44108	-0,14973	-0,423455	-0,05180
81	8,09642	0,67156	-0,76005	-0,27533	0,51809	-1,10882	0,45283	0,35691	0,18338	0,00976	-0,40053	0,090946	-0,25493
82	5,16364	1,08702	0,03782	-0,10334	-0,06828	0,12549	0,04025	-0,11150	0,33170	0,00677	-0,04189	0,034250	-0,11792
83	5,56512	-1,94599	0,19243	-0,03226	-2,21286	-0,65305	0,00314	-0,01557	0,06312	-0,06985	-0,31501	-0,040373	-0,03914
84	-0,53017	1,54988	0,67346	0,28725	-0,06360	0,82643	-0,42445	-0,28853	0,22762	0,00167	0,16492	-0,023419	0,07085
85	-3,57016	0,65821	-0,32420	-0,44740	0,15909	-0,06393	0,13244	-0,05803	-0,12389	0,00421	-0,02042	0,124598	0,00189
86	-4,46033	0,76600	0,24935	-0,17352	-0,23767	0,69096	-0,31389	-0,27691	-0,27661	-0,11357	0,11740	0,147848	0,17268
87	-3,50702	0,68504	-0,28698	-0,42887	0,14862	-0,02227	0,06996	0,00356	-0,11518	0,02394	0,00390	0,101726	0,01366
88	-2,23499	-3,76931	0,36164	-0,31351	-2,26175	-0,62948	-0,08827	0,17365	-0,04411	-0,42546	-0,19095	-0,027368	0,07301
89	-1,46202	1,44542	2,03250	3,47191	0,99741	-2,12534	-1,12896	2,13669	-0,70974	0,58318	-0,03437	-0,076701	0,23826
90	-3,50702	0,68504	-0,28698	-0,42887	0,14862	-0,02227	0,06996	0,00356	-0,11518	0,02394	0,00390	0,101726	0,01366
91	-3,50702	0,68504	-0,28698	-0,42887	0,14862	-0,02227	0,06996	0,00356	-0,11518	0,02394	0,00390	0,101726	0,01366
92	-2,82610	-3,27865	0,04988	-0,06000	-2,56553	-0,45023	-0,13210	0,11298	-0,20387	-0,35219	-0,37928	-0,062226	-0,34738
93	-4,21262	0,68903	-0,14753	-0,48283	0,15014	0,11222	0,16040	0,36246	-0,12577	-0,08714	0,13761	0,094157	-0,00606
94	-5,14666	0,54785	0,01733	-0,17039	0,08234	0,15863	-0,48200	-0,09050	0,07828	0,18743	0,17244	-0,228035	-0,11606
95	-3,52358	0,67511	-0,31025	-0,45685	0,14851	-0,02024	0,11127	-0,05413	-0,11824	-0,00805	0,01708	0,091928	0,00448
96	-3,11526	-0,28955	0,12824	-0,43447	0,37388	0,17291	0,88991	0,21946	-0,12257	0,42735	0,08474	-0,012597	0,49101



97	-4,38227	0,41682	-0,33077	-0,22796	-0,05786	0,26151	0,10014	0,22847	-0,00271	-0,15091	0,06289	0,123277	0,03865
98	-3,74411	0,90302	0,18594	0,14327	0,09716	0,20918	-0,05031	0,04873	0,12518	-0,01648	0,10361	-0,026050	-0,05549
99	-6,56385	0,73912	0,43834	0,09279	0,11202	0,45928	-0,32991	-0,01013	0,23007	-0,15428	0,25620	-0,059814	0,00085
100	-3,68953	-3,36619	0,19584	-0,08662	-2,64949	-0,40865	0,04864	0,32467	-0,05980	-0,36618	-0,10546	0,048056	-0,05051
101	-2,25382	1,62424	2,39921	3,17713	0,36808	-1,01317	1,37015	-1,86140	1,41181	-1,28504	-0,61235	0,767556	-1,05055
102	-3,68995	0,67421	-0,32311	-0,35073	0,14811	0,12993	0,12019	0,13556	-0,06204	-0,05639	0,03412	0,092773	0,00149
103	-5,17833	0,43505	0,46897	0,05268	-0,19221	0,79032	-0,35796	-0,38724	-0,05594	0,28270	0,04392	-0,164152	0,23237
104	-0,71913	-5,02612	0,31855	-0,49895	3,26640	0,35370	-0,39176	0,07081	-0,61840	-0,07288	-0,25821	-0,119885	-1,38947
105	-3,71662	0,66183	-0,33427	-0,36543	0,14897	-0,02040	0,01490	-0,16544	-0,11824	0,04916	-0,03346	0,097312	0,02014
106	-3,74128	0,65291	-0,35329	-0,37546	0,16768	-0,09559	0,04967	-0,11232	-0,09170	0,03234	-0,05993	0,128221	0,02643
107	-3,86775	0,63240	-0,37314	-0,31613	0,12574	0,07320	0,06050	-0,04337	-0,05875	0,00017	-0,01311	0,106872	-0,00632
108	-3,12043	-1,44175	-0,03919	-0,27628	-1,35101	-0,40340	0,11017	-0,05227	0,02004	-0,04347	0,03945	0,181741	0,25884
109	-4,24260	0,63403	-0,46953	-0,19814	0,14634	0,18622	0,06831	-0,09015	0,00222	-0,02311	-0,05559	0,091685	0,01429
110	-4,40824	1,09171	-0,51703	-0,22090	0,10577	0,19971	0,05297	-0,08979	-0,02261	-0,03965	-0,10647	0,044657	-0,04198
111	-5,96842	-0,35847	-0,32972	-0,31442	0,24898	-0,14389	0,14917	-0,07597	-0,03359	0,03935	0,10634	-0,016538	-0,22320
112	-3,11718	-0,45052	0,06936	-0,35941	-0,03674	-0,27374	-0,57205	-0,19876	-0,21822	-0,48003	0,02269	-0,124277	-0,35791
113	-3,74128	0,65291	-0,35329	-0,37546	0,16768	-0,09559	0,04967	-0,11232	-0,09170	0,03234	-0,05993	0,128221	0,02643
114	-5,67107	0,50459	0,49896	0,17808	-0,11570	0,62847	-0,31023	-0,24751	0,09685	0,11336	0,23345	-0,234816	0,00301
115	-5,46583	0,46262	0,29353	0,03543	-0,04444	0,65688	-0,22066	-0,28048	0,01488	0,32277	0,06118	-0,291173	0,16534
116	-2,68874	-4,47249	1,18672	-0,20581	-1,10424	0,56204	1,81672	0,70585	-0,75587	0,74123	-0,41753	-0,427061	0,12168
117	-2,69499	-0,61813	3,36659	2,80822	0,42273	0,25269	4,09901	-0,59096	1,25865	0,00683	-0,25728	0,302404	0,97821
118	-3,86176	0,68319	-0,23627	-0,49676	0,14927	-0,15519	0,01390	-0,12785	-0,16806	0,10553	-0,01943	0,110827	0,02845
119	-3,91371	0,66576	-0,23457	-0,46298	0,16273	-0,14012	0,01257	-0,09457	-0,11871	0,08146	-0,00029	0,055400	0,02577
120	-3,33568	-1,29914	0,00389	-0,41787	-1,25048	-0,48009	-0,16615	-0,06160	-0,25453	-0,04724	-0,02683	0,156993	-0,34751
121	-2,92681	1,18541	1,09205	1,67343	0,45039	-1,67918	0,39728	-0,83612	-1,56900	-0,84822	0,66389	-0,477428	0,21663
122	-3,59975	0,70465	-0,31494	-0,39551	0,14109	-0,03522	-0,01391	-0,08723	-0,11850	0,05537	-0,03603	0,134962	0,03682
123	-3,50702	0,68504	-0,28698	-0,42887	0,14862	-0,02227	0,06996	0,00356	-0,11518	0,02394	0,00390	0,101726	0,01366
124	-3,08864	-0,55579	-0,31941	-0,29493	-0,29417	-0,16893	-0,05156	-0,00510	-0,17654	-0,10595	-0,48806	-0,189278	-0,00467
125	-3,39415	0,76607	-0,03446	-0,09251	0,17478	-0,08345	0,02631	0,16510	0,09711	0,03668	-0,13350	0,243330	-0,04529
126	-3,50702	0,68504	-0,28698	-0,42887	0,14862	-0,02227	0,06996	0,00356	-0,11518	0,02394	0,00390	0,101726	0,01366
127	-3,23369	-0,34980	-0,22146	-0,31841	-0,52191	-0,10148	-0,00366	0,03827	-0,22715	-0,11242	-0,32639	-0,096152	-0,10706
128	-3,04398	-3,76382	0,21475	-0,10904	-2,93246	-0,68363	-0,02786	0,03680	-0,08949	-0,25968	-0,21545	0,054242	0,02225
129	-5,15740	0,76810	0,47461	-0,12148	-0,02826	0,58591	-0,37982	-0,44463	0,05493	0,16107	0,29708	-0,255454	0,10425

130	-4,62111	0,64111	-0,28960	-0,43414	0,15539	-0,00262	0,11284	-0,05889	-0,12038	-0,00277	0,00946	0,111219	0,00607
131	-4,58235	0,65968	-0,25782	-0,40838	0,14889	0,01630	0,05829	0,00475	-0,11466	0,02647	0,01768	0,102022	0,01891
132	-3,86372	-1,42782	0,24593	-0,51157	0,13840	0,01981	0,16201	0,11939	-0,25083	-0,18995	-0,58748	-0,466952	0,10689
133	-2,88098	1,12719	1,01237	1,85973	0,44578	-1,56114	0,46063	-1,10124	-1,29152	-0,79154	0,47683	-0,396617	0,17775
134	-3,33715	0,67222	-0,39284	-0,32375	0,14735	0,06269	0,07497	-0,04389	-0,05674	-0,00085	-0,03274	0,096558	0,01135
135	-3,33715	0,67222	-0,39284	-0,32375	0,14735	0,06269	0,07497	-0,04389	-0,05674	-0,00085	-0,03274	0,096558	0,01135
136	-1,24835	-5,13677	0,18181	0,26239	0,44713	0,35571	1,06261	0,15117	-0,55163	1,18284	0,57315	0,703299	-0,52179
137	-3,35021	-0,27308	0,28206	0,18418	-0,06619	0,11490	0,37259	0,04655	-0,25662	0,16624	-0,68171	-0,178793	0,07943
138	-3,33715	0,67222	-0,39284	-0,32375	0,14735	0,06269	0,07497	-0,04389	-0,05674	-0,00085	-0,03274	0,096558	0,01135
139	-3,33715	0,67222	-0,39284	-0,32375	0,14735	0,06269	0,07497	-0,04389	-0,05674	-0,00085	-0,03274	0,096558	0,01135
140	-2,49075	-0,71481	-0,44353	-0,26631	0,61391	-0,21792	0,72355	0,11505	0,23309	0,53565	0,03981	-0,354288	0,33668
141	-4,58041	0,66352	-0,23880	-0,36746	0,14900	0,21647	0,15958	0,31561	-0,06707	-0,11066	0,10787	0,089136	-0,00574
142	-4,58041	0,66352	-0,23880	-0,36746	0,14900	0,21647	0,15958	0,31561	-0,06707	-0,11066	0,10787	0,089136	-0,00574
143	-6,73982	-0,03124	-0,12700	0,13582	0,37617	0,11337	0,03247	0,34379	0,32591	-0,18480	0,10406	-0,044149	-0,09657
144	-3,99503	-0,41671	-0,17825	-0,23833	-0,58836	0,02813	0,06279	0,11661	-0,06891	-0,08616	-0,04620	0,063780	0,05853
145	-3,48161	0,79823	0,00687	0,03265	0,15748	-0,11989	-0,01010	-0,14282	0,17581	0,10848	-0,22999	0,264626	-0,08106
146	-3,69189	0,67036	-0,34213	-0,39164	0,14799	-0,07023	0,01891	-0,17530	-0,10962	0,08074	-0,05607	0,105659	0,02614
147	-3,47178	-0,18649	-0,25007	-0,32373	0,48665	-0,04515	0,06587	-0,08564	-0,07562	0,05648	-0,03661	0,085295	0,00349
148	-3,19668	0,09532	-0,25537	0,11654	-0,38469	0,22358	0,14217	-0,27933	0,18680	0,10478	0,02242	0,664670	-0,20570
149	-4,04469	0,67236	-0,27240	-0,41862	0,14875	-0,00298	0,06413	0,00415	-0,11492	0,02520	0,01079	0,101874	0,01628
150	-4,10686	0,67992	-0,26461	-0,34835	0,09979	0,11548	0,08326	0,02196	-0,16225	-0,00145	0,05251	0,123629	-0,00947
151	-4,04469	0,67236	-0,27240	-0,41862	0,14875	-0,00298	0,06413	0,00415	-0,11492	0,02520	0,01079	0,101874	0,01628
152	-3,78477	-0,27251	-0,10536	-0,37246	-0,53916	-0,16921	0,20248	0,07814	0,03953	-0,00271	0,16996	0,199380	0,33126
153	-3,13929	1,55163	1,95571	2,89761	0,43324	-1,52657	-1,38723	1,62751	-1,22438	0,55345	0,00467	0,002107	0,57522
154	-4,41247	0,64685	-0,36367	-0,30326	0,14761	0,10126	0,06330	-0,04270	-0,05622	0,00168	-0,01895	0,096854	0,01660
155	-4,41247	0,64685	-0,36367	-0,30326	0,14761	0,10126	0,06330	-0,04270	-0,05622	0,00168	-0,01895	0,096854	0,01660
156	-4,18098	-0,05906	-0,31811	-0,25543	0,05165	0,05606	0,00425	-0,05098	-0,02757	-0,08046	-0,09727	0,066295	0,10889
157	-3,11208	1,04555	0,46907	0,15967	0,03950	0,18706	-0,20896	0,02817	0,07455	0,12346	0,19494	-0,149352	-0,06276
158	-3,09130	-1,58524	0,09695	-0,45449	0,25659	0,09631	0,12183	0,17189	-0,35216	-0,23126	-0,54796	-0,391605	-0,13677
159	-4,41196	0,76952	0,04128	-0,02673	0,16809	-0,08799	0,03912	0,00990	0,01478	0,01851	-0,07458	0,186621	-0,04086
160	-0,70222	-5,06553	-6,61266	4,39370	-1,26491	-0,53722	-0,16206	-0,07604	0,92338	0,74725	2,29912	0,004625	-0,59788
161	-3,70687	0,64287	-0,50313	-0,24930	0,14609	-0,03323	-0,02714	-0,40160	-0,04563	0,11276	-0,15266	0,104423	0,03632
162	-3,70687	0,64287	-0,50313	-0,24930	0,14609	-0,03323	-0,02714	-0,40160	-0,04563	0,11276	-0,15266	0,104423	0,03632

163	-3,78527	0,82421	-0,45728	-0,30675	0,16590	-0,03743	-0,04686	-0,41021	-0,03022	0,08335	-0,11865	0,164832	0,08355
164	-1,45579	-2,69867	-1,76707	-1,63450	0,82623	-4,62754	-0,67933	-0,70605	2,12317	1,42333	-0,40221	-0,693862	0,77622
165	-3,21267	0,85778	0,08817	0,40063	0,18223	-0,18204	-0,10115	-0,08868	0,11972	0,10545	-0,25002	0,239562	-0,03855
166	-4,30191	0,96668	0,05513	-0,18125	-0,25995	0,63847	-0,19395	-0,39275	-0,29458	-0,17732	-0,13693	0,346188	0,31471
167	-0,81032	-1,79556	-8,40545	6,03906	0,22055	2,08566	-0,53336	-0,71227	-0,59624	-0,33698	-1,94923	-0,172320	0,69871
168	-3,16421	1,10409	0,75987	0,71923	0,15410	-0,04038	-1,61969	2,60572	0,00833	1,31209	-0,48309	0,509459	0,38936
169	-3,85982	0,68704	-0,21726	-0,45585	0,14938	0,04497	0,11518	0,18301	-0,12047	-0,03160	0,07075	0,097941	0,00380
170	-3,85982	0,68704	-0,21726	-0,45585	0,14938	0,04497	0,11518	0,18301	-0,12047	-0,03160	0,07075	0,097941	0,00380
171	-3,54827	-0,21857	-0,04077	-0,46634	0,02616	-0,07883	0,21074	0,21262	0,12474	-0,09208	0,27781	0,215962	0,50355
172	-5,93349	0,16659	0,38756	-0,65636	0,10277	-0,82178	-0,68097	-0,66693	-0,16481	0,55528	-0,30163	-0,071106	-0,11453
173	-3,24246	-0,71325	-0,15163	-0,36240	-0,13855	-0,18446	-0,00854	-0,14993	-0,07826	0,00676	-0,05835	0,111538	0,08675
174	-1,15897	1,60412	0,96667	0,69606	-0,20024	0,84510	-0,71226	-0,49425	0,31821	0,28144	0,04264	-0,212199	0,03710
175	-0,67049	-7,36925	0,87161	-0,10698	1,87344	0,42595	-0,16052	-0,23631	-0,28195	-0,02506	0,18296	0,548675	0,28966
176	-0,80750	0,91073	-0,06921	0,01363	0,11703	0,04730	0,02082	-0,04575	0,13342	0,05143	-0,06193	0,055364	0,12315
177	-1,75098	0,64757	-0,11758	-0,03190	0,07932	1,33736	0,41829	1,53026	0,26923	-0,83182	0,60823	-0,002542	-0,13901
178	-1,21684	0,77991	-0,34315	-0,20408	0,19162	0,95254	0,44057	1,43941	0,18635	-0,76258	0,37092	0,044898	-0,13979
179	0,50469	-0,35536	-0,79115	-0,85035	0,39442	-0,66097	0,55997	0,39668	-0,17455	-0,24984	-0,34779	0,064928	-0,02839
180	-6,21756	-0,05873	0,06309	0,00140	0,43898	-0,06761	0,05759	0,17317	0,22310	-0,00332	0,04112	-0,027393	-0,14980
181	-5,33965	1,03736	0,30575	-0,06967	-0,06029	0,56201	-0,25300	-0,26627	-0,11409	0,11888	0,27281	-0,109107	0,04579
182	-6,08293	0,07392	-0,19520	-0,38756	0,20355	0,05767	0,06721	0,21819	0,07238	-0,18727	0,06997	-0,050337	0,02201
183	-0,70386	-6,90663	0,79725	-0,43086	2,25322	0,03292	-0,21174	-0,16386	-0,29278	0,06183	-0,05812	0,213714	-0,01471
184	0,96417	0,77368	-0,50951	-0,40571	0,14630	-0,09162	0,12164	-0,04869	-0,05881	-0,01096	-0,08790	0,095374	-0,00968
185	-3,00306	0,45663	0,96663	0,21381	-0,25589	0,75599	-0,63413	-0,29439	0,40717	-0,12851	0,04580	-0,280691	0,09729
186	1,00353	1,30803	-0,54639	-0,35909	0,08846	-0,00408	0,07595	-0,30882	-0,18303	0,13387	-0,15419	0,271802	0,02509
187	-3,75808	-0,48226	0,16368	-0,08100	-0,69912	-0,18827	-0,18276	-0,07403	-0,11181	0,04988	0,22720	0,095581	-0,86551
188	-7,71440	-0,13701	0,02787	0,13250	0,12501	-0,06684	0,02485	0,08620	0,40069	0,08679	0,04096	-0,232611	-0,18028
189	-5,78683	0,47279	0,20434	0,10597	0,17784	0,42647	-0,13320	0,14524	0,28974	-0,00014	0,28820	-0,381105	-0,14163
190	-5,01509	0,52162	-0,35753	-0,25502	0,10407	0,25496	0,21710	0,20092	-0,01016	-0,13762	0,04103	0,097340	-0,02555
191	-6,12769	0,23894	0,53931	0,08222	-0,53866	0,38992	-0,29647	-0,03849	0,16738	0,05932	0,25652	-0,062213	0,08764
192	-0,93654	1,04349	0,32358	0,34500	0,10398	-0,16259	-0,21251	-0,15086	0,18904	0,20653	-0,15280	0,092245	-0,08407
193	-4,28048	0,36283	1,03774	0,11541	-0,01068	0,73555	-0,71509	-0,69571	0,06951	0,44829	0,42746	-0,215502	-0,09804
194	-0,73522	0,99420	-0,50691	-0,36454	0,18280	-0,00053	0,13957	-0,04502	-0,04827	-0,00918	-0,12192	0,051789	0,07662
195	-3,52828	-0,39964	-0,19539	-0,19993	-0,61675	-0,04467	-0,03394	0,02085	-0,02172	-0,06248	-0,11170	0,092223	-0,14061

196	-0,83175	0,72480	-0,50189	-0,29683	0,14618	0,11845	0,15437	0,08511	-0,00489	-0,08749	-0,03699	0,086865	-0,01396
197	1,68475	0,79719	-0,48797	-0,49410	0,14668	-0,26311	0,07725	-0,18129	-0,11221	0,06810	-0,12501	0,104179	-0,00014
198	1,68475	0,79719	-0,48797	-0,49410	0,14668	-0,26311	0,07725	-0,18129	-0,11221	0,06810	-0,12501	0,104179	-0,00014
199	1,76690	0,37353	-0,40576	-0,47828	-0,19241	-0,35074	0,05726	-0,19748	-0,02795	0,00712	-0,11300	0,131848	0,22491
200	1,73972	0,95110	-0,19511	-0,42322	0,15167	-0,46725	0,03218	-0,22634	-0,19170	0,19066	-0,17768	0,175270	0,00989
201	1,33195	0,79919	-0,41824	-0,52108	0,14744	-0,19586	0,12247	-0,00184	-0,11751	0,01256	-0,05816	0,100394	-0,01000
202	0,63587	1,32764	-0,14754	-0,38100	-0,13274	0,30327	-0,03024	-0,19902	-0,36031	-0,00534	-0,01378	0,370915	0,14559
203	3,43039	-4,71467	-0,60912	-0,56313	0,84168	-0,78265	-1,66976	-0,45915	0,35731	-1,08743	0,36483	0,784136	0,17487
204	-1,66643	0,29246	0,88140	0,77249	-0,28472	0,98420	-0,78175	-0,66110	0,39312	0,38772	0,27378	-0,445454	0,02015
205	-1,31371	0,58508	0,66330	0,08602	-0,18863	0,28457	-0,64560	-0,48857	0,30127	0,14318	0,11098	-0,285055	0,11186
206	0,80402	1,02707	-0,05480	-0,27172	-0,00803	0,39833	-0,09963	-0,05157	-0,05268	-0,08068	0,06065	-0,031374	0,03527
207	-3,58923	0,72707	0,82148	0,00524	-0,53828	0,64205	-0,05820	-0,33603	-0,11083	0,56897	0,26137	-0,227567	0,12674
208	-1,45006	2,27558	3,65924	4,59277	0,14688	-0,55094	-0,70840	0,51949	1,56426	0,26036	-1,08200	1,036946	-0,56953
209	-3,72714	-0,08808	0,25376	-0,28174	-0,06000	0,31049	-0,41571	-0,14375	0,17561	-0,24280	0,01233	-0,257974	0,25849
210	1,68669	0,80104	-0,46895	-0,45318	0,14680	-0,06295	0,17853	0,12956	-0,06463	-0,06903	-0,03483	0,091293	-0,02480
211	-3,24549	0,86217	0,93897	0,56811	-0,33878	0,90512	-0,46919	-0,47403	0,01678	0,41539	0,27372	-0,037530	0,01134
212	2,34787	-2,99672	-0,01903	-0,28729	-2,30984	-0,56691	-0,01235	0,45599	-0,11615	-0,47603	-0,07687	0,058336	-0,12231
213	1,33195	0,79919	-0,41824	-0,52108	0,14744	-0,19586	0,12247	-0,00184	-0,11751	0,01256	-0,05816	0,100394	-0,01000
214	1,33195	0,79919	-0,41824	-0,52108	0,14744	-0,19586	0,12247	-0,00184	-0,11751	0,01256	-0,05816	0,100394	-0,01000
215	-1,66321	-0,01574	0,03286	-0,06147	0,46985	-0,50463	0,21902	0,41153	0,56051	0,13328	0,20069	-0,536454	-0,49162
216	1,89741	0,77650	-1,05738	-0,17914	-0,13706	-0,30939	-0,11142	-0,06652	-0,20980	-0,03178	-0,11558	0,243674	-0,08640
217	0,96417	0,77368	-0,50951	-0,40571	0,14630	-0,09162	0,12164	-0,04869	-0,05881	-0,01096	-0,08790	0,095374	-0,00968
218	0,00431	0,78433	0,18663	-0,36169	-0,13103	0,28716	-0,19393	-0,23900	0,03593	-0,04949	0,10480	-0,079545	0,13373
219	1,06213	0,53101	-0,58497	-0,29254	0,20465	0,09020	0,13005	0,06929	0,09454	-0,22040	-0,09154	0,033227	-0,04739
220	1,86942	-1,10583	0,27452	0,03172	-1,64010	-0,02048	-0,85973	-0,06485	-0,70310	-0,26246	-0,46937	-0,436186	-1,43594
221	-1,22449	0,06735	0,74504	2,11534	0,88951	-1,92780	0,49248	-0,35720	-0,67761	-0,46921	0,62741	-0,841734	-0,11952
222	-0,04088	0,49034	0,18592	-0,09569	0,13447	0,10947	-0,04926	-0,09698	0,11677	0,25357	0,16294	-0,138500	-0,22195
223	1,76268	0,78332	-0,57676	-0,44740	0,20621	-0,14431	0,08306	0,14701	0,02979	-0,17097	-0,01089	-0,010310	-0,07598
224	-3,81337	-4,47772	2,30043	0,61551	-1,55808	0,85613	1,40336	0,40926	-0,63028	1,21822	-0,62798	-0,978739	-0,35755
225	1,63597	1,20228	0,68858	1,28649	0,38920	-1,37259	0,45656	-0,57284	-1,17880	-0,78034	0,47846	-0,350687	0,11579
226	1,14903	0,78836	-0,45437	-0,44294	0,14693	-0,04366	0,17270	0,13016	-0,06437	-0,06776	-0,02794	0,091441	-0,02217
227	1,14903	0,78836	-0,45437	-0,44294	0,14693	-0,04366	0,17270	0,13016	-0,06437	-0,06776	-0,02794	0,091441	-0,02217
228	1,74097	-2,21091	-0,00069	-0,22414	-2,70064	-0,49821	-0,01615	0,20518	-0,13404	-0,42208	-0,24355	0,170513	0,01154

Var	Componentes principais													
	CP14	CP15	CP16	CP17	CP18	CP19	CP20	CP21	CP22	CP23	CP24	CP25	CP26	CP27
1	0,05673	0,03333	0,05653	0,10573	-0,07130	-0,11379	0,01220	-0,08220	-0,03092	-0,08762	-0,02962	0,04218	-0,02562	-0,06312
2	0,23270	-0,04979	-0,01320	-0,11536	-0,04135	-0,03290	0,01431	0,02035	-0,01892	0,00819	-0,02051	0,00994	0,01644	0,01262
3	-0,03194	-0,10173	0,25833	0,00446	0,02348	0,28547	0,04328	0,08009	0,11306	-0,08691	0,00371	-0,13560	0,05379	0,00979
4	-0,13760	-0,11055	0,12152	0,01188	0,07761	0,08005	0,14849	0,08353	0,12504	0,04621	0,05335	-0,09638	-0,01891	-0,07117
5	0,08616	-0,18294	0,25916	-0,12668	0,22226	0,02126	0,30732	0,16750	0,11031	-0,02706	0,02745	-0,04718	-0,09062	-0,02869
6	0,62005	-0,16355	-0,17710	0,00527	0,42158	-0,17083	-0,15056	0,05698	0,07341	0,17522	-0,09802	0,19808	0,02768	-0,13081
7	0,18785	0,01087	0,06984	0,04955	0,13952	0,08167	0,10011	0,03513	0,09715	-0,10333	0,03573	-0,01135	-0,03203	0,03657
8	0,10295	-0,05530	0,04279	0,02444	-0,09084	0,11381	-0,02607	0,01787	-0,04010	-0,02615	0,01492	-0,06125	0,02574	-0,01874
9	0,10196	-0,11004	-0,05451	-0,02848	-0,12149	-0,03589	-0,04674	-0,02863	0,00099	0,03105	0,00420	-0,02343	0,00062	-0,00035
10	0,31076	-0,54705	-0,18812	0,05587	0,17242	-0,15198	-0,08596	-0,07909	0,07934	-0,13779	0,00455	-0,03793	0,03127	0,13732
11	-0,16664	-0,16730	0,14914	0,02134	-0,11815	-0,17609	0,02038	-0,07627	0,09233	0,07185	-0,03416	-0,02521	-0,00758	-0,02858
12	0,02420	-0,02451	0,08143	-0,10405	0,06583	-0,00740	-0,00773	-0,02137	-0,00239	-0,00680	-0,00092	-0,00385	0,02151	0,01187
13	-0,06068	-0,06348	0,17458	0,00621	0,05534	0,00510	-0,03839	-0,05183	0,00363	-0,00229	0,00045	-0,00718	0,00442	0,01356
14	0,14058	-0,03093	0,04156	0,00557	0,00395	0,02161	0,01330	-0,00175	-0,01161	-0,01091	-0,01196	0,00863	0,00687	0,00095
15	0,13705	0,12842	0,18525	0,05705	0,07756	0,05430	-0,01435	-0,06024	0,01513	-0,01398	-0,01238	0,00442	-0,00105	0,01364
16	-0,02981	-0,16977	-0,09312	-0,24037	-0,09114	-0,10914	0,04779	-0,05446	-0,03519	-0,05563	0,05884	-0,09750	0,05826	0,02479
17	0,05031	-0,01901	0,05437	-0,06613	0,05615	-0,00607	-0,00389	-0,02033	-0,00382	-0,00791	-0,00535	0,00425	0,01184	0,00665
18	0,09083	0,18290	-0,07738	0,16876	-0,11988	-0,18971	0,08003	0,07138	-0,12639	-0,01586	-0,00263	0,01138	-0,07567	0,00955
19	-0,04161	-0,02306	0,25070	-0,19915	0,03846	0,18552	0,03260	-0,14878	0,15444	-0,01994	-0,00477	-0,03163	-0,04093	0,02352
20	0,04801	-0,00313	0,11465	0,00289	-0,13495	0,11794	0,03418	-0,13696	-0,01284	0,03305	-0,02024	0,00405	-0,08692	0,05854
21	-0,01059	0,00726	0,16749	-0,03370	-0,16188	0,16309	-0,03103	-0,04832	0,06722	0,13336	-0,01278	0,05367	-0,00334	0,07851
22	0,23994	0,21912	0,38609	0,10527	0,24242	0,16093	-0,06356	0,27850	0,01792	0,11646	-0,00178	0,16389	0,03395	-0,08319
23	-0,01543	-0,02104	0,21794	0,39553	-0,02736	0,07392	-0,20807	-0,14210	0,10760	-0,08402	0,08035	0,03108	-0,02767	-0,11257
24	-0,25577	0,23696	0,26482	-0,05789	-0,08369	0,13998	0,22462	-0,05383	-0,04956	-0,08137	0,07914	-0,00956	0,09717	0,01072
25	0,05261	0,02907	-0,05601	-0,09338	0,04943	-0,38275	-0,10747	-0,01233	-0,04822	-0,01541	0,05824	-0,10179	-0,05502	0,04832
26	-0,28793	0,16625	0,33182	0,27878	0,14955	-0,23246	0,31220	-0,14064	-0,22758	0,14007	0,09057	-0,21118	-0,03784	-0,00226
27	-0,19848	0,20618	0,15192	-0,14975	0,10251	-0,09775	0,34695	0,15875	0,07886	0,00583	-0,04528	0,03451	-0,04199	0,01099
28	0,08363	0,23618	-0,20500	0,42571	0,07636	-0,24362	-0,06266	0,07967	-0,04167	-0,03849	0,02256	-0,06550	0,00476	0,02777
29	-0,03958	-0,07079	0,11330	-0,16799	0,07176	-0,02088	-0,03467	0,01729	0,10140	-0,01731	0,05202	-0,00269	-0,10767	-0,02204
30	0,06277	-0,09692	0,00660	0,05663	-0,16364	0,04589	0,06246	-0,05685	-0,07719	0,02826	-0,00073	0,00731	-0,04703	0,00136
31	0,15648	-0,03356	0,08474	-0,03128	-0,07185	-0,03609	0,02284	-0,07404	0,00727	-0,03580	-0,04894	0,00023	0,06503	0,01362

32	-0,31884	0,19356	0,07998	-0,01801	0,05929	-0,17891	0,09170	-0,12965	0,03445	-0,06328	-0,03784	-0,04130	0,01810	-0,02411
33	-0,19489	-0,03634	-0,09185	-0,10209	-0,03299	-0,04686	-0,05317	-0,01836	0,00785	0,02071	0,01918	0,01369	-0,01177	-0,00499
34	-0,19489	-0,03634	-0,09185	-0,10209	-0,03299	-0,04686	-0,05317	-0,01836	0,00785	0,02071	0,01918	0,01369	-0,01177	-0,00499
35	-0,37814	-0,11358	0,05215	0,07708	-0,02490	-0,04394	-0,10699	-0,06848	0,03721	0,02670	0,01849	0,01427	-0,04291	-0,00291
36	0,99400	0,38726	-0,28784	-0,54842	0,08248	-0,05528	0,03124	-0,18952	-0,13314	0,02204	-0,01706	0,00370	0,02153	0,00280
37	0,24065	-0,08091	0,14802	-0,07862	0,23101	0,12918	-0,07860	0,16863	0,11416	0,04589	0,00603	-0,05283	0,00400	-0,05161
38	-0,18848	-0,18485	-0,05278	-0,04288	-0,10021	0,15949	-0,14471	0,08520	-0,28256	-0,15698	-0,06937	-0,00475	0,11280	0,01578
39	-0,77120	0,30259	-1,78465	0,47063	0,53500	0,49416	0,26773	-0,18513	0,15267	-0,10440	-0,01171	0,08458	-0,05026	-0,05324
40	-0,41540	-0,15604	-0,74499	0,11988	-0,45461	0,12884	0,05598	-0,20529	0,11291	-0,08554	-0,16949	-0,05739	-0,00274	0,03002
41	-0,32970	-0,07881	0,03102	0,07501	-0,04868	0,20945	-0,54366	0,17908	-0,16459	0,01333	-0,02671	0,09768	-0,06475	0,07735
42	-0,12578	-0,04114	0,05998	-0,03222	0,06476	-0,01794	-0,03007	-0,02858	0,02901	-0,01292	-0,06840	0,00995	0,01748	0,01455
43	-0,18593	-0,25813	-0,08453	-0,22887	-0,26079	-0,26733	0,01493	-0,18940	-0,11319	0,00013	0,19836	0,14310	0,07446	-0,04848
44	0,06445	-0,00819	0,01441	-0,03060	0,05678	-0,01332	-0,00120	-0,02244	-0,00568	-0,00952	-0,01070	0,01651	-0,00145	-0,00039
45	-0,06512	-0,04964	0,16539	0,08949	0,05498	0,02289	0,26115	0,13216	-0,01769	-0,04222	-0,03915	-0,05344	-0,04099	-0,02767
46	1,08420	-0,29774	-0,26751	0,19472	0,01360	0,02019	0,01056	-0,02613	0,11426	0,10479	0,02479	-0,06979	-0,04906	-0,02014
47	-0,04199	-0,07668	0,09791	0,01908	-0,13026	-0,04668	-0,06949	-0,01924	0,14729	-0,03477	-0,09208	-0,01054	0,09993	0,01195
48	0,44612	1,34121	0,17844	0,26895	-0,14521	-0,09964	-0,14123	0,06222	0,07118	-0,11360	0,02983	-0,00059	-0,00489	0,00953
49	-0,15113	0,17776	0,03592	0,17808	0,09087	-0,22333	0,08874	0,17909	-0,01385	-0,04480	0,02320	-0,11837	-0,04981	-0,02470
50	-0,15697	0,06699	0,29484	-0,10671	-0,12156	0,05290	0,04583	-0,11225	-0,01327	-0,06825	-0,20514	-0,03526	0,02615	-0,01356
51	-0,01065	-0,16073	-0,03899	-0,18173	0,02238	-0,16112	0,41483	0,25160	0,09330	-0,00777	0,10733	0,08284	0,05433	0,05304
52	-0,03517	0,03130	0,07415	-0,14299	0,26249	-0,17593	-0,05942	0,02492	-0,10410	0,12897	-0,00117	-0,04355	0,04229	0,06280
53	-0,30739	0,16818	0,12271	-0,06070	0,18950	-0,04292	-0,33125	-0,11307	-0,03486	0,05641	0,17063	-0,01253	-0,17722	0,01743
54	-0,41252	0,03864	0,14183	-0,12717	-0,09923	-0,11292	0,04878	-0,01550	-0,17438	-0,08207	-0,12419	-0,02797	0,12001	-0,10005
55	-0,16285	-0,12632	0,03317	-0,34941	0,13000	0,27680	-0,23604	0,03927	-0,12972	0,03527	0,17632	0,04895	0,01858	0,03620
56	-0,05680	-0,21993	0,10636	-0,06330	0,11117	0,08539	0,10931	-0,00711	-0,01104	0,06976	0,04809	0,01342	-0,10150	0,00276
57	-0,10809	-0,01581	-0,12158	0,29275	-0,05580	-0,06674	-0,02458	0,09144	-0,01270	0,08151	-0,03318	-0,04253	-0,14803	-0,06061
58	-0,10071	-0,04380	0,11025	0,31572	-0,00104	-0,10370	-0,01483	0,05775	0,05574	-0,05301	-0,04706	-0,04584	0,14114	0,04609
59	-0,29261	0,08748	0,07297	-0,12279	-0,04856	-0,02326	0,24097	0,11818	-0,02229	0,08579	-0,06133	-0,06575	-0,01484	-0,07304
60	0,07542	0,08189	0,05410	0,09929	0,07374	-0,06150	0,08852	-0,13342	-0,02752	0,05679	-0,16138	-0,01180	-0,04205	0,07848
61	-0,05413	0,01185	0,25885	0,19974	-0,00890	-0,04535	-0,01170	0,07189	0,10346	-0,19444	0,05502	-0,05670	-0,04103	-0,05570
62	-0,02749	-0,02613	-0,17406	0,07608	-0,12450	0,19782	0,16982	0,05847	-0,51187	-0,10789	0,19392	-0,08659	-0,03108	-0,06104
63	0,14542	-0,20198	-0,03149	-0,08894	-0,09797	-0,28349	0,17431	0,23333	-0,08011	-0,01035	-0,05538	0,18857	-0,10699	-0,00536
64	0,06658	-0,06542	-0,06982	0,08798	-0,04208	-0,12735	-0,08072	0,06361	0,04290	-0,07415	0,03244	0,01538	-0,02238	-0,05892

65	0,05704	-0,08313	0,06360	0,15754	-0,11231	0,05889	-0,30797	-0,28604	-0,02851	0,06695	0,00114	0,06790	0,02794	0,02171
66	0,06084	-0,04059	0,11352	-0,05050	0,02190	0,02536	-0,00415	-0,00897	0,00049	-0,00591	-0,00025	-0,01190	0,02448	0,01413
67	0,01524	-0,13302	0,00046	0,06076	-0,31947	0,11047	-0,04105	0,05001	0,01725	0,04109	0,03476	-0,03741	0,01560	0,00765
68	0,00018	-0,11506	-0,01387	0,04925	-0,26571	0,13507	-0,04597	0,04871	-0,02266	0,06998	0,06114	-0,03077	-0,04456	0,00246
69	-0,19592	-0,11994	-0,01947	0,14853	-0,17030	0,06545	0,00202	-0,03019	0,07760	-0,01602	-0,05949	0,03716	0,11673	-0,02190
70	-0,12298	-0,00486	-0,20036	-0,12274	0,08610	-0,11701	-0,01542	0,04056	-0,04223	0,10458	-0,01123	-0,01313	0,02317	0,03865
71	-0,24556	0,19067	0,27285	0,30336	0,24584	0,42595	-0,21525	0,09701	-0,20670	0,00938	-0,04087	0,01997	-0,02937	0,05099
72	0,79293	1,50514	0,01359	-0,20875	-0,08607	0,07844	0,16043	0,02588	-0,11520	0,08524	-0,04084	0,00753	-0,03154	0,00361
73	0,01590	-0,06680	-0,35774	0,52209	0,16165	-0,38781	-0,23853	0,12728	-0,17606	-0,19369	0,03657	0,05621	0,06175	-0,02956
74	0,00397	0,09556	-0,16620	0,08488	0,09595	-0,25346	0,07307	0,24247	0,05301	-0,02099	0,09519	-0,02373	-0,02119	0,02517
75	0,03674	-0,01652	0,03556	-0,07488	0,07244	-0,01593	-0,00420	-0,02268	-0,00319	-0,00923	-0,00653	0,01109	0,00691	0,00437
76	0,03036	-0,01014	0,03287	-0,07011	0,07334	-0,02037	-0,00581	-0,02559	-0,00453	-0,00873	-0,00690	0,01120	0,00581	0,00362
77	0,18439	-0,02349	-0,00122	-0,06511	0,04117	-0,00423	0,00502	-0,03753	-0,02158	-0,00372	-0,01014	0,00339	0,00723	0,00434
78	0,07259	-0,00311	-0,09448	0,18995	-0,02124	0,04267	-0,18504	0,27963	-0,01429	0,15880	-0,00606	0,10684	0,03590	-0,04833
79	-1,02149	0,12374	0,04938	-0,25262	0,12102	0,02350	-0,08963	0,04751	-0,02022	0,11102	-0,01785	-0,00853	-0,09960	-0,01857
80	0,13611	0,10461	0,26127	0,14708	-0,05922	0,16918	0,12953	-0,07393	-0,02478	-0,09627	-0,02110	-0,05274	0,03519	0,04218
81	0,28558	-0,09886	0,13933	0,03837	0,03222	-0,13424	0,01884	-0,11265	0,23545	0,12632	0,00993	-0,03819	-0,01671	-0,02942
82	0,03032	-0,02730	-0,08461	0,11521	0,14096	-0,09994	-0,04503	0,12629	0,07539	-0,03458	0,04810	-0,03196	0,01832	0,01335
83	-0,25849	-0,12795	0,18911	0,03142	0,00695	0,01382	0,08651	-0,09682	-0,10028	0,00695	-0,00662	0,00641	-0,01870	0,01850
84	-0,19283	-0,12779	-0,02781	-0,28926	0,04876	0,12319	0,04259	0,02351	-0,08921	-0,00538	0,08167	0,06226	0,01298	0,01182
85	0,08771	-0,03809	0,02922	0,03168	-0,01325	-0,01893	-0,03993	0,01601	0,01882	0,01415	-0,02331	0,02340	0,03789	-0,04449
86	0,06609	-0,01973	0,08572	-0,05687	0,02357	0,29453	-0,07747	0,14726	-0,03533	-0,06130	0,03594	0,01946	0,07071	0,00192
87	0,04684	-0,03786	-0,02835	0,02142	-0,05905	0,01548	-0,01371	-0,00251	0,00035	0,00584	0,00005	0,01043	-0,00784	-0,00402
88	-0,10222	-0,04048	0,08937	0,07477	-0,06010	0,05891	0,02502	-0,04078	-0,02475	0,00131	-0,00049	0,00199	0,01813	0,00905
89	0,32339	-0,03239	0,55620	-0,04164	-0,00540	-0,04853	0,06578	0,00606	-0,03672	-0,00488	0,05684	-0,03801	0,05548	-0,02594
90	0,04684	-0,03786	-0,02835	0,02142	-0,05905	0,01548	-0,01371	-0,00251	0,00035	0,00584	0,00005	0,01043	-0,00784	-0,00402
91	0,04684	-0,03786	-0,02835	0,02142	-0,05905	0,01548	-0,01371	-0,00251	0,00035	0,00584	0,00005	0,01043	-0,00784	-0,00402
92	-0,32225	-0,09478	0,06842	-0,09041	0,15441	-0,03377	0,06214	-0,02032	-0,01978	-0,02615	-0,00930	0,01624	0,04576	0,01383
93	-0,08050	-0,09047	-0,10273	0,04167	-0,23695	0,04181	-0,05029	0,02473	0,01385	0,03714	0,02730	-0,00403	-0,01337	-0,00692
94	-0,11701	0,01348	-0,15738	-0,10827	-0,15686	0,07246	0,19096	0,11024	-0,06037	-0,05580	-0,10337	0,08917	-0,02998	0,04540
95	0,03992	-0,03364	-0,03673	0,02408	-0,05861	0,01419	-0,01335	-0,00328	0,00000	0,00532	0,00019	0,01046	-0,00815	-0,00477
96	0,04847	-0,03618	0,04209	0,12967	-0,10933	0,06814	-0,04955	-0,04086	-0,00306	0,02267	0,01383	-0,01779	-0,01695	0,00717
97	-0,10728	-0,03138	-0,07287	-0,10550	0,01557	-0,06580	-0,00727	0,00901	-0,00222	0,00885	-0,00947	0,04205	-0,00877	0,00490

98	-0,07328	0,07485	-0,26207	0,17832	0,16334	-0,13471	-0,01344	0,05313	-0,09779	0,18528	-0,04985	-0,05917	0,07714	0,06677
99	0,04125	0,16104	-0,27816	-0,03398	0,16554	-0,12179	0,04458	0,01752	-0,05360	0,11954	0,06018	-0,04945	0,13604	0,04442
100	-0,44067	-0,07858	0,12658	0,02385	0,03922	0,00614	0,00909	-0,03730	-0,00829	-0,00503	0,00852	0,00787	0,02343	0,01291
101	-0,03257	-0,13707	-0,30957	-0,12274	-0,04538	0,14513	0,07743	0,09090	0,04925	-0,04334	0,02605	0,01023	0,03078	-0,00336
102	-0,01119	-0,02917	-0,03568	-0,02286	-0,02186	-0,00874	-0,02064	-0,01198	0,00065	0,00564	0,00199	0,01346	-0,00783	-0,00366
103	-0,25366	0,18390	0,08449	-0,12873	0,06394	0,09892	0,22635	-0,02549	0,07817	-0,01324	0,04231	-0,02241	-0,11518	0,08164
104	0,56898	0,34695	-0,28378	-0,15313	-0,00150	0,12762	-0,04360	-0,11028	0,08397	0,00486	0,05438	-0,08939	0,02985	-0,02831
105	0,11829	-0,01383	0,04597	0,03599	0,03181	0,01797	0,05800	0,03133	-0,01632	-0,01889	-0,02499	0,03788	-0,00715	0,00264
106	0,08851	0,00321	-0,03301	-0,03344	0,09553	0,01772	0,00760	-0,00770	-0,04843	0,01737	0,01325	0,02509	-0,06004	-0,00799
107	0,06772	0,02862	-0,00635	-0,04215	0,06503	-0,01966	-0,00052	-0,02553	-0,00705	-0,01032	-0,01164	0,02309	-0,00530	-0,00313
108	-0,15100	-0,00001	0,17750	0,12538	0,03501	0,03578	-0,00989	-0,05448	-0,00677	-0,01037	-0,00634	0,01264	-0,00496	0,00683
109	0,05015	0,03567	0,02277	-0,08898	0,20012	-0,06501	0,00824	-0,05080	-0,01284	-0,02619	-0,02394	0,03373	-0,00471	-0,00161
110	0,11931	0,04769	-0,01271	-0,12779	0,19430	-0,06755	0,02295	-0,04001	-0,02365	-0,02850	-0,02642	0,03623	0,00060	-0,00406
111	0,40766	0,20872	0,17432	0,19533	0,10287	0,12034	-0,04930	-0,22167	0,03229	-0,01106	0,02841	-0,03908	-0,02139	-0,02549
112	0,66074	0,36136	-0,14316	-0,01591	-0,26683	-0,13443	-0,09447	0,13051	0,10406	-0,26452	0,06613	0,05075	-0,03275	-0,06550
113	0,08851	0,00321	-0,03301	-0,03344	0,09553	0,01772	0,00760	-0,00770	-0,04843	0,01737	0,01325	0,02509	-0,06004	-0,00799
114	-0,16031	0,10906	-0,04044	0,11257	-0,11776	-0,29644	-0,02912	-0,06081	0,00002	-0,10005	0,03798	0,00662	0,02512	-0,00047
115	-0,12569	0,19402	0,06870	-0,08436	0,04780	0,17148	0,20590	-0,07623	-0,06675	-0,06742	0,22043	0,05693	0,04500	0,07374
116	0,27678	0,17612	-0,25833	-0,23752	-0,12884	0,02911	0,01012	-0,06229	-0,04794	0,05137	0,03131	-0,06318	0,05179	0,02381
117	-0,13869	-0,22330	-0,07443	0,15475	-0,15135	0,15858	0,01257	-0,02780	-0,00245	0,02424	0,04818	-0,08569	-0,02981	0,02246
118	0,10087	-0,04477	-0,02531	0,06491	-0,09280	0,03683	-0,00717	0,00591	-0,00009	0,00588	-0,00220	0,00879	-0,00906	-0,00500
119	0,06422	0,00005	-0,02989	0,02704	-0,12416	-0,02658	-0,00379	-0,01993	0,04373	-0,02064	-0,02502	-0,02666	0,03661	-0,01610
120	0,15531	0,24519	-0,03329	-0,05099	-0,11834	0,08998	0,04470	0,02075	-0,01478	-0,00247	0,00234	0,01744	0,02370	-0,00134
121	-0,17376	0,14977	-0,00338	-0,05499	-0,02149	-0,09327	-0,15203	-0,00826	-0,07229	0,00906	0,01039	-0,02002	-0,02841	-0,00737
122	0,07466	-0,04348	0,00417	-0,07447	-0,05054	0,01246	-0,02979	0,04568	-0,05301	-0,01984	0,00272	-0,02067	0,01196	-0,01444
123	0,04684	-0,03786	-0,02835	0,02142	-0,05905	0,01548	-0,01371	-0,00251	0,00035	0,00584	0,00005	0,01043	-0,00784	-0,00402
124	-0,57094	-0,64979	0,04778	0,09227	0,12252	-0,12675	0,11673	0,08218	0,01648	-0,01830	-0,02220	-0,03581	-0,01331	-0,00985
125	0,06371	-0,05838	-0,05621	-0,03836	-0,00208	0,05616	0,00205	0,01886	-0,03310	0,03106	0,02822	0,01731	-0,05632	-0,00569
126	0,04684	-0,03786	-0,02835	0,02142	-0,05905	0,01548	-0,01371	-0,00251	0,00035	0,00584	0,00005	0,01043	-0,00784	-0,00402
127	-0,20425	-0,33338	-0,03060	0,01339	0,02977	-0,04542	0,00850	0,00665	-0,00020	-0,00134	-0,00402	0,00169	0,01148	0,00339
128	-0,39453	-0,10105	0,20421	0,08464	0,10097	0,01577	0,03127	-0,04838	-0,01473	-0,02084	-0,00621	0,00959	0,02671	0,01643
129	0,00074	0,00508	0,21529	-0,05668	0,16657	0,25773	-0,08353	-0,04865	0,26944	0,01489	0,09688	0,04585	0,14394	-0,01665
130	0,05792	-0,04137	0,02848	-0,01078	-0,05725	-0,01736	-0,03473	0,00190	-0,00790	0,01008	0,00594	0,00766	-0,00631	0,00003



131	0,03886	-0,03431	-0,03695	0,01983	-0,05217	0,00976	-0,01448	-0,00462	0,00007	0,00551	-0,00057	0,01321	-0,01026	-0,00524
132	0,29192	-0,33101	-0,18500	-0,01895	-0,05250	-0,01788	0,04112	-0,01293	-0,04387	0,01057	-0,01623	-0,00987	0,01105	-0,00086
133	-0,09126	0,19024	0,04511	-0,11300	0,18891	-0,12436	-0,10734	-0,04157	-0,07705	-0,02485	-0,01365	-0,00071	-0,02048	-0,00368
134	0,05248	-0,00287	0,00151	-0,03298	0,06710	-0,02190	-0,00235	-0,02560	-0,00610	-0,01001	-0,01163	0,02069	-0,00507	-0,00221
135	0,05248	-0,00287	0,00151	-0,03298	0,06710	-0,02190	-0,00235	-0,02560	-0,00610	-0,01001	-0,01163	0,02069	-0,00507	-0,00221
136	-0,88049	0,36689	0,23912	0,01700	0,18151	0,04855	-0,10546	-0,04002	0,15130	0,00806	0,05617	-0,01649	0,01585	0,04474
137	-0,08755	-0,49543	-0,07603	-0,06540	0,19778	-0,01126	0,04850	0,04152	-0,10196	-0,01475	0,01186	-0,04409	-0,02396	-0,01236
138	0,05248	-0,00287	0,00151	-0,03298	0,06710	-0,02190	-0,00235	-0,02560	-0,00610	-0,01001	-0,01163	0,02069	-0,00507	-0,00221
139	0,05248	-0,00287	0,00151	-0,03298	0,06710	-0,02190	-0,00235	-0,02560	-0,00610	-0,01001	-0,01163	0,02069	-0,00507	-0,00221
140	-0,03450	0,06190	0,11786	-0,07012	0,02387	0,14474	0,20483	0,29945	-0,05180	-0,04588	-0,08077	0,22396	0,04431	0,09358
141	-0,07884	-0,05371	-0,07717	-0,01353	-0,10737	0,00157	-0,03932	0,00058	0,00726	0,02112	0,01530	0,00763	-0,01180	-0,00571
142	-0,07884	-0,05371	-0,07717	-0,01353	-0,10737	0,00157	-0,03932	0,00058	0,00726	0,02112	0,01530	0,00763	-0,01180	-0,00571
143	-0,21044	0,10370	-0,16831	0,04680	0,19934	0,09167	-0,04850	-0,16498	0,04270	-0,03798	0,00755	0,00485	-0,01456	-0,03536
144	-0,15385	-0,08253	-0,03076	-0,06053	0,01697	0,01104	-0,01138	0,01934	-0,04730	-0,02721	0,00014	-0,01618	0,01501	-0,01469
145	0,14501	-0,05162	0,00231	-0,00794	0,02638	0,03049	0,02345	-0,00090	0,00539	-0,01420	-0,01206	0,02037	0,00101	0,00004
146	0,10652	-0,00978	0,00455	0,01050	0,03335	-0,00055	0,00419	-0,01718	-0,00654	-0,00997	-0,01388	0,01905	-0,00629	-0,00318
147	0,02390	0,04065	-0,03854	-0,05676	0,07180	-0,04519	0,00100	-0,04075	0,01011	-0,00517	-0,00700	-0,01526	-0,01635	-0,01565
148	-0,29145	-0,03541	-0,01941	-0,06441	0,10559	-0,06528	-0,07626	-0,04314	0,05812	0,00557	-0,00042	0,05694	0,00363	0,02185
149	0,04285	-0,03608	-0,03265	0,02063	-0,05561	0,01262	-0,01410	-0,00356	0,00021	0,00568	-0,00026	0,01182	-0,00905	-0,00463
150	0,05401	-0,05150	-0,00088	0,04816	-0,05394	0,03634	-0,02855	0,00432	-0,00378	0,00459	-0,00211	0,04461	-0,00042	0,01126
151	0,04285	-0,03608	-0,03265	0,02063	-0,05561	0,01262	-0,01410	-0,00356	0,00021	0,00568	-0,00026	0,01182	-0,00905	-0,00463
152	-0,11887	-0,03179	0,10993	0,14557	-0,06914	0,04298	-0,04431	-0,03981	0,00397	0,00926	0,00566	0,00651	-0,02115	0,00073
153	0,13958	-0,01123	0,37052	-0,22082	0,08931	-0,06854	-0,14337	0,00223	-0,05662	0,01405	-0,00825	-0,00594	-0,01239	0,02557
154	0,04450	0,00068	-0,00709	-0,03457	0,07397	-0,02763	-0,00312	-0,02771	-0,00639	-0,01034	-0,01226	0,02347	-0,00748	-0,00343
155	0,04450	0,00068	-0,00709	-0,03457	0,07397	-0,02763	-0,00312	-0,02771	-0,00639	-0,01034	-0,01226	0,02347	-0,00748	-0,00343
156	-0,13373	-0,18314	0,03917	0,03278	0,11792	-0,05764	-0,01771	-0,04182	0,00552	-0,00993	-0,01379	0,01753	-0,01236	0,00079
157	-0,08202	0,06259	-0,35636	0,40870	-0,07258	-0,21860	-0,10262	0,17619	-0,01497	0,01982	0,04297	-0,08169	0,00348	0,07970
158	-0,07824	-0,49794	-0,19737	-0,00354	-0,06047	-0,05213	0,00973	0,01559	-0,00170	0,02131	0,00204	-0,01959	0,01393	0,00324
159	0,05744	-0,05562	-0,03458	0,00340	-0,05536	0,02625	-0,00765	0,00625	0,00505	0,00301	0,00104	0,01278	-0,00616	-0,00298
160	1,08373	-1,46647	-0,36473	-0,19894	0,04873	0,14648	0,06501	-0,01963	-0,09431	-0,01939	-0,00910	-0,05282	-0,01097	-0,03716
161	0,17184	0,05329	0,06729	-0,05482	0,25188	-0,05396	0,03345	-0,05495	-0,01989	-0,04163	-0,03950	0,03792	-0,00196	-0,00053
162	0,17184	0,05329	0,06729	-0,05482	0,25188	-0,05396	0,03345	-0,05495	-0,01989	-0,04163	-0,03950	0,03792	-0,00196	-0,00053
163	0,20793	0,09537	0,07486	-0,03380	0,23795	-0,06714	0,05493	-0,07317	-0,01882	-0,04071	-0,03539	-0,00466	-0,02092	-0,02250

164	-0,89057	0,56116	-0,76652	-0,94737	-0,11150	-0,16887	-0,20942	0,04959	0,13852	0,03637	-0,02310	0,00673	0,04399	-0,02663
165	0,15263	-0,01331	0,05944	-0,07681	0,15443	-0,01228	0,02194	-0,02217	-0,00618	-0,02821	-0,02328	0,02793	0,00295	0,00380
166	0,16003	-0,04226	-0,08184	-0,14381	0,14261	-0,09327	-0,24347	-0,14238	0,04134	-0,00670	-0,09218	-0,08902	-0,00784	-0,04672
167	-0,48345	1,14399	0,11590	0,22698	-0,26517	0,03033	-0,03559	0,05682	0,02806	0,07197	0,05557	-0,01052	0,00436	-0,03131
168	0,27369	-0,24134	0,28654	-0,08002	-0,16612	0,08278	-0,04732	0,04340	0,02199	0,04343	0,00786	0,00177	0,00220	0,02584
169	-0,01683	-0,06416	-0,06554	0,03155	-0,14800	0,02864	-0,03200	0,01111	0,00710	0,02149	0,01368	0,00320	-0,01060	-0,00547
170	-0,01683	-0,06416	-0,06554	0,03155	-0,14800	0,02864	-0,03200	0,01111	0,00710	0,02149	0,01368	0,00320	-0,01060	-0,00547
171	-0,14203	-0,11854	0,09132	0,22434	-0,17199	0,05533	-0,08632	-0,04441	0,01868	0,03092	0,01659	-0,00412	-0,04076	-0,00194
172	0,48548	-0,19895	-0,42497	0,58543	-0,16712	0,08825	0,09789	0,11304	-0,09047	0,25108	-0,04254	-0,04992	0,00463	0,05996
173	0,04634	-0,02031	0,04687	0,05415	0,03475	0,01061	-0,00163	-0,03551	-0,00089	-0,00755	-0,01243	0,01448	-0,00702	0,00133
174	-0,15881	0,13587	0,09169	-0,18420	-0,08026	-0,04492	0,14864	-0,21267	-0,00114	0,05153	-0,00874	0,01814	-0,07443	-0,00076
175	0,03063	-0,00301	0,00195	0,12798	0,02859	-0,07930	0,01956	-0,01670	0,08041	0,04272	-0,04298	0,04658	-0,06230	0,04028
176	-0,08824	-0,12803	0,01140	0,01834	-0,02188	-0,00993	0,03442	-0,09131	-0,03928	-0,01958	-0,00120	0,00310	-0,05496	0,04435
177	-0,65380	-0,13193	-0,07129	-0,32398	-0,16559	0,00929	0,05393	0,28348	0,04418	0,00059	-0,06228	-0,05374	-0,00061	-0,03947
178	-0,34697	-0,02240	-0,27132	-0,28317	-0,26190	-0,06674	-0,08803	0,04276	0,01512	0,07275	0,05148	0,01665	-0,00658	0,00145
179	0,30734	-0,07460	0,00510	0,11297	0,06208	-0,08729	0,06707	-0,13487	0,02057	0,00607	0,12520	0,06878	0,16502	0,06593
180	0,00956	0,09188	0,07271	0,05717	0,00989	0,01498	0,05294	0,11704	-0,00687	-0,03577	0,01081	0,00582	-0,00578	-0,00029
181	-0,02642	-0,10545	0,01220	-0,03863	-0,01316	0,03491	-0,06727	0,08605	0,22437	-0,03101	0,02111	-0,04992	-0,10713	0,07313
182	0,05050	0,01146	0,03694	0,07236	-0,01467	0,06663	-0,01824	-0,04243	-0,00887	-0,01005	0,00981	0,00329	-0,01117	-0,01346
183	0,18212	0,03733	-0,17381	0,03463	-0,09008	-0,02172	0,00526	-0,02231	0,08119	0,04786	-0,01388	-0,01718	-0,04004	0,01165
184	0,08440	-0,01705	0,03591	-0,02662	0,03959	0,00098	0,00073	-0,01717	-0,00497	-0,00869	-0,00915	0,00956	0,00459	0,00264
185	0,01228	-0,03183	0,11452	0,00019	0,19927	0,06814	-0,17757	0,14508	0,22608	-0,11155	0,07868	-0,09688	0,17584	0,00233
186	0,14220	0,02823	-0,02844	-0,12656	0,11884	-0,11190	0,04268	-0,02329	-0,00599	-0,00835	-0,02896	-0,00925	-0,01177	-0,01117
187	0,61018	0,90832	-0,08699	0,01710	0,16390	0,20339	0,01078	-0,07199	-0,04349	0,08553	-0,02896	-0,08565	0,04990	-0,00194
188	-0,10246	0,08582	0,23840	0,06418	0,14977	0,07767	0,10954	-0,01012	-0,08437	-0,03125	-0,03783	0,09017	0,00003	-0,03658
189	-0,22207	0,02488	0,10953	0,00643	-0,13249	0,02094	0,06364	-0,04115	-0,10225	-0,00543	-0,09137	0,04396	-0,00902	-0,05743
190	-0,03570	-0,00738	0,01351	-0,02824	0,08284	-0,08505	-0,04686	-0,04650	-0,00106	-0,01182	-0,07664	0,03873	-0,01356	0,00016
191	-0,26646	-0,01453	-0,17490	-0,02311	-0,18911	0,00439	0,08805	-0,04263	-0,03672	0,11340	0,18012	0,03395	0,10896	-0,19835
192	0,11651	0,03093	-0,19392	0,24901	0,08628	-0,09216	-0,02630	0,11362	0,02168	-0,05567	0,01175	-0,00724	-0,00665	0,00475
193	-0,06496	0,03002	0,04440	-0,14078	-0,17025	-0,03908	0,10884	-0,13935	0,04921	0,10241	0,03633	0,02205	0,02227	-0,09830
194	-0,00509	-0,13231	0,03668	0,00047	0,07243	-0,02924	-0,00741	-0,02284	-0,00427	-0,00941	-0,01159	0,01040	-0,00215	0,00163
195	0,00747	0,05042	0,01696	-0,05984	0,12294	-0,05384	0,00793	-0,00153	-0,04373	0,03093	-0,01060	0,00551	0,01972	0,01912
196	0,01441	-0,00305	0,01567	-0,07329	0,08710	-0,03181	-0,00735	-0,02981	-0,00510	-0,00939	-0,00814	0,01676	0,00098	0,00119

197	0,14641	-0,02751	0,04754	0,01845	-0,00104	0,02806	0,00804	-0,00665	-0,00512	-0,00832	-0,01078	0,00513	0,00578	0,00289
198	0,14641	-0,02751	0,04754	0,01845	-0,00104	0,02806	0,00804	-0,00665	-0,00512	-0,00832	-0,01078	0,00513	0,00578	0,00289
199	0,10525	-0,07448	0,06094	0,03510	-0,01612	0,00567	0,01871	0,00846	-0,01294	-0,00238	-0,02479	0,02648	-0,00138	0,01211
200	0,17247	-0,15473	0,02786	0,12639	-0,15198	0,09353	-0,06585	-0,01114	0,01110	0,01486	0,00836	0,00355	0,01274	0,01290
201	0,08274	-0,05381	0,01035	0,02858	-0,08999	0,04122	-0,01025	0,00697	0,00163	0,00733	0,00285	-0,00209	0,00302	0,00144
202	0,11557	-0,20688	-0,11639	-0,06819	-0,06041	0,00904	-0,12243	0,00147	-0,08431	-0,02258	0,00347	-0,02913	0,03252	-0,01665
203	-0,51660	-0,32513	0,39627	0,26979	0,04790	-0,14251	-0,16976	-0,07173	0,10932	0,03049	-0,01092	0,03451	-0,06777	0,02333
204	-0,17543	0,24848	-0,01875	0,14720	-0,00670	-0,39423	0,06801	-0,18420	-0,00312	-0,13641	-0,00476	0,01425	0,01722	0,00480
205	0,01357	-0,13268	0,07960	-0,03148	-0,14061	0,11120	0,13176	-0,09107	0,03375	0,05857	0,02560	-0,00314	-0,06285	-0,00930
206	-0,10506	0,09507	0,09289	-0,14783	-0,08888	0,14004	-0,06277	0,13613	0,03192	-0,05516	-0,15288	-0,07102	0,03448	-0,03458
207	0,16117	0,09053	-0,14128	-0,05135	0,07860	0,17331	0,00731	0,21012	0,25282	0,09976	0,13238	-0,10369	0,02552	0,00806
208	0,22281	-0,34276	0,10839	-0,22855	-0,03806	0,09333	-0,00087	-0,11264	0,01990	0,01871	-0,03792	0,01791	-0,02606	0,02749
209	-0,05322	0,08889	0,17390	-0,03234	0,01576	0,34551	-0,08775	0,10306	-0,02772	-0,08680	-0,15540	-0,08770	-0,05425	-0,01071
210	0,02871	-0,04690	0,00731	-0,01491	-0,05624	0,01987	-0,01679	-0,00145	0,00207	0,00729	0,00510	-0,00045	0,00424	0,00241
211	-0,15305	0,36575	-0,32238	-0,02345	0,15485	-0,00208	-0,12251	0,03513	-0,17792	0,12752	-0,21024	-0,11092	0,07948	0,02716
212	-0,43242	-0,12043	0,12723	0,03828	-0,08539	0,03814	-0,01301	-0,01064	0,00505	0,01352	0,02291	-0,01213	0,02895	0,01591
213	0,08274	-0,05381	0,01035	0,02858	-0,08999	0,04122	-0,01025	0,00697	0,00163	0,00733	0,00285	-0,00209	0,00302	0,00144
214	0,08274	-0,05381	0,01035	0,02858	-0,08999	0,04122	-0,01025	0,00697	0,00163	0,00733	0,00285	-0,00209	0,00302	0,00144
215	-0,10384	0,19965	0,09683	0,45401	-0,08887	0,19275	0,30118	-0,16495	-0,02718	-0,02539	0,01160	0,19378	0,02497	-0,00281
216	-0,03075	0,05646	-0,02748	0,04039	-0,21368	0,06183	-0,00552	0,07200	0,01602	0,02245	0,00244	0,00182	-0,01318	0,01064
217	0,08440	-0,01705	0,03591	-0,02662	0,03959	0,00098	0,00073	-0,01717	-0,00497	-0,00869	-0,00915	0,00956	0,00459	0,00264
218	0,02012	-0,11378	0,10773	-0,14010	0,04267	0,11513	-0,00479	0,08421	-0,02533	-0,10606	-0,15114	-0,20110	0,02922	-0,10577
219	0,15237	0,08237	0,07983	-0,08517	0,18433	-0,01667	-0,00817	-0,08866	-0,01611	-0,02792	-0,00901	0,00109	0,00630	-0,00563
220	0,44953	0,26834	-0,42573	-0,36475	-0,19744	-0,03728	-0,03812	0,11746	0,05429	-0,14792	0,06414	-0,02576	-0,08054	0,18082
221	0,07010	0,02484	0,21504	0,14614	-0,32025	-0,23272	0,15616	-0,03367	0,23620	0,03599	-0,12314	0,12581	0,06356	0,08653
222	-0,07871	0,00614	-0,02130	0,28855	-0,10950	-0,13841	0,12652	0,07213	0,08450	0,25133	-0,01314	-0,04703	0,12070	-0,01472
223	0,12882	-0,02758	0,02849	0,00028	-0,06685	0,09892	-0,07939	-0,00807	-0,00827	0,00200	0,00471	0,06908	0,03260	0,03174
224	0,55317	0,16270	-0,05629	-0,10199	-0,25774	-0,07474	-0,13178	0,08246	0,08216	-0,09233	-0,04066	0,04140	-0,16037	-0,11266
225	-0,14949	0,10041	0,01698	-0,07797	-0,02371	-0,06544	-0,12408	-0,00488	-0,05428	0,00863	0,01343	-0,02311	-0,01236	-0,00083
226	0,02472	-0,04513	0,00301	-0,01570	-0,05280	0,01701	-0,01718	-0,00250	0,00192	0,00712	0,00479	0,00094	0,00303	0,00180
227	0,02472	-0,04513	0,00301	-0,01570	-0,05280	0,01701	-0,01718	-0,00250	0,00192	0,00712	0,00479	0,00094	0,00303	0,00180
228	-0,36181	-0,15749	0,06148	-0,04462	-0,00690	-0,07791	0,04109	-0,01966	-0,01087	0,01106	-0,00112	-0,03043	0,01309	0,00043

## Apêndice Y - Componentes principais da variável composição química

Cases	Componentes Principais									
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	Fator 6	Fator 7	Fator 8	Fator 9	Fator 10
1	3,38820	-0,94686	0,59815	0,77760	-0,20274	-1,21039	-0,29356	0,15552	-0,99916	-0,21799
2	3,15481	0,46801	1,20188	1,03581	0,22754	-1,21584	-0,01825	-0,27681	-0,52472	-0,02817
3	3,15959	0,59378	1,25611	1,21058	-0,02787	-1,00423	-0,33690	-0,30662	-0,49702	0,22371
4	4,40349	-4,23934	-0,51626	0,84099	-0,43516	0,21172	0,45425	-1,31519	0,90027	-0,07309
5	4,32861	-4,64628	-0,75825	0,88572	-0,57785	0,49574	0,37457	-1,80483	0,62871	0,12664
6	5,97669	-4,07441	-0,69220	0,09491	-0,16608	0,24619	-0,07311	-2,30634	-0,22633	-1,05806
7	0,30239	-2,02716	-0,63640	-0,31256	2,43704	1,59914	1,21391	-0,14185	-0,43611	0,30488
8	2,97112	-0,62963	1,11213	1,55524	0,26176	-0,67092	1,52297	0,74823	0,90292	0,04146
9	2,87069	-0,43141	1,19381	1,19063	0,53481	-1,42719	1,47432	0,80857	1,17118	-0,01753
10	2,60334	-0,71521	0,96576	1,52288	0,22856	-0,72494	1,36491	0,09902	0,67238	0,41659
11	4,26339	0,42697	1,55827	1,84107	0,24241	0,51284	0,49364	1,57390	-0,34414	-1,00068
12	3,26487	0,66430	1,40269	2,04772	-0,38820	0,41662	-0,33707	0,35999	-0,83028	0,13085
13	3,65933	0,64052	1,49738	1,95406	-0,17100	0,39374	-0,16201	0,79054	-0,52369	-0,27803
14	2,21087	-1,15069	0,76160	1,40127	0,88694	-0,67988	2,19214	0,42389	-0,06770	0,18115
15	3,95117	-3,81854	-0,39213	0,65874	-0,48143	-0,51247	-0,02553	-1,39125	1,05660	0,23802
16	3,99724	-3,96500	-0,50676	0,65068	-0,53318	-0,42134	0,25258	-1,57316	0,79881	0,38941
17	3,51940	1,03003	0,51664	-0,40280	-0,01132	0,69764	0,39412	0,51261	0,12900	-0,45652
18	2,89400	1,25529	0,46818	-0,25219	-0,67410	0,54368	-0,74221	-0,26487	0,09643	0,38995
19	3,20316	1,13219	0,49172	-0,68783	-0,06646	0,00353	-0,11478	0,20774	0,29272	-0,16961
20	1,92006	1,12849	0,26853	-0,73263	0,26438	-0,33729	0,36527	-0,23962	-0,81057	0,30684
21	1,61642	0,30582	0,23399	0,22254	-0,50251	0,70797	0,84211	0,04832	0,83744	1,02690
22	2,72680	1,01600	0,34964	-0,19497	-0,27971	0,82169	0,15025	-0,08850	-0,47528	0,09015
23	1,83619	0,18409	0,17219	0,07933	-0,42903	0,58390	1,21952	0,01669	0,83037	0,87857
24	2,68786	1,25482	0,49223	-0,56570	-0,16502	0,00151	-0,56126	-0,03597	0,16962	0,09086
25	2,89118	1,02438	0,39696	-0,67205	0,01017	-0,00511	0,11952	0,18566	-0,06150	-0,18314
26	3,17979	1,39493	-1,41342	0,40013	-0,00536	0,28435	0,26017	0,24472	-0,29577	-0,07006
27	2,92811	1,16380	0,43448	-0,42179	-0,21706	0,34354	0,34223	0,16883	-0,24604	-0,09833
28	2,52370	1,13359	0,33264	-0,57518	-0,28918	-0,04818	-0,01459	-0,11030	-0,42371	0,33518
29	2,79916	1,09384	0,35798	-0,75417	-0,10467	-0,22582	0,10252	-0,06159	-0,15436	0,10768
30	2,84028	1,06817	0,36404	-0,46149	-0,35627	0,26008	0,06116	0,07551	-0,31022	0,14789
31	2,53025	1,37965	0,48606	-0,06762	-0,63949	0,70428	-0,46782	-0,16565	-0,28227	0,40347
32	0,28017	-0,40378	-0,17758	0,59293	-0,98650	0,71784	1,57050	0,77057	-0,34629	-0,38553
33	0,52323	-0,14597	-0,04033	0,33426	-0,66696	0,36158	1,54061	0,67170	0,02213	-0,21100
34	1,14447	0,72027	0,06765	-0,32948	-0,33293	-0,22694	0,75939	0,28700	-1,23549	-1,23401
35	-0,08367	-0,20032	-0,16144	-0,04478	-0,33547	-0,49519	1,85382	0,31613	-0,02599	-0,69493
36	3,54655	0,48333	-0,94013	-3,70526	0,76655	0,02459	0,94286	-0,75780	1,10253	-0,88407
37	3,14457	1,56358	-0,33985	-2,42777	0,02116	1,30873	1,02047	1,06396	0,48421	-0,82278
38	2,82227	1,52167	-0,43306	-2,54416	0,12667	1,08170	1,03051	0,74644	0,28491	-0,62243
39	4,03820	2,20833	-3,46834	1,52622	0,06690	0,43348	-0,49520	-0,55827	0,59528	0,23304
40	3,38569	2,59851	-3,34177	1,07904	0,49669	-0,78429	-0,37450	-0,03046	0,47648	0,25298
41	3,09725	1,17357	0,46093	-0,38552	-0,26794	0,46616	0,25535	0,17662	-0,14910	-0,03598
42	2,84466	2,56033	-2,91452	0,87440	0,52466	-0,96679	-0,15725	0,29638	0,00855	0,33823
43	2,40996	1,10526	0,37221	-0,51359	-0,08626	0,06110	0,10651	0,33912	-0,57140	0,17153
44	1,27355	1,59159	0,30912	-1,23406	0,08506	-1,75063	-0,45033	-0,75115	-0,58630	1,02659
45	1,56202	1,65770	0,40178	-1,30993	0,14428	-1,85093	-0,43505	-0,51110	-0,28626	0,80040
46	1,20687	1,74146	0,37322	-1,99246	0,79297	-3,08705	-0,21335	-0,66813	-0,17867	0,75735
47	1,46047	1,87900	0,48818	-1,91367	0,86944	-2,90383	-0,04229	-0,52365	0,00152	0,57094
48	2,66354	1,31088	0,43858	-0,40046	-0,59760	0,21781	-0,85359	-0,52949	0,08772	0,55520
49	2,56299	1,16647	0,34169	-1,24371	0,09560	-1,20826	-0,18557	-0,22135	0,09566	0,20222

50	2,33349	1,19916	0,30218	-1,42728	0,46519	-1,47809	0,15189	-0,48457	-0,05142	0,23370
51	2,63270	1,08293	0,29426	-1,37857	0,21843	-1,32606	-0,14251	-0,44813	0,18883	0,17634
52	4,90741	-2,50616	-1,07765	-1,52478	-0,30823	0,78156	-0,05025	-1,02129	0,04924	-0,87594
53	4,55402	-2,62809	-1,30188	-1,34059	-1,04632	0,93643	-0,72641	-2,13956	-0,08099	-0,32046
54	0,34656	-0,78265	0,05597	0,08637	1,81070	1,44712	-0,18900	0,71178	0,53691	0,56667
55	-0,54762	-0,99158	-0,15842	-0,03491	2,22136	1,19420	0,07605	0,44947	-0,19009	0,75793
56	0,15045	-0,88594	-0,00872	0,20980	1,82020	1,73117	-0,40445	0,43979	0,41045	0,73281
57	-0,19137	-0,80412	0,00774	0,19329	1,89959	1,58177	-0,68181	0,32202	0,42332	0,79325
58	-0,65348	-1,21150	-0,28115	0,20308	2,14695	1,72618	0,29111	0,44492	-0,68193	0,93482
59	0,29034	-1,32245	-0,22741	-0,03721	2,22684	1,72729	0,10074	0,02262	0,27736	0,56810
60	0,35667	-1,57134	-0,33407	-0,19589	2,54612	1,75636	0,10424	-0,39201	0,38956	0,50545
61	0,86924	-0,79506	-0,30485	-0,64988	2,69504	1,57218	-0,77205	-0,99272	-1,14536	-0,21212
62	0,81176	-1,03128	-0,44989	-0,74197	2,89348	1,62351	-0,52810	-1,25655	-1,39564	-0,09492
63	2,43358	-7,17695	-2,97482	-2,18969	-3,63559	-1,94137	-3,07005	3,05952	-0,65536	0,42803
64	1,30981	0,20747	0,30922	-0,48513	1,85762	1,00934	-1,82710	0,46019	-0,17872	-0,26330
65	0,73798	0,94600	0,65458	-0,93361	2,91409	0,04825	-2,11326	0,20654	0,42807	-0,26113
66	3,27790	1,11471	1,57810	1,89747	-0,62873	-0,13735	-0,99675	0,14617	-0,31302	0,46665
67	3,26482	1,10205	1,58612	2,00020	-0,67187	0,04239	-1,04462	0,21307	-0,35955	0,47104
68	3,43477	0,85432	1,52999	1,98688	-0,40264	0,24812	-0,56696	0,53062	-0,52280	0,15194
69	3,85716	0,64813	1,56303	1,90439	-0,04204	0,37233	-0,12365	1,03394	-0,32655	-0,49581
70	3,41906	0,89583	0,43802	-0,57631	-0,21192	0,30081	-0,06342	0,53445	0,21365	-0,33349
71	3,48130	0,96056	0,45605	-0,52995	-0,38250	0,36231	-0,36932	0,25725	0,40160	-0,19921
72	3,44607	1,54554	-3,26996	1,19446	0,40238	0,32311	0,08307	0,28508	-0,30775	0,00009
73	2,03970	0,20934	-0,13363	-0,13175	-0,21351	1,12514	0,71785	-0,08905	-1,76780	0,30093
74	1,96466	-5,18698	-2,14061	-1,91440	-1,63998	-1,62090	-0,53375	2,53368	-0,81450	0,23953
75	-0,06967	-1,69128	-0,35313	-0,82132	3,15847	0,43533	0,71941	0,88452	0,07887	-0,05836
76	0,42534	-1,53508	-0,14631	-0,92341	3,56193	0,44992	0,82962	1,25588	0,60437	-0,43225
77	1,57426	-4,14434	-0,60540	0,12225	0,65078	-2,17245	0,70131	1,14823	-1,07394	0,25524
78	2,85754	1,34023	0,46029	-0,52591	-0,60955	-0,02999	-0,59905	-0,40822	0,22403	0,30497
79	3,21229	1,31995	0,53936	-0,59667	-0,45107	-0,05330	-0,33915	0,04964	0,42389	-0,07147
80	3,72592	0,89740	0,35230	-0,13132	-0,94212	1,19651	-0,57628	-0,79067	0,46178	0,09106
81	1,95950	-0,00988	0,25531	-0,57568	0,08064	-0,67170	1,38597	1,47077	1,27039	-0,19662
82	3,13890	0,69628	0,33536	-0,81570	0,23267	-0,10190	0,65046	0,80989	-0,08903	-0,86285
83	3,01695	0,80045	0,36576	-0,59116	-0,05258	0,14320	0,39302	0,79172	-0,17529	-0,66727
84	2,45751	0,44910	0,05109	-1,00926	0,30263	-0,40605	0,44082	0,14058	-0,73159	-0,02103
85	-1,32965	0,21854	0,14712	0,07917	0,50323	-0,34766	-0,74411	-0,09502	0,64147	0,16812
86	-1,19885	-0,00874	-0,03078	0,41492	-0,01649	0,22399	0,04344	0,03794	-0,10076	0,23047
87	-1,08415	0,10090	0,04116	0,37511	-0,07738	0,09038	-0,11792	0,03004	0,19502	0,09536
88	-0,93949	0,27559	0,14769	0,22249	-0,04283	-0,24054	-0,31196	0,07304	0,57416	0,02166
89	-1,23364	0,03836	-0,02141	0,25798	-0,14486	-0,15938	-0,38008	-0,04093	0,13835	0,33840
90	0,78255	1,67861	-2,30212	1,10837	0,84928	0,15171	-1,39187	0,27444	-0,91099	0,18929
91	-1,24560	0,92163	-2,55705	0,89495	1,20397	-1,43659	-0,06681	0,12181	0,41870	0,05532
92	-0,90588	0,11273	0,10915	0,04603	0,13882	-0,41345	-0,54639	0,13149	0,70319	0,02920
93	-1,87031	-1,72047	4,05259	-1,46682	-1,07529	1,01356	0,14798	-0,12039	-0,73090	0,15813
94	-1,27390	-0,63808	1,66742	-0,59672	-0,53031	-0,01144	-0,31463	0,04420	0,21047	-0,05338
95	-0,82080	0,36780	0,16476	-0,01065	0,02887	-0,64736	-0,20855	0,06226	0,64552	0,18823
96	-0,60152	0,37544	0,21551	0,42089	-0,45652	0,04319	-0,43026	0,12137	0,75175	0,02424
97	-1,28505	-0,06822	0,02061	0,08024	0,84773	-0,00086	-0,21933	0,23692	-0,03271	0,60072
98	-1,00058	0,20347	0,06112	0,15637	-0,01181	-0,31397	-0,00489	0,05946	0,22828	0,27023
99	-0,64855	0,04654	0,16911	0,64722	-0,29810	0,70164	-0,88806	0,33831	0,68892	0,02499
100	-1,42608	0,02580	-0,11483	0,33648	-0,22954	-0,15920	0,43861	-0,09171	-0,33250	0,08846
101	-0,72212	0,23501	0,18676	0,21813	0,15178	-0,01374	-0,49590	0,17485	0,64144	0,29882
102	-1,33871	-1,16406	4,34402	-1,91187	-0,89310	0,16962	-0,07489	-0,14920	0,15005	0,26252

103	-1,40397	-1,26211	4,35972	-1,82276	-0,64716	0,48654	-0,29884	-0,05906	0,15181	0,28843
104	-1,93292	-1,24740	4,30654	-2,56053	0,23945	-0,78444	-0,09206	-0,21761	0,19072	0,22780
105	-0,50560	0,12595	0,10017	0,23045	-0,23098	-0,01098	-0,36463	0,29563	0,42146	0,54274
106	-0,34654	0,47786	0,34296	0,51387	-0,51512	0,23602	-0,83341	0,20831	1,17515	-0,07823
107	-0,54132	0,12159	0,13987	0,43534	-0,35785	0,28755	-0,59664	0,29533	0,58870	0,25190
108	-0,52393	0,28498	0,18311	0,59163	-0,53623	0,44533	-0,38820	0,19827	0,52637	0,23064
109	-1,23828	0,20994	0,11197	0,21916	0,06920	-0,31845	-0,34311	-0,06224	0,61178	-0,33313
110	-1,21692	0,05228	-0,02955	0,54805	-0,38073	0,24359	0,08452	-0,05726	-0,02105	-0,07000
111	-1,69887	-0,14555	-0,15085	0,71456	-0,32123	0,47622	0,23390	-0,15198	-0,38161	-0,34533
112	-1,84356	-0,13206	-0,16763	0,56629	-0,18921	0,16971	0,30406	-0,21621	-0,36625	-0,43289
113	-1,63124	-0,18898	-0,23053	-0,26641	0,48123	-0,96503	0,48897	-0,07493	-0,43395	0,36255
114	-1,28554	-0,17718	-0,11438	0,40844	-0,15290	0,16878	-0,02807	0,05405	-0,14014	0,06468
115	-2,39968	-0,14916	-0,18461	-0,51019	1,38971	-1,40616	0,34700	-0,26402	-0,23992	-0,17922
116	-1,36772	-0,21427	-0,11228	0,31782	0,10874	0,10291	-0,09458	0,08108	-0,13297	0,11169
117	-0,29613	0,58928	0,04674	0,00131	0,58821	0,59122	-0,91129	-0,12811	-1,68669	-0,14474
118	-1,23323	0,03022	-0,05330	0,34504	-0,11095	0,00299	0,19404	-0,03112	-0,13107	0,18219
119	-1,36699	-0,11254	-0,13550	0,59876	-0,27324	0,44751	0,32534	-0,03352	-0,46967	0,17310
120	-1,73036	0,12871	-0,00145	-0,00152	0,32956	-0,81181	-0,03654	-0,23037	0,36653	-0,53487
121	-1,54020	0,15155	0,01480	0,35583	-0,18326	-0,28784	-0,05378	-0,15732	0,29878	-0,56083
122	-1,70271	-0,03414	-0,03253	0,37491	0,23374	0,00090	-0,10954	-0,05334	0,04047	-0,33042
123	-1,17040	0,04137	-0,05293	0,41021	-0,61404	-0,14980	0,00699	-0,03035	0,14714	-0,24914
124	-1,96492	-0,17873	-0,22647	-0,25185	0,53440	-1,10829	0,39761	-0,14566	-0,31969	-0,08361
125	-1,24677	-0,05885	-0,01198	0,72536	-0,18649	0,73872	-0,14153	0,11470	-0,11290	0,05657
126	-1,16981	0,02415	0,08217	0,78570	-0,22037	0,79949	-0,46499	0,12987	0,26158	-0,19743
127	-1,35316	-0,03350	-0,02900	0,35457	0,17771	0,13150	-0,03456	0,01898	-0,04520	0,11032
128	-1,43708	-0,07794	-0,11832	0,73376	-0,49458	0,52503	0,24393	-0,10288	-0,33273	-0,16601
129	-1,36906	-0,25759	-0,05006	0,59260	0,07633	0,62244	-0,47719	0,14984	0,06457	-0,13086
130	-1,30160	0,06931	0,01907	0,16655	0,00602	-0,33730	-0,56354	-0,11434	0,41344	0,09653
131	-1,07218	-0,01216	0,06931	0,29651	0,07570	0,03136	-0,60066	0,13751	0,54606	-0,12110
132	-1,31666	-0,05400	-0,04438	0,53322	-0,46170	0,13104	-0,23563	-0,05017	0,24531	-0,47956
133	-1,97284	-0,23179	-0,20075	-0,59916	1,23570	-1,40299	0,24054	-0,07670	-0,22277	0,22781
134	-1,82101	-0,34073	-0,24190	0,18251	0,32924	-0,18939	0,23301	-0,04861	-0,49091	0,01315
135	-1,95693	-0,62472	-0,18326	0,42605	1,09650	0,75568	-0,45768	0,24719	-0,46693	0,16632
136	-1,69765	-0,28698	-0,20000	0,13557	0,34724	-0,24573	0,14866	-0,01688	-0,35788	0,06689
137	-1,43276	-0,05576	-0,13049	0,21277	0,11140	-0,17559	0,40673	-0,06207	-0,39280	0,30518
138	-1,95377	-0,08573	-0,18273	-0,01047	0,43005	-0,71364	0,48103	-0,24082	-0,36090	-0,13492
139	-1,95629	-0,24194	-0,11346	-0,22543	1,04653	-0,79197	-0,22837	-0,02973	0,09191	-0,19212
140	-1,65251	-0,05976	-0,11555	-0,05883	0,19086	-0,84638	0,07018	-0,15131	0,11596	-0,31684
141	-1,62397	-0,10002	-0,10861	-0,29965	0,69428	-1,00565	0,05949	0,01223	-0,00464	0,14761
142	-1,45257	-0,00243	-0,02778	-0,15515	0,43678	-0,84671	-0,16713	0,02099	0,29558	-0,06168
143	-1,44065	0,23908	0,04816	-0,19986	0,40556	-1,06445	0,01073	-0,10699	0,41023	-0,12219
144	-1,59654	-0,19084	-0,19766	0,34344	-0,21733	-0,13116	0,27737	-0,05293	-0,37183	-0,10512
145	-1,23108	-0,15714	-0,10226	0,28272	0,01857	0,03609	-0,00012	0,14618	-0,19093	0,30953
146	-1,62512	-0,09997	-0,09378	0,01321	0,31435	-0,60326	-0,05686	-0,01986	0,06967	-0,17397
147	-1,10069	-0,07998	0,02467	0,19904	0,30234	0,00695	-0,44411	0,24071	0,25667	0,24802
148	-1,51493	-0,28387	-0,05760	0,31981	0,56360	0,28613	-0,45488	0,22259	-0,00929	0,08493
149	-0,78502	0,13052	0,08504	0,55318	-0,68879	0,21308	-0,42671	0,12359	0,53372	-0,18381
150	-0,85653	0,05982	0,07458	0,56017	-0,50215	0,32864	-0,48613	0,16687	0,46670	-0,11989
151	-1,87829	-0,13305	-0,03995	-0,14679	0,86649	-0,77399	-0,40333	-0,00180	0,34248	-0,39374
152	-1,57072	-0,01167	-0,04953	-0,21160	0,49093	-0,98446	-0,10626	-0,02540	0,26534	-0,13776
153	-1,44224	0,22797	0,04684	-0,09580	0,29254	-0,91533	-0,01249	-0,11135	0,40311	-0,19700

154	-1,38899	0,01270	-0,02397	0,35818	-0,31496	-0,21668	-0,22382	-0,04407	0,32702	-0,49965
155	-2,04334	-1,67293	4,23209	-1,24217	-0,49130	1,61166	-0,48611	-0,03501	-0,32395	-0,11607
156	-1,29006	0,15864	0,04840	0,35821	-0,14054	-0,12916	-0,12199	-0,03957	0,29932	-0,24215
157	-1,70271	-0,03414	-0,03253	0,37491	0,23374	0,00090	-0,10954	-0,05334	0,04047	-0,33042
158	-1,57552	-0,09180	-0,10895	0,66762	-0,30324	0,41988	0,14955	-0,12025	-0,24857	-0,29158
159	-1,96206	-0,10814	-0,23376	0,49143	-0,23130	0,02874	0,37370	-0,38363	-0,65995	0,05510
160	-1,60285	-0,11985	-0,16284	0,69466	-0,43184	0,42528	0,35395	-0,15403	-0,44874	-0,22581
161	-1,30415	0,20223	-0,00525	0,29801	-0,37218	-0,38276	0,18386	-0,13765	0,15461	-0,24093
162	-1,37385	0,20087	0,16557	0,23797	0,30799	-0,24510	-0,62516	0,01063	0,78380	-0,49925
163	-1,41370	0,01433	0,04588	0,33301	-0,04346	-0,16415	-0,55070	0,01556	0,58441	-0,60406
164	-1,59121	-0,15992	0,02328	0,77548	-0,15743	0,64380	-0,77635	0,06249	0,46037	-0,86176
165	-2,39433	-1,17701	-0,32235	0,93148	-0,07121	0,54183	0,97261	0,46288	0,72076	1,12884
166	-2,77490	-0,30812	-0,27504	-0,83300	1,71871	-2,00004	0,29804	-0,26276	-0,24926	-0,38874
167	-1,42948	-0,25299	-0,08358	0,73877	-0,21230	0,73446	-0,33309	0,13287	-0,08514	-0,22874
168	-1,66505	-0,14512	-0,17915	0,37438	-0,32565	-0,20275	0,21919	-0,11793	-0,22776	-0,36943
169	-1,58887	-0,11289	-0,14386	0,55359	-0,56599	0,03217	0,09085	-0,11870	-0,09906	-0,54617
170	-1,52116	-0,11895	-0,10483	0,50784	-0,36423	0,07872	-0,06930	-0,04211	-0,00447	-0,43392
171	-0,82757	0,24637	-0,00197	-0,20196	-0,29589	-1,11126	0,21576	0,00161	0,30576	0,31512
172	-0,57052	0,73953	0,12791	-0,55168	0,87185	-0,65689	-1,29902	-0,18095	-0,94577	-0,81715
173	-1,05481	0,24897	0,08589	0,28558	-0,23601	-0,24910	-0,10267	-0,00832	0,39381	-0,07431
174	-1,92108	-0,18299	-0,16955	0,12942	0,17904	-0,55199	0,06040	-0,19010	-0,04283	-0,54864
175	-1,27267	-0,05472	-0,04043	0,51520	-0,42941	0,13802	-0,23807	-0,02639	0,23541	-0,39870
176	-1,30817	0,17253	0,18711	0,08750	0,66365	-0,30269	-0,71539	0,11060	0,78985	-0,21506
177	-2,10414	-0,34842	-0,10624	0,00164	1,08585	-0,36201	-0,49421	-0,05392	0,18296	-0,49735
178	-2,26114	-0,23686	-0,22273	-0,27280	0,75174	-1,18838	0,17127	-0,31272	-0,06250	-0,58792
179	-2,30876	-0,17180	-0,27216	-0,42267	0,62698	-1,58863	0,50997	-0,36625	-0,23818	-0,50359
180	-1,69529	-0,35031	0,07626	0,50906	0,99688	0,76571	-1,24238	0,33202	0,50121	-0,38218
181	-1,45355	-0,19682	-0,04496	0,96049	-0,55524	0,92311	-0,48686	0,06392	0,13045	-0,65893
182	-1,27102	-0,11186	-0,07123	0,51022	-0,32151	0,23741	-0,13750	0,07564	-0,00393	-0,11524
183	-1,17870	0,11225	0,04867	0,62211	-0,37986	0,35180	-0,18261	0,01713	0,21966	-0,21855
184	-1,52619	-0,25765	-0,15129	0,37916	0,08462	0,16172	-0,00061	0,08955	-0,30410	0,06625
185	-0,96777	0,29096	0,06124	0,60048	-0,89889	0,05010	0,04234	-0,09368	0,32507	-0,31316
186	-1,45528	0,19970	-0,00080	0,02953	0,04806	-0,77348	0,15230	-0,14790	0,22442	-0,21146
187	-1,31062	-0,02698	0,00250	0,41005	-0,18820	0,01130	-0,37686	0,04878	0,34742	-0,37050
188	-1,17023	-0,05283	-0,07924	0,17813	-0,09305	-0,26089	0,05220	0,08665	-0,04971	0,22870
189	-1,32569	-0,07753	-0,06262	0,43064	-0,27879	0,04901	-0,14215	0,03560	0,08017	-0,21302
190	-1,71050	-0,06885	0,02206	-0,00296	0,64986	-0,57009	-0,58325	0,02598	0,54704	-0,50588
191	-1,39199	-0,20147	-0,02628	0,50145	0,11332	0,40871	-0,51460	0,11297	0,20585	-0,23948
192	-1,68025	0,08673	-0,17951	0,21593	-0,32252	-0,52464	0,48493	-0,40913	-0,44571	0,22234
193	-1,44615	0,17712	-0,12718	0,45617	-0,79793	-0,24220	0,38790	-0,40996	-0,27691	0,06861
194	-1,82345	0,03952	-0,17412	0,46198	-0,47024	-0,18244	0,32089	-0,43957	-0,38291	-0,12766
195	-1,30129	0,29743	-0,04139	0,50885	-0,97756	-0,25203	0,17056	-0,41905	0,06893	-0,15217
196	-1,16403	0,27153	-0,04151	0,45048	-0,81365	-0,17667	0,21710	-0,26469	-0,10445	0,27675
197	-1,27891	0,02809	-0,18248	0,58588	-0,70515	0,27328	0,52564	-0,18346	-0,76143	0,72020
198	-1,29224	0,21288	-0,06085	0,27314	-0,43041	-0,35366	0,22295	-0,23807	-0,17592	0,41485
199	-1,40333	0,13663	-0,11398	0,31363	-0,41039	-0,26502	0,33761	-0,24919	-0,37604	0,45282
200	-1,89805	0,32499	-1,18854	-1,11091	-1,15136	1,35279	0,94151	0,18321	-0,70104	0,33538
201	-2,09337	0,27980	-1,14066	-1,39946	-0,41590	1,07222	0,64614	0,25003	-0,49809	0,36300
202	-1,35349	-0,13892	-0,21696	0,28347	-0,43527	-0,24819	0,49146	-0,09565	-0,43940	0,12018
203	-1,20748	-0,01866	-0,14599	0,02329	-0,23497	-0,66040	0,39048	-0,07265	-0,16788	0,22098
204	-1,38323	0,91111	-0,82799	-1,41268	-0,88851	0,86367	0,16608	0,11649	0,33118	0,68946

205	-1,41685	0,78765	-0,80512	-1,36919	-0,88074	0,94679	-0,33744	0,19581	0,68502	0,31733
206	-2,03071	0,73691	-0,95692	-1,28177	-0,81901	0,92872	0,35563	-0,00503	-0,03064	0,25464
207	-1,87088	0,68197	-1,03153	-1,37863	-1,04469	0,79092	0,28246	-0,05831	-0,18620	0,11487
208	-0,64566	0,07880	0,02394	0,30296	-0,44746	-0,01633	-0,14614	0,14870	0,26052	0,36302
209	-1,17033	-0,03135	-0,10254	0,64607	-0,54305	0,44758	0,30033	-0,09280	-0,29580	0,09067
210	-1,26899	0,00370	-0,09788	0,58451	-0,53262	0,25220	0,29812	-0,15662	-0,20180	-0,08798
211	-1,12394	-0,06061	-0,15480	0,53879	-0,49118	0,33048	0,53943	-0,07624	-0,53725	0,39840
212	-1,50955	-0,00497	-0,15564	0,05684	0,09766	-0,55269	0,58300	-0,15056	-0,40608	0,25084
213	-1,29709	0,08582	-0,11119	0,61291	-0,88628	0,08211	0,39218	-0,26784	-0,16775	0,39225
214	-1,85316	0,61367	-1,00022	-1,22142	-1,05904	1,00892	0,47649	-0,24610	0,27793	0,24299
215	-1,02454	0,20197	-0,04770	0,73684	-1,33859	0,13642	0,23130	-0,44992	0,26653	0,02411
216	-1,88593	0,76351	-0,91746	-1,20151	-1,11545	0,90731	0,37719	-0,03081	0,34472	0,23569
217	-1,55402	0,58174	-0,95572	-1,44328	-1,05603	0,75107	-0,17213	0,11693	0,47201	0,20837
218	-1,62885	0,79620	-0,92905	-1,22834	-1,51219	0,79768	0,13581	-0,09795	0,44923	-0,10857
219	-1,27937	0,05188	-0,16312	0,35016	-0,87465	-0,36438	0,19397	-0,41715	-0,08837	0,01540
220	-2,33467	0,46320	-1,13139	-1,41325	-0,78538	0,67602	0,48246	-0,14784	-0,23575	0,03350
221	-1,72632	0,83606	-0,96916	-1,13845	-1,42060	1,01649	0,60626	-0,03735	-0,12202	0,36100
222	-1,54369	0,88527	-0,87891	-1,01870	-1,49392	1,25052	0,26145	-0,02075	0,23504	0,19105
223	-1,45374	0,16115	-0,09112	0,64882	-0,88965	0,07597	0,16983	-0,38807	-0,14815	-0,13593
224	-1,19279	1,41023	-0,89746	-1,65975	-0,94347	0,85377	-0,68452	-0,36994	-1,20518	-0,94823
225	-2,02278	0,71685	-0,98482	-1,29968	-1,22665	0,65534	0,23377	-0,06865	0,21692	-0,17478
226	-1,52658	-0,01868	-0,18462	0,53182	-0,87502	-0,09606	0,15185	-0,34699	-0,24749	-0,13519
227	-0,93668	-0,46460	0,75755	2,16584	-0,25454	-1,20328	0,07135	-0,62740	-0,44788	0,02297
228	-1,06834	-0,72646	0,65852	2,25817	-0,28219	-0,97417	-0,06886	-0,55017	-0,59990	-0,06742



## Apêndice Z - Análise de autocorrelação da CP da variável temperatura do aço no distribuidor

Pela Figura 1, verificou-se a estacionariedade da série pela função de autocorrelação (FAC) e função de autocorrelação parcial (FACP) da **componente CP1** que foi selecionada para fazer a modelagem ARIMA, em conjunto com as estatísticas Ljung-Box.

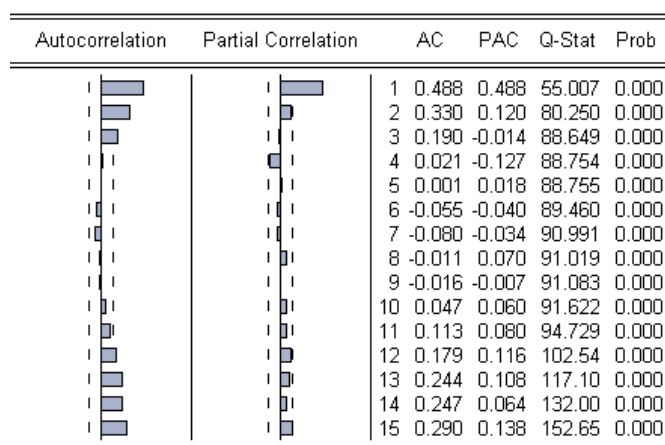


Figura 1 - Correlograma, estatística de *Ljung-Box* - Q(K) e p-valor da série original da CP1 da temperatura do aço no distribuidor

Ficou evidente a **presença de autocorrelação** para os primeiros 15 *lags*, pois os *p*-valores foram menores que o nível de significância adotado. Pela análise gráfica, pode-se afirmar que a série é **não estacionária** e sugere um modelo AR(1), pois a FACP apresenta apenas 1 *lag* significativo.

Para comprovar, estatisticamente, a estacionariedade ou a não estacionariedade da série estudada, aplicaram-se os testes de raiz unitária, ADF e KPSS, conjuntamente. O resultados desses testes são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Testes de raiz unitária ADF e KPSS

Teste ADF		Teste KPSS	
Estatística do teste	-8,472	Estatística do teste	1,298
Valor crítico*	-2,874	Valor crítico*	0,463

\*O valor crítico considerado é de 5%

Conforme a Tabela 1, o teste ADF prova que se a estatística calculada é menor que o valor crítico, rejeita-se a hipótese nula, concluindo-se pela estacionariedade. Quanto ao teste KPSS, constata-se que, como a estatística calculada é maior que o valor crítico, há rejeição da hipótese nula de estacionariedade. A divergência nos testes ADF e KPSS mostra que há uma

região inconclusiva na FAC, o que permite adotar que CP1 das medições da temperatura do aço no distribuidor é **estacionária**.

## Apêndice AA - Análise de autocorrelação das CP da variável peso do distribuidor

Por meio dos correlogramas apresentados na Figura 1, é possível verificar a estacionariedade da série por meio da FAC e FACP em conjunto com as estatísticas Ljung-Box e pelos testes de raiz unitária para a **componente CP1**.

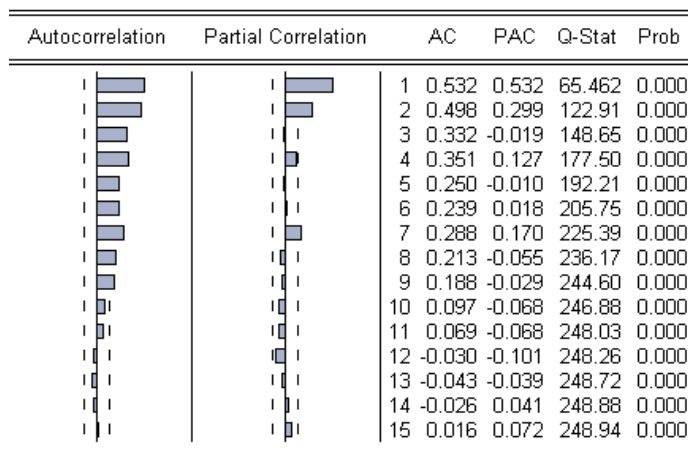


Figura 1 - Correlograma, estatística de *Ljung-Box* - Q(K) e p-valor da série original da CP1 do peso do distribuidor

A Figura 1 evidenciou a **presença de autocorrelação** e há indicativo de que a série é **não estacionária**. Para comprovar, os testes ADF e KPSS são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Testes de raiz unitária ADF e KPSS para a CP1

Teste ADF		Teste KPSS	
Estatística do teste	-5,320	Estatística do teste	0,180
Valor crítico*	-2,874	Valor crítico*	0,463

\*O valor crítico considerado é de 5%

Pela Tabela 1, os testes ADF e KPSS asseguraram que a CP1 do peso do distribuidor é **estacionária**.

Com relação à **CP2 do peso do distribuidor**, por meio dos correlogramas apresentados na Figura 2, verifica-se que a série **possui autocorrelação**.

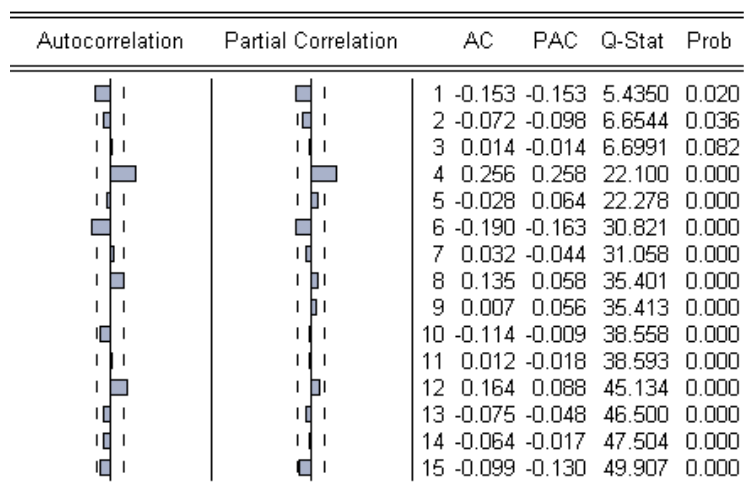


Figura 2 - Correlograma, estatística de *Ljung-Box* -  $Q(K)$  e p-valor da série original da CP2 do peso do distribuidor

Para comprovar, estatisticamente, a estacionariedade da série, aplicam-se os testes de raiz unitária ADF e KPSS, mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Testes de raiz unitária ADF e KPSS para a CP2

Teste ADF		Teste KPSS	
Estatística do teste	-6,095	Estatística do teste	0,063
Valor crítico*	-2,874	Valor crítico*	0,463

\*O valor crítico considerado é de 5%

Pela Tabela 2, aplicando-se o teste ADF e KPSS, concluiu-se que a série é **estacionária**.

## Apêndice AB - Análise de autocorrelação das CP da variável velocidade dos veios 1, 2 e 3

A Figura 1 mostra o gráfico da FAC e FACP da **componente CP1**. Esses gráficos foram traçados após a ACP, utilizando-se as 27 medições das 228 corridas da velocidade dos veios 1, 2 e 3, selecionadas para fazer a modelagem ARIMA na detecção de autocorrelação e estacionariedade.

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
██████████	██████████	1 0.770	0.770	136.91	0.000
██████████	██████████	2 0.698	0.258	249.83	0.000
██████████	██████████	3 0.664	0.176	352.54	0.000
██████████	██████████	4 0.593	-0.004	434.79	0.000
██████████	██████████	5 0.533	-0.013	501.63	0.000
██████████	██████████	6 0.536	0.133	569.53	0.000
██████████	██████████	7 0.514	0.057	632.18	0.000
██████████	██████████	8 0.514	0.101	695.25	0.000
██████████	██████████	9 0.539	0.125	764.79	0.000
██████████	██████████	10 0.515	-0.011	828.52	0.000
██████████	██████████	11 0.559	0.181	904.01	0.000
██████████	██████████	12 0.586	0.117	987.51	0.000
██████████	██████████	13 0.541	-0.064	1058.9	0.000
██████████	██████████	14 0.562	0.103	1136.4	0.000
██████████	██████████	15 0.549	-0.015	1210.6	0.000

Figura 1 - Correlograma, estatística de *Ljung-Box* - Q(K) e p-valor da série original da CP1 da velocidade dos veios 1, 2 e 3

Analisando-se a Figura 1, fica evidente a **presença de autocorrelação** e, pelos testes ADF e KPSS na Tabela 1, testa-se a estacionariedade da série.

Tabela 1 - Testes de raiz unitária ADF e KPSS para a CP1

Teste ADF		Teste KPSS	
Estatística do teste	-3,20	Estatística do teste	1,10
Valor crítico*	-2,87	Valor crítico*	0,46

\*O valor crítico considerado é de 5%

De acordo com a Tabela 1, há divergência nos testes, o que demonstra que existe uma região inconclusiva na FAC, permitindo-se adotar que a **CP1** da velocidade dos veios 1, 2 e 3 é **estacionária**.

Na Figura 2, é mostrado o correlograma da FAC e FACP da **componente CP2** da velocidade dos veios 1, 2 e 3 para a verificação da estacionariedade da série.

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	-0.176	-0.176	7.1439	0.008
		2	-0.045	-0.078	7.6116	0.022
		3	-0.035	-0.060	7.8984	0.048
		4	0.139	0.122	12.392	0.015
		5	-0.035	0.008	12.686	0.027
		6	-0.140	-0.138	17.324	0.008
		7	-0.072	-0.124	18.540	0.010
		8	0.288	0.239	38.318	0.000
		9	-0.033	0.060	38.583	0.000
		10	-0.084	-0.041	40.271	0.000
		11	-0.007	-0.009	40.283	0.000
		12	0.178	0.108	47.968	0.000
		13	0.007	0.054	47.979	0.000
		14	-0.052	0.048	48.635	0.000
		15	0.010	0.060	48.658	0.000

Figura 2 - Correlograma, estatística de *Ljung-Box* - Q(K) e p-valor da série original da CP2 da velocidade dos veios 1, 2 e 3

Observando-se a Figura 2, fica evidente a **presença de autocorrelação** para os primeiros 15 *lags*, pois os *p-valores* foram menores que o nível de significância adotado.

Para comprovar estatisticamente a estacionariedade ou não estacionariedade da série, aplicam-se os testes de raiz unitária, ADF e KPSS, mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Testes de raiz unitária ADF e KPSS para a CP2

Teste ADF		Teste KPSS	
Estatística do teste	-17,94	Estatística do teste	0,11
Valor crítico*	-2,87	Valor crítico*	0,46

\*O valor crítico considerado é de 5%

De acordo com a Tabela 2, a **CP2** da velocidade dos veios 1, 2 e 3 é **estacionária**. Portanto, pode-se afirmar que a série da CP2 é **estacionária** e **apresenta autocorrelação significativa**.

## Apêndice AC - Análise de autocorrelação variável temperatura liquidus

Na Figura 1, são construídos os correlogramas dos dados originais.

Os correlogramas da Figura 1 evidenciaram a **presença de autocorrelação**.

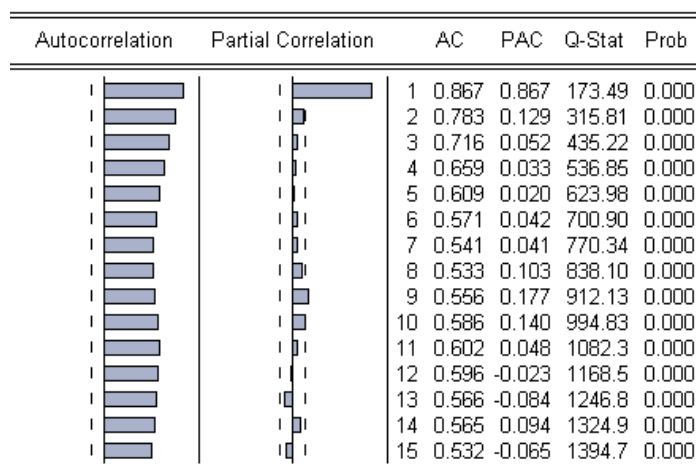


Figura 1 - Função de autocorrelação, função de autocorrelação parcial, estatística de *Ljung-Box* - Q(K) e p-valor da série original para a variável temperatura liquidus

Para confirmar a presença ou ausência de estacionariedade da série, são aplicados os testes de raiz unitária na Tabela 1.

Tabela 1 - Testes de raiz ADF e KPSS

Teste ADF		Teste KPSS	
Estatística do teste	-4,014	Estatística do teste	1,439
Valor crítico*	-2,874	Valor crítico*	0,463

\*O valor crítico considerado é de 5%

Conforme a Tabela 1, há divergência nos testes, ADF e KPSS. Evidencia-se que há uma região inconclusiva na FAC, o que permite dizer que a **temperatura liquidus é estacionária**.

## Apêndice AD - Análise de autocorrelação das CP da variável composição química

A verificação da presença de autocorrelação e estacionariedade das CP's realizou-se por meio da construção dos correlogramas apresentados nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

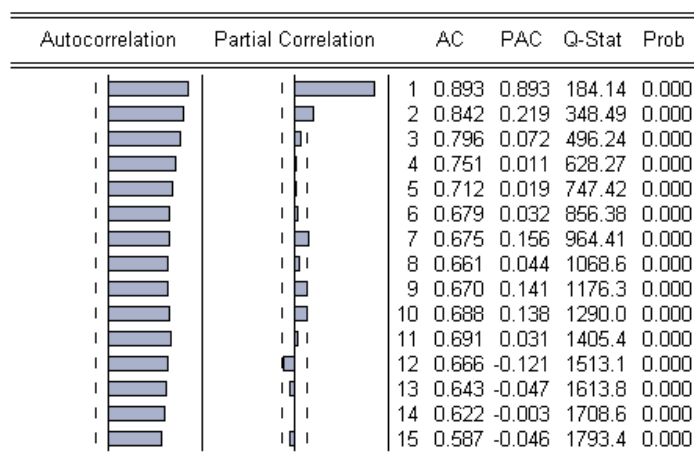


Figura 1 - Correlograma, estatística de *Ljung-Box* - Q(K) e p-valor da série original da CP1 para a variável composição química

Nos correlogramas da Figura 1, foi evidenciada a **presença de autocorrelação**.

Para comprovar a estacionariedade da série, utilizam-se os testes ADF e KPSS, cujos resultados são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Testes de raiz unitária ADF e KPSS para a CP1

Teste ADF		Teste KPSS	
Estatística do teste	-3,631	Estatística do teste	1,649
Valor crítico*	-2,874	Valor crítico*	0,463

\*O valor crítico considerado é de 5%

Conforme a Tabela 1, os testes ADF e KPSS asseguram que a FAC da CP1 da composição química está numa região inconclusiva no gráfico, e pode-se adotar a série como **estacionária**.



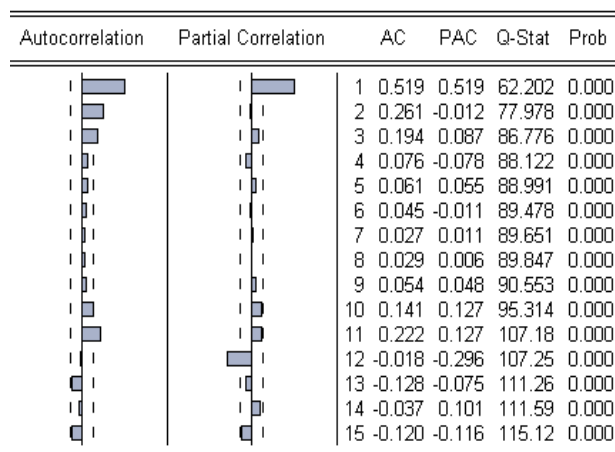


Figura 2 - Correlograma, estatística de *Ljung-Box* - Q(K) e p-valor da série original da CP2 para a variável composição química

No correlograma da Figura 2, evidencia-se a **presença de autocorrelação**.

Para comprovar a estacionariedade da série, utilizam-se os testes ADF e KPSS cujos resultados são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Testes de raiz ADF e KPSS para a CP2

Teste ADF		Teste KPSS	
Estatística do teste	-8,426	Estatística do teste	0,084
Valor crítico*	-2,874	Valor crítico*	0,463

\*O valor crítico considerado é de 5%

Os testes ADF e KPSS asseguram que a **CP2** da composição química do aço é **estacionária**.

## Apêndice AE - Verificação da presença de heterocedasticidade condicional para a temperatura do aço no distribuidor

Antes de aplicar o teste de heterocedasticidade, analisa-se a normalidade dos resíduos do modelo AR(1), como mostra a Figura 1.

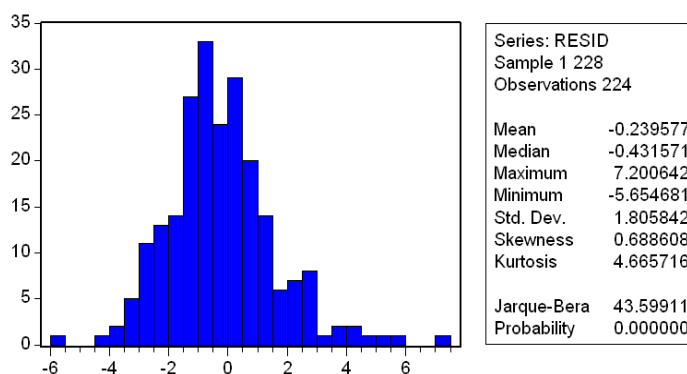


Figura 1 - Distribuição dos resíduos do modelo AR(1) para a temperatura do aço no distribuidor

De acordo com a Figura 1, constata-se que há indícios de que a série residual não apresenta distribuição normal, visto que o valor da curtose é 4,665716. Esse excesso de curtose é um forte indício da presença de heterocedasticidade.

Para comprovar a não normalidade da série, foi aplicado o teste Jarque-Bera.

Observando o valor da estatística Jarque-Bera e seu respectivo *p-valor*, conclui-se que a estatística Jarque-Bera rejeita a hipótese nula de normalidade para a série residual da temperatura do aço no distribuidor, ou seja, os resíduos não são normais.

A Figura 2 apresenta a FAC e FACP utilizando o modelo matemático encontrado, representativo da série residual da CP1.

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 -0.077	-0.077	1.3468	
		2 0.103	0.097	3.7767	0.052
		3 0.075	0.091	5.0860	0.079
		4 -0.091	-0.090	6.9957	0.072
		5 0.021	-0.010	7.0959	0.131
		6 -0.037	-0.023	7.4116	0.192
		7 -0.096	-0.090	9.5966	0.143
		8 0.058	0.044	10.393	0.167
		9 -0.052	-0.019	11.044	0.199
		10 0.011	0.004	11.076	0.271
		11 0.035	0.022	11.364	0.330
		12 0.053	0.072	12.045	0.360
		13 0.127	0.121	15.936	0.194
		14 0.052	0.052	16.602	0.218
		15 0.199	0.195	26.352	0.023

Figura 2 - Função de autocorrelação, função de autocorrelação parcial, estatística de *Ljung-Box* (Q-Stat) e *p-valor* da CP1 dos resíduos do modelo AR(1)

Encontrado o modelo matemático que **eliminou a autocorrelação serial** da série, o próximo passo é realizar o diagnóstico dos resíduos para o modelo estimado e, em seguida, a análise da estabilidade do processo utilizando os gráficos de controle  $\bar{x}$ ,  $\overline{MR}$  e EWMA.

O correlograma, exposto na Figura 3, apresenta a FAC e a FACP e as estatísticas *Ljung-Box*, usando a série dos resíduos quadráticos do modelo AR(1) estimado.

Pela análise gráfica do correlograma, afirma-se que a série é estacionária e que a autocorrelação serial foi eliminada. As estatísticas *Ljung-Box* evidenciam a **ausência de dependência na variância condicional**, pois os *p-valores* para os 15 lags são maiores que o nível de significância.

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	-0.001	-0.001	0.0003	
		2	0.006	0.006	0.0094	0.923
		3	0.095	0.095	2.0858	0.352
		4	0.039	0.040	2.4426	0.486
		5	-0.051	-0.052	3.0446	0.550
		6	-0.025	-0.035	3.1930	0.670
		7	0.027	0.020	3.3642	0.762
		8	0.077	0.087	4.7683	0.688
		9	-0.038	-0.028	5.1084	0.746
		10	-0.020	-0.028	5.2020	0.816
		11	-0.000	-0.021	5.2020	0.877
		12	0.006	0.010	5.2112	0.921
		13	-0.027	-0.009	5.3888	0.944
		14	0.012	0.016	5.4211	0.965
		15	0.057	0.049	6.2098	0.961

Figura 3 - Função de autocorrelação, função de autocorrelação parcial, estatística de *Ljung-Box* (Q-Stat) e *p-valor* da série dos resíduos quadráticos do modelo AR(1) para a variável temperatura do aço no distribuidor

Para testar, estatisticamente à presença de heterocedasticidade condicional, aplicou-se o teste de hipótese ARCH-LM nos resíduos quadráticos do modelo AR(1). Caso constatada a presença de heterocedasticidade, justifica-se a utilização de um modelo não linear GARCH para modelar a volatilidade da série. Os resultados encontrados são  $F_c = 0,0005$  com *p-valor* = 0,98 e  $T.R^2 = 0,0006$  com *p-valor* = 0,98. Verifica-se que as estatísticas *F* e ARCH-LM **não foram significativas**. Assim, aceita-se a hipótese nula, implicando que os resíduos do modelo estimado para a variável CP1 da temperatura do aço no distribuidor são **homocedásticos**, ou seja, não existe heterocedasticidade condicional nos resíduos quadráticos do modelo AR(1).

## Apêndice AF - Verificação da presença de heterocedasticidade condicional para o peso do distribuidor

A Figura 1 mostra o teste de normalidade dos resíduos do modelo AR(2) da variável peso do distribuidor da **CP1**.

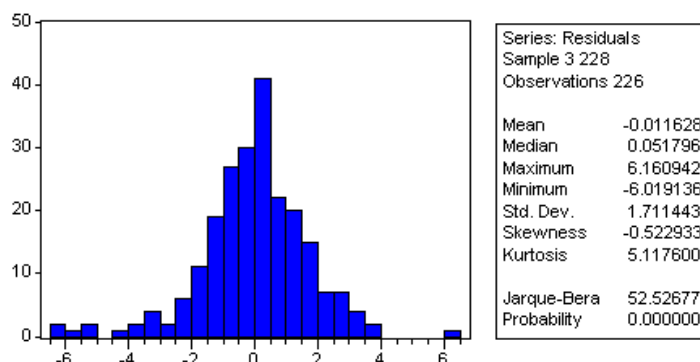


Figura 1 - Distribuição dos resíduos do modelo AR(2) para CP1 da variável o peso do distribuidor

De acordo com a Figura 1, constata-se que há indícios de que a série residual não apresenta distribuição normal, visto que a curtose é 5,1176. Observando-se o valor da estatística Jarque-Bera e seu respectivo *p*-valor, conclui-se que os resíduos são não-normais.

A Figura 2 apresenta a FAC e a FACP utilizando o modelo matemático encontrado para a CP1 do peso do distribuidor.

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 0.005	0.005	0.0049	
		2 -0.028	-0.028	0.1867	
		3 -0.070	-0.070	1.3344	0.248
		4 0.093	0.094	3.3582	0.187
		5 -0.060	-0.066	4.2080	0.240
		6 -0.026	-0.025	4.3631	0.359
		7 0.166	0.180	10.866	0.054
		8 0.057	0.034	11.637	0.071
		9 0.061	0.080	12.529	0.084
		10 -0.009	0.021	12.549	0.128
		11 0.037	0.011	12.881	0.168
		12 -0.096	-0.078	15.097	0.129
		13 -0.098	-0.101	17.433	0.096
		14 -0.052	-0.078	18.092	0.113
		15 0.004	-0.037	18.097	0.154

Figura 2 - Função de autocorrelação, função de autocorrelação parcial, estatística de *Ljung-Box* (Q-Stat) e *p*-valor dos resíduos do modelo AR(2) para a CP1 da variável peso do distribuidor

A Figura 2 revela o comportamento dos resíduos do modelo AR(2) para a CP1 do peso do distribuidor. A série é **estacionária e sem a presença de autocorrelação**.

O correlograma, exposto na Figura 3, apresenta a FAC e a FACP e as estatísticas *Ljung-Box*, usando a série dos resíduos quadráticos do modelo AR(2) estimado.

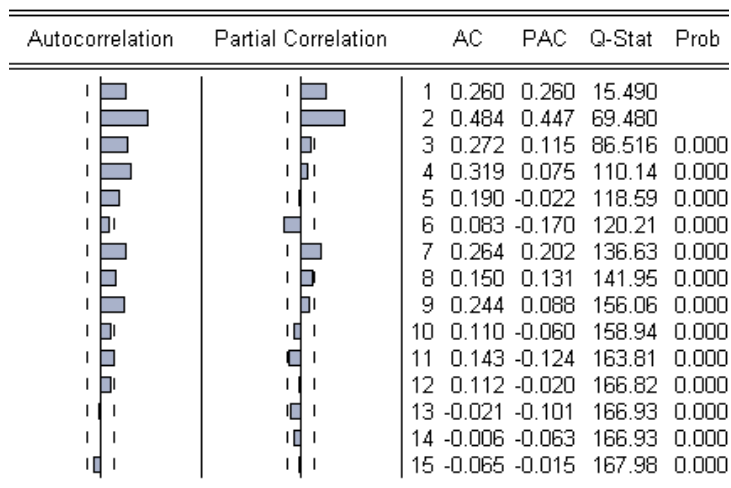


Figura 3 - Função de autocorrelação, função de autocorrelação parcial, estatística de *Ljung-Box* (Q-Stat) e *p*-valor da série dos resíduos quadráticos do modelo AR(2) para a CP1 da variável peso do distribuidor

Pela análise gráfica do correlograma apresentado na Figura 3, a série evidencia a **presença de dependência na variância condicional**, pois os *p*-valores para os 15 lags são menores que o nível de significância de 5%.

Para testar estatisticamente a presença de heterocedasticidade condicional, aplicou-se o teste de hipótese ARCH-LM nos resíduos quadráticos do modelo AR(2), encontrando  $F_c = 16,34$  com  $prob = 0,000$  e  $T.R^2 = 015,36$  com  $prob = 0,000$ , sendo as estatísticas *F* e ARCH-LM **significativas** e implicando que os resíduos do modelo estimado para a variável CP1 da série peso do distribuidor são **heterocedásticos**.

Na variável peso do distribuidor da **CP2** é analisada a normalidade dos resíduos do modelo ARIMA(3,1,1) como mostra a Figura 4.

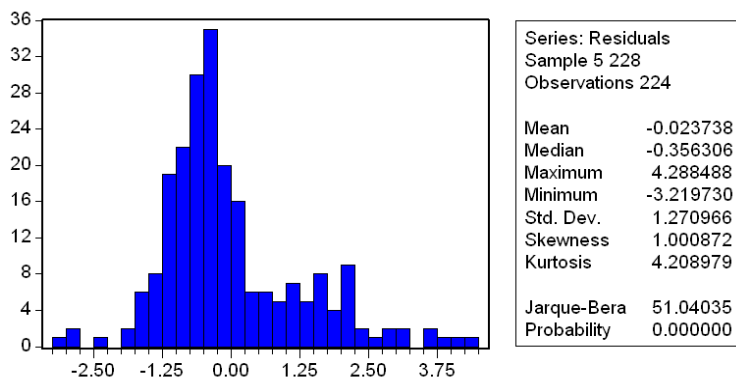


Figura 4 - Distribuição dos resíduos do modelo ARIMA(3,1,1) para a CP2 da variável peso do distribuidor

De acordo com a Figura 4, constatam-se indícios de que a série residual não apresenta distribuição normal, visto que a curtose é 4,208979. Utilizando-se o teste Jarque-Bera, conclui-se que os resíduos são não normais.

A Figura 5 apresenta a FAC e a FACP utilizando o modelo matemático encontrado para a CP2 do peso do distribuidor.

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.034	0.034	0.2625	
		2	0.043	0.042	0.6937	
		3	0.009	0.006	0.7112	
		4	0.114	0.112	3.7082	
		5	-0.087	-0.096	5.4637	0.019
		6	-0.238	-0.246	18.615	0.000
		7	-0.053	-0.036	19.271	0.000
		8	0.061	0.084	20.157	0.000
		9	0.016	0.049	20.218	0.001
		10	-0.098	-0.063	22.487	0.001
		11	0.042	0.006	22.914	0.002
		12	0.152	0.088	28.460	0.000
		13	-0.043	-0.070	28.901	0.001
		14	-0.039	-0.003	29.269	0.001
		15	-0.100	-0.104	31.698	0.001

Figura 5 - Função de autocorrelação, função de autocorrelação parcial, estatística de *Ljung-Box* (Q-Stat) e *p*-valor dos resíduos do modelo ARIMA(3,1,1) para a CP2 da variável peso do distribuidor

Tendo encontrado o modelo matemático que **trata a autocorrelação da série**, realiza-se o diagnóstico dos resíduos.

O correlograma, exposto na Figura 6, apresenta a FAC e a FACP e as estatísticas *Ljung-Box* usando a série dos resíduos quadráticos do modelo ARIMA(3,1,1) estimado.

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	-0.005	-0.005	0.0055	
		2	0.061	0.061	0.8523	
		3	0.064	0.064	1.7782	
		4	0.100	0.097	4.0584	
		5	0.133	0.130	8.1535	0.004
		6	0.028	0.019	8.3390	0.015
		7	-0.042	-0.069	8.7495	0.033
		8	0.118	0.090	11.989	0.017
		9	0.072	0.056	13.199	0.022
		10	0.036	0.014	13.505	0.036
		11	0.029	0.017	13.699	0.057
		12	-0.050	-0.067	14.287	0.075
		13	0.037	-0.008	14.614	0.102
		14	0.016	-0.007	14.674	0.144
		15	0.080	0.089	16.229	0.133

Figura 6 - Função de autocorrelação, função de autocorrelação parcial, estatística de *Ljung-Box* (Q-Stat) e *p*-valor da série dos resíduos quadráticos do modelo ARIMA(3,1,1) para a CP2 da variável peso do distribuidor

Pela análise da Figura 6, evidencia-se a **ausência de dependência na variância condicional** e, ao aplicar o teste de hipótese ARCH-LM nos resíduos quadráticos do modelo ARIMA(3,1,1), constata-se a ausência de heterocedasticidade condicional, encontrando-se os valores  $F_c = 0,004$  com  $prob = 0,945$  e  $T.R^2 = 0,005$  com  $prob = 0,944$ . Assim, as estatísticas  $F$  e ARCH-LM **não foram significativas**, portanto, os resíduos do modelo estimado para a variável peso do distribuidor da CP2 são **homocedásticos**.

## Apêndice AG - Verificação da presença de heterocedasticidade condicional para a velocidade dos veios 1, 2 e 3

A Figura 1 mostra o teste de normalidade dos resíduos do modelo ARIMA(1,1,1) para a CP1 da velocidade dos veios 1, 2 e 3.

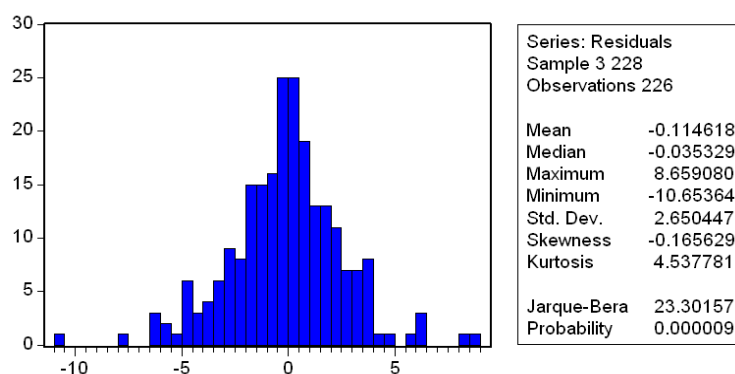


Figura 1 - Distribuição dos resíduos do modelo ARIMA(1,1,1) para a CP1 da velocidade dos veios 1, 2 e 3

De acordo com a Figura 1, constata-se que há indícios de que a série residual não apresenta distribuição normal, visto que a curtose é 4,537781. Pela estatística Jarque-Bera, conclui-se que os resíduos são não normais.

A Figura 2 apresenta a FAC e a FACP utilizando o modelo matemático encontrado para a CP1 da variável velocidade dos veios 1, 2 e 3.

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 -0.034	-0.034	0.2701	
		2 0.064	0.062	1.1998	
		3 0.107	0.112	3.8382	0.050
		4 -0.027	-0.024	4.0128	0.134
		5 -0.173	-0.193	11.022	0.012
		6 0.017	-0.005	11.093	0.026
		7 -0.084	-0.052	12.741	0.026
		8 -0.075	-0.043	14.082	0.029
		9 0.041	0.037	14.475	0.043
		10 -0.106	-0.118	17.170	0.028
		11 0.054	0.055	17.871	0.037
		12 0.186	0.184	26.158	0.004
		13 -0.009	0.001	26.179	0.006
		14 0.117	0.090	29.534	0.003
		15 0.142	0.077	34.486	0.001

Figura 2 - Função de autocorrelação, função de autocorrelação parcial, estatística de *Ljung-Box* (Q-Stat) e *p*-valor dos resíduos do modelo ARIMA(1,1,1) para a CP1 da variável velocidade dos veios 1, 2 e 3

O modelo matemático encontrado **tratou a autocorrelação da série**.

O correlograma, exposto na Figura 3, apresenta a FAC e a FACP e as estatísticas *Ljung-Box* usando a série dos resíduos quadráticos do modelo ARIMA(1,1,1) estimado.



Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.062	0.062	0.8944	
		2	0.117	0.113	4.0195	
		3	0.196	0.186	12.921	0.000
		4	0.215	0.195	23.692	0.000
		5	0.082	0.036	25.242	0.000
		6	0.195	0.131	34.147	0.000
		7	0.201	0.131	43.653	0.000
		8	0.129	0.058	47.614	0.000
		9	0.017	-0.083	47.681	0.000
		10	0.244	0.136	61.902	0.000
		11	-0.016	-0.122	61.961	0.000
		12	0.257	0.209	77.841	0.000
		13	0.054	-0.048	78.548	0.000
		14	0.016	-0.101	78.608	0.000
		15	0.058	-0.009	79.435	0.000

Figura 3 - Função de autocorrelação, função de autocorrelação parcial, estatística de *Ljung-Box* (Q-Stat) e *p*-valor da série dos resíduos quadráticos do modelo ARIMA(1,1,1) para a CP1 da velocidade dos veios 1, 2 e 3

A variável velocidade dos veios 1, 2 e 3, por meio do correlograma apresentado na Figura 3, evidencia a **presença de autocorrelação**.

Aplicando-se o teste de hipótese ARCH-LM nos resíduos quadráticos do modelo ARIMA(1,1,1), constata-se a **ausência de heterocedasticidade condicional**. Pelos valores das estatísticas *F* e ARCH-LM,  $F_c = 0,90$  com  $prob = 0,34$  e  $T.R^2 = 0,90$  com  $prob = 0,34$ , verifica-se que **não são significativas**, e essas implicam que os resíduos do modelo estimado para a variável CP1 da velocidade dos veios da CP1 são **homocedásticos**.

Antes de aplicar o teste de heterocedasticidade, testa-se a normalidade dos resíduos do modelo AR(1) da CP2 para a velocidade dos veios 1, 2 e 3, como mostra a Figura 4.

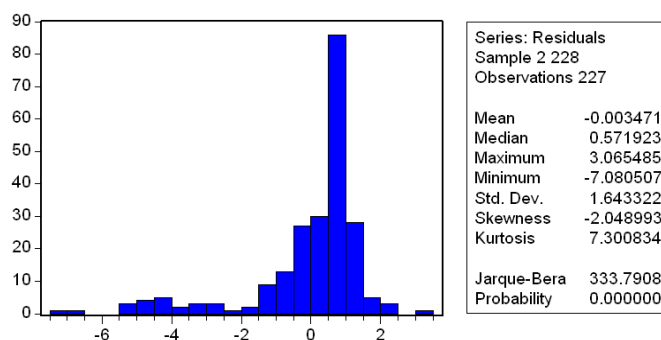


Figura 4 - Distribuição dos resíduos do modelo AR(1) para a CP2 da variável velocidade dos veios 1, 2 e 3

De acordo com a Figura 4, constata-se que há indícios de que a série residual não apresenta distribuição normal, visto que a curtose é 7,300834. O teste Jarque-Bera foi aplicado para comprovar a não normalidade da série. Conclui-se que a estatística rejeita a hipótese nula de normalidade, portanto os resíduos são não normais.

A Figura 5 apresenta a FAC e FACP utilizando o modelo matemático encontrado, para a CP2 da variável velocidade dos veios 1, 2 e 3.

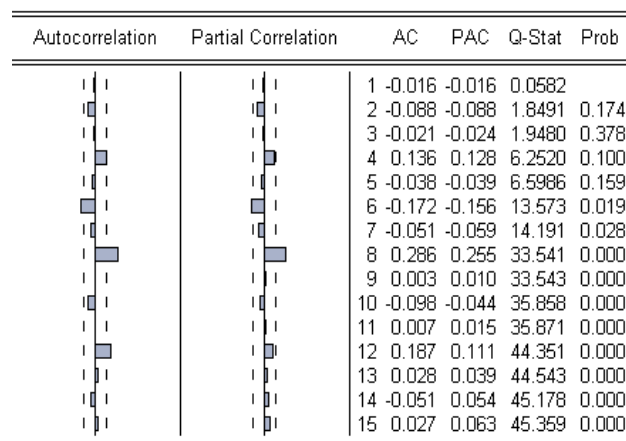


Figura 5 - Função de autocorrelação, função de autocorrelação parcial, estatística de *Ljung-Box* (Q-Stat) e *p*-valor dos resíduos do modelo AR(1) para a CP2 da variável velocidade dos veios 1, 2 e 3

Pela Figura 5, constata-se que o modelo encontrado **elimina a autocorrelação da série**.

O correlograma, exposto na Figura 6, apresenta a FAC e a FACP e as estatísticas *Ljung-Box*, usando a série dos resíduos quadráticos do modelo AR(1) estimado.

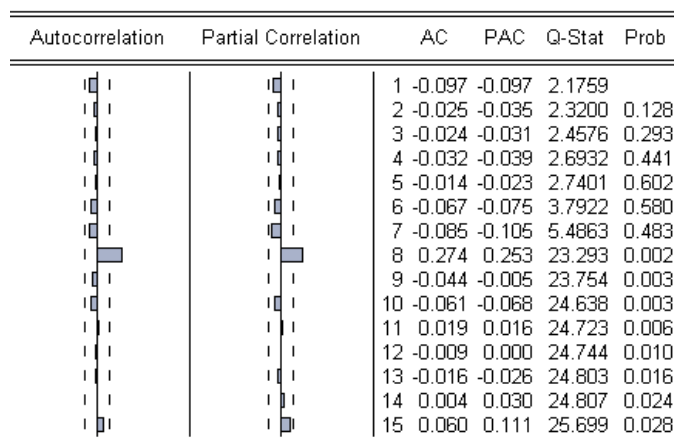


Figura 6- Função de autocorrelação, função de autocorrelação parcial, estatística de *Ljung-Box* (Q-Stat) e *p*-valor da série dos resíduos quadráticos do modelo AR(1) para a CP2 da variável velocidade dos veios 1, 2 e 3

Pela análise gráfica do correlograma apresentado na Figura 6, a série evidencia a **ausência de dependência na variância condicional**, pois os *p*-valores para os primeiros 7 lags são maiores que o nível de significância de 5%.

Para testar estatisticamente a presença de heterocedasticidade condicional, aplicou-se o teste de hipótese ARCH-LM nos resíduos quadráticos do modelo AR(1) encontrando-se os valores  $F_c = 2,15$  com  $prob = 0,14$  e  $T.R^2 = 2,15$  com  $prob = 0,14$ , logo, as estatísticas *F* e ARCH-LM **não foram significativas**. Assim, conclui-se que os resíduos do modelo estimado para a

variável CP2 da velocidade dos veios são **homocedásticos**, ou seja, não existe heterocedasticidade condicional nos resíduos quadráticos do modelo AR(1).

## Apêndice AH - Verificação da presença de heterocedasticidade condicional para a temperatura liquidus

A Figura 1 mostra a distribuição dos resíduos do modelo ARI(1,1).

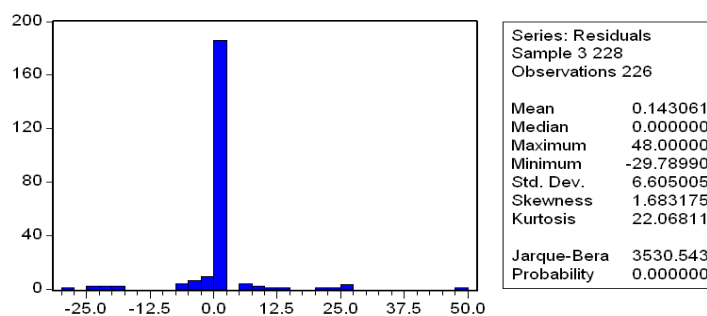


Figura 1 - Distribuição dos resíduos do modelo ARI(1,1) para a temperatura liquidus

Pela inspeção visual da Figura 1, constata-se que há indícios de que a série residual não apresenta uma distribuição normal, pois a curtose é superior a três. Para comprovar estatisticamente esse dado, realiza-se o teste Jarque-Bera e conclui-se que a série residual não é normal.

A Figura 2 apresenta a FAC e FACP utilizando o modelo matemático encontrado e representativo da série temperatura liquidus.

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 -0.022	-0.022	0.1059	
		2 -0.118	-0.119	3.3161	0.069
		3 -0.064	-0.070	4.2633	0.119
		4 -0.047	-0.067	4.7864	0.188
		5 -0.065	-0.087	5.7806	0.216
		6 -0.067	-0.095	6.8409	0.233
		7 -0.123	-0.164	10.378	0.110
		8 -0.154	-0.222	15.963	0.025
		9 -0.048	-0.162	16.517	0.036
		10 0.040	-0.104	16.898	0.050
		11 0.113	-0.013	19.985	0.029
		12 0.114	0.027	23.120	0.017
		13 0.008	-0.049	23.137	0.027
		14 0.080	0.041	24.699	0.025
		15 0.101	0.076	27.181	0.018

Figura 2- Função de autocorrelação, função de autocorrelação parcial, estatística de *Ljung-Box* (Q-Stat) e *p*-valor dos resíduos do modelo ARI(1,1) para a temperatura liquidus

A **autocorrelação serial foi eliminada** no modelo encontrado como mostra a Figura 2.

Pelo correlograma exposto na Figura 3, pode-se afirmar que a série é **estacionária**.































Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.110	0.110	2.7932	
		2	-0.007	-0.020	2.8056	0.094
		3	0.080	0.084	4.2672	0.118
		4	0.079	0.062	5.7233	0.126
		5	0.075	0.064	7.0391	0.134
		6	-0.006	-0.025	7.0477	0.217
		7	0.074	0.072	8.3418	0.214
		8	0.025	-0.007	8.4852	0.292
		9	-0.034	-0.040	8.7653	0.362
		10	-0.040	-0.046	9.1450	0.424
		11	0.027	0.028	9.3236	0.502
		12	0.068	0.056	10.439	0.491
		13	-0.024	-0.024	10.575	0.566
		14	0.038	0.050	10.927	0.617
		15	0.005	-0.015	10.933	0.691

Figura 3 - Função de autocorrelação, função de autocorrelação parcial, estatística de *Ljung-Box* (Q-Stat) e *p*-valor da série dos resíduos quadráticos do modelo ARI(1,1) para a temperatura liquidus

Para testar, estatisticamente, a presença de heterocedasticidade condicional, aplicou-se o teste de hipótese ARCH-LM nos resíduos quadráticos do modelo ARI(1,1). A partir dos resultados  $F_c = 2,765$  *comp-valor*=0,097 e  $T.R^2 = 2,755$  *comp-valor* = 0,096, verifica-se que as estatísticas *F* e ARCH-LM **não foram significativas**. Conclui-se que os resíduos do modelo estimado são **homocedásticos**.

## Apêndice AI - Verificação da presença de heterocedasticidade condicional para a composição química

A Figura 1 mostra a distribuição dos resíduos do modelo ARI(1,1) para a CP1 da composição química.

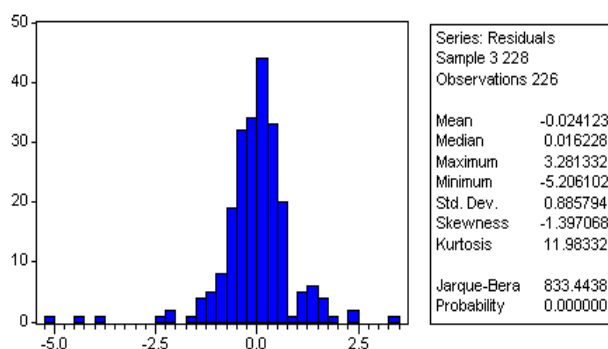


Figura 1 - Distribuição dos resíduos do modelo ARI(1,1) para a CP1 da composição química

Pela inspeção visual da Figura 1, constata-se que há indícios de que a série residual não apresenta uma distribuição normal, pois os resultados apontam que o valor da curtose é superior a três. Para comprovar, realizou-se o teste de normalidade Jarque-Bera. Observando-se o resultado do teste e o respectivo *p*-valor, concluiu-se que a estatística Jarque-Bera aceita a hipótese alternativa de que a série residual não é normal. Esse resultado condiz com o que foi indicado pela curtose.

A Figura 2 apresenta a FAC e FACP utilizando o modelo matemático encontrado e representativo da CP1 da série residual da composição química.

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 -0.035 -0.035	0.2842		
█	█	2 -0.129 -0.130	4.0881	0.043	
		3 -0.056 -0.066	4.8016	0.091	
		4 -0.057 -0.081	5.5565	0.135	
█	█	5 -0.100 -0.126	7.8720	0.096	
		6 -0.068 -0.108	8.9411	0.111	
		7 -0.054 -0.114	9.6208	0.142	
█	█	8 -0.142 -0.218	14.368	0.045	
		9 -0.054 -0.167	15.060	0.058	
		10 0.082 -0.063	16.673	0.054	
█	█	11 0.187 0.082	25.079	0.005	
		12 0.036 -0.014	25.396	0.008	
		13 0.023 0.000	25.526	0.013	
		14 0.029 0.010	25.737	0.018	
		15 -0.040 -0.038	26.122	0.025	

Figura 2 - Função de autocorrelação, função de autocorrelação parcial, estatística de *Ljung-Box* (Q-Stat) e *p*-valor dos resíduos do modelo ARI(1,1) para a variável CP1 da composição química

Encontrado o modelo matemático que **eliminou a autocorrelação serial**, mostrado na Figura 2, faz-se o correlograma exposto na Figura 3, pelo qual se pode afirmar que a série é **estacionária**.

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.083	0.083	1.5751	
		2	0.029	0.022	1.7703	0.183
		3	0.013	0.009	1.8095	0.405
		4	0.063	0.061	2.7225	0.436
		5	0.009	-0.002	2.7411	0.602
		6	0.001	-0.003	2.7412	0.740
		7	0.028	0.027	2.9240	0.818
		8	0.031	0.023	3.1443	0.871
		9	0.008	0.002	3.1609	0.924
		10	0.031	0.029	3.3873	0.947
		11	0.010	0.002	3.4126	0.970
		12	0.084	0.079	5.1166	0.925
		13	-0.008	-0.023	5.1335	0.953
		14	-0.008	-0.013	5.1483	0.972
		15	0.016	0.016	5.2101	0.983

Figura 3 - Função de autocorrelação, função de autocorrelação parcial, estatística de *Ljung-Box* (Q-Stat) e *p*-valor da série dos resíduos quadráticos do modelo ARI(1,1) da CP1 para a variável composição química

Para testar a presença de heterocedasticidade, aplicou-se o teste de hipótese ARCH-LM nos resíduos quadráticos do modelo ARI(1,1), encontrando-se os valores  $F_c = 1,55$  com  $p\text{-valor} = 0,214$  e  $T.R^2 = 1,553$  com  $p\text{-valor} = 0,212$ . Nesses, as estatísticas  $F$  e ARCH-LM **não foram significativas**. Esse resultado implica que os resíduos do modelo estimado para a variável CP1 da composição química são **homocedásticos**.

A Figura 4 mostra a distribuição dos resíduos do modelo AR(1) para a CP2 da variável composição química.

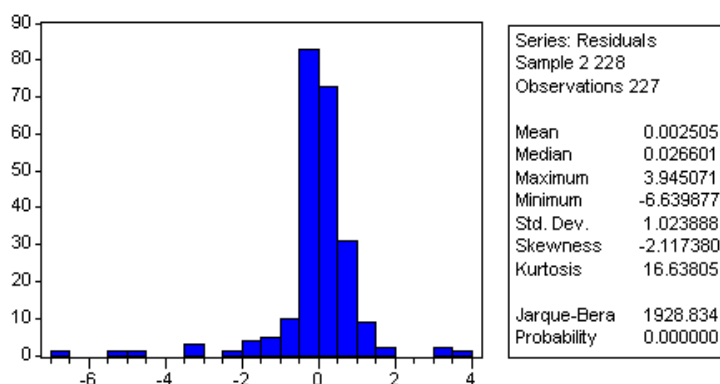


Figura 4 - Distribuição dos resíduos do modelo AR(1) para a CP2 da variável composição química

Pela inspeção visual da Figura 4, constata-se que há indícios de que a série residual não apresenta uma distribuição normal. Para comprovar isso, realiza-se teste de normalidade Jarque-Bera, cujo teste mostra que a série residual não é normal.

A Figura 5 apresenta a FAC e FACP utilizando o modelo matemático encontrado e representativo da série residual da CP2.

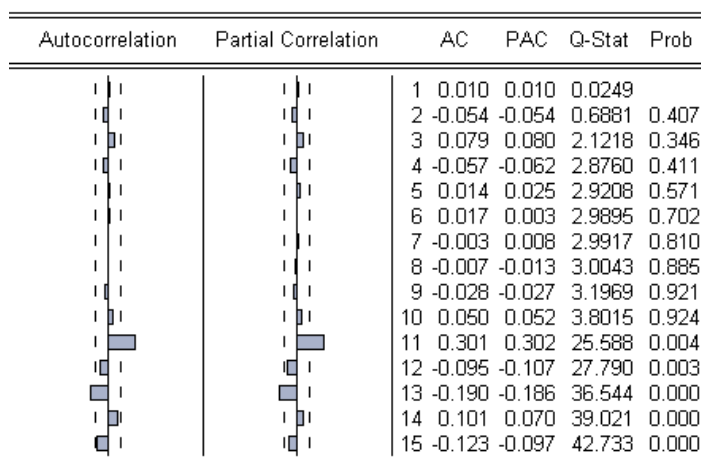


Figura 5 - Função de autocorrelação, função de autocorrelação parcial, estatística de *Ljung-Box* (Q-Stat) e *p*-valor dos resíduos do modelo AR(1) para a CP2 da variável composição química

A **autocorrelação serial foi eliminada** com o modelo matemático encontrado, como mostra a Figura 5.

Pela análise gráfica do correlograma apresentado na Figura 6, pode-se afirmar que a série é **não estacionária**, pois os *p*-valores são menores que o nível de significância.

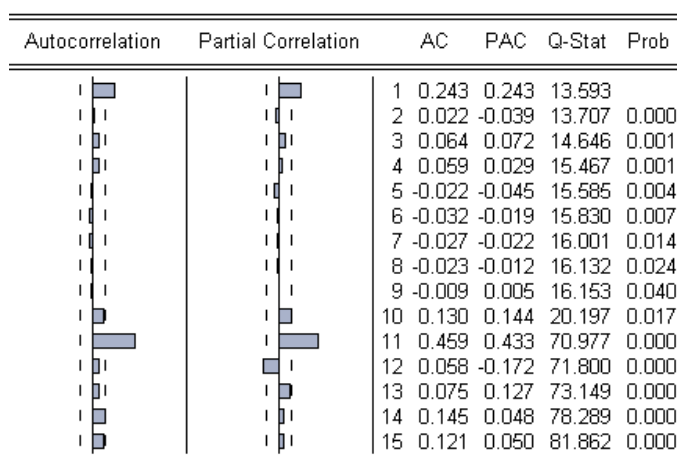


Figura 6 - Função de autocorrelação, função de autocorrelação parcial, estatística de *Ljung-Box* (Q-Stat) e *p*-valor da série dos resíduos quadráticos do modelo AR(1) para a CP2 da variável composição química

Para testar, estatisticamente, a presença de heterocedasticidade condicional, aplicou-se o teste de hipótese ARCH-LM nos resíduos quadráticos do modelo AR(1). Tendo-se



encontrado os valores  $F_c = 14,092$  com  $p\text{-valor} = 0,000$  e  $T.R^2 = 13,377$  com  $p\text{-valor} = 0,000$ , verifica-se que as estatísticas  $F$  e ARCH-LM **foram significativas** e implicam que os resíduos do modelo estimado são **heterocedásticos**.