

Galvanização eletrolítica uma avaliação por meio de cartas de controle de resíduos

Afonso Valau de Lima Junior (UFSM) avljunior@yahoo.com.br
Flávio Roberto Andara (UFSM) flavio.andara@ibiruba.ifrs.edu.br
Adriano Mendonça Souza (UFSM) amsouza.sm@gmail.com

Resumo:

O objetivo desta pesquisa é estudo comparativo entre as cartas de controle de resíduos gerados por meio de modelos ARIMA e ARMAX em um processo de galvanização eletrolítica. Utilizou-se a metodologia de Box e Jenkins para estimar os modelos propostos, os quais irão gerar resíduos independentes e identicamente distribuídos para serem avaliados pelas cartas de controle. Para a realização dessa análise foi considerado uma série de dados colhidos de duas etapas sequenciais de um processo de galvanização eletrolítica. A modelagem ARMAX conseguiu melhor se ajustar a variável analisada, o que era de se esperar, pois apresenta uma variável exógena que consegue melhor explicar a variável de interesse.

Palavras chave: Cartas de controle, ARIMA, ARMAX.

Electrolytic galvanizing an evaluation by means of residues control charts

Abstract

The objective of this research is to compare the efficacy of control charts of residues generated by ARIMA and ARMAX models in a process of electrolytic galvanizing. We used the Box and Jenkins methodology to estimate the proposed models, which will generate independent and identically distributed residues to be evaluated by control charts. To perform this analysis, we considered a data series collected from two sequential steps in a process of galvanizing electrolytic. An ARMAX model was best fitted to the analyzed variable, since it has an exogenous variable that can best explain the variable of interest.

Key-words: Control's Charts, ARIMA Model, ARMAX Model.

1. Introdução

Os custos mundiais decorrentes de manutenções corretivas e preventivas, no que se refere à proteção de superfícies metálicas contra a corrosão são enormes e todos os processos que impedem esse fenômeno químico são utilizados em maior e ou menor escala.

O estudo dos processos de corrosão tem crescido bastante, pois cerca de metade das falhas dos materiais metálicos tem sido atribuído a esse fenômeno. (SANTOS *et al*, 2013).

O zinco apresenta, na maioria dos ambientes naturais, velocidades de corrosão bastante inferiores àquelas observadas para os aços ao carbono. Além disso, por ser menos nobre que

este, ele o protege, em qualquer descontinuidade do revestimento, através de um mecanismo conhecido como proteção catódica (PANNONI, 2007).

O processo de galvanização eletrolítica tem por objetivo à proteção da superfície metálica por meio da deposição de um fino filme de zinco sobre o metal base. Este zinco, conforme Zempulski e Zempulski (2007) que é eletroliticamente depositado no metal origina uma camada homogênea, fina e muito aderente, que não influi nas propriedades mecânicas do material, e que ocorre a partir de uma solução na qual está dissolvido sais do metal que se deseja depositar.

Esta superfície metálica também adquire além da resistência a corrosão, boas condições, em termos de ancoragem, para posteriores operações de pintura, embora já apresente por si só um bom acabamento, do ponto de vista estético.

O processo eletroquímico de proteção anticorrosiva justifica-se, pois a corrosão acarreta enormes custos que afetam a sociedade de várias maneiras obrigando a utilização de maiores coeficientes de segurança, a necessidade de manutenção preventiva e corretiva em intervalos de tempo menores, a utilização de materiais mais nobres e por consequência, mais caros, paradas não planejadas na utilização do equipamento e outros.

Embora a galvanização seja um processo interessante do ponto de vista que aumenta a vida útil dos componentes metálicos quando expostos a meios corrosivos, deve-se salientar que para o seu pleno funcionamento, ocorre à liberação, para o meio ambiente, de vários efluentes gerados, de maneira periódica. Conforme Ponte (2013) ocorre à liberação de desengraxantes, decapantes, fosfatizantes, cromatizantes, banhos de eletrodeposição e águas menos contaminadas. Todos esses efluentes necessitam um tratamento para serem liberados para o ambiente, pois caso contrário podem prejudicar a qualidade do solo e das águas subterrâneas.

cartas de controle cartas de controle,

Portanto, o objetivo da pesquisa é comparar as cartas de controle de resíduos geradas por meio de modelos ARIMA e ARMAX em um processo de galvanização eletrolítica, proporcionando um controle mais fidedigno, sendo aplicado em um caso real.

2. Revisão de literatura

Este item apresenta o referencial teórico sobre as cartas de controle; descreve a análise de séries temporais, bem como a modelagem ARIMA e ARMAX que serão as ferramentas utilizadas no decorrer da pesquisa.

2.1. Cartas de controle

A origem e evolução do monitoramento dos processos produtivos deram-se no ano de 1924, quando o Dr. Walter A. Shewhart elaborou as primeiras cartas de controle, onde, com elas era possível o acompanhamento da industrialização de um produto, verificando por meio gráfico a variabilidade existente, e, se essa ocorria dentro dos limites estabelecidos para a situação. As cartas de controle contêm, de acordo com Montgomery (2009, p.97), uma linha central, LC, representando o valor médio da característica da qualidade que corresponde ao estado sob controle, e outras duas linhas horizontais, chamadas de limite superior de controle LSC e limite inferior de controle LIC. Essas cartas, para a época em questão, refletiam exatamente o que era o processo e a tecnologia existente, pois de acordo com Costa et al (2012, p.159), Shewhart, ao criar os cartas de controle, estava destinando-os à indústria de partes discretas, com nenhum ou quase nenhum grau de automação.

Como serão utilizadas cartas de controle específicas para analisar valores individuais e amplitude móvel, seguem as equações 1, 2 e 3 especificadas por Rotondaro (2002) para os limites de controle dos valores individuais.

$$LSC_X = \bar{X} + E_2 \cdot \bar{R}_m \quad (1)$$

$$LIC_X = \bar{X} \quad (2)$$

$$LIC_X = \bar{X} - E_2 \cdot \bar{R}_m \quad (3)$$

Já, para o gráfico da amplitude móvel, serão empregadas as equações 4, 5 e 6 específicas para os limites de controle da amplitude móvel.

$$LSC_{R_m} = D_4 \cdot \bar{R}_m \quad (4)$$

$$LM_{R_m} = \bar{R}_m \quad (5)$$

$$LIC_{R_m} = D_3 \cdot \bar{R}_m \quad (6)$$

Os valores de E_2 , D_4 e D_3 são tabelados e correspondem a fatores para o cálculo dos limites de controle, já o \bar{R}_m corresponde à amplitude móvel.

As suposições que norteiam as cartas de controle convencionais são de observações independentes e identicamente distribuídas (i.i.d.), não são cumpridas quando os processos são auto correlacionados e quando nesses existe dependência da característica da qualidade com as variáveis de controle (PEDRINI e CATEN, 2008).

No momento atual, com avanços tecnológicos surge o efeito da autocorrelação amostral e, para tratar dessa particularidade, pode-se trabalhar com modelos de séries temporais, conforme será visto no próximo item.

2.2. Modelos Autoregressivos Integrados e de Médias Móveis - ARIMA

Os modelos da classe ARIMA (autorregressiva integrada de média móvel) podem ser utilizados para a avaliação de séries temporais envolvidas em qualquer processo que seja autocorrelacionado. Essa modelagem permite captar a autocorrelação dos valores da série temporal e utilizá-los para encontrar resíduos independentes e identicamente distribuídos (i.i.d.) para serem analisados por cartas de controle.

A modelagem ARIMA, conhecida como a metodologia de Box e Jenkins (1976), consiste em ajustar modelos autorregressivos integrados de médias móveis a um conjunto de dados que precisam de diferenciação inteira para se tornar estacionários.

De acordo com Gujarati (2000, p. 742), se uma série temporal é estacionária pode-se modelá-la de diversas maneiras, usando um modelo autorregressivo AR, ou um modelo de médias móveis MA e ou um modelo autorregressivo de médias móveis ARMA.

Observa-se que os modelos ARIMA complementam-se por:

-Modelo auto-regressivo de ordem p – AR(p): usado quando há autocorrelação entre as observações; ele é descrito por seus valores passados regredidos e mais um ruído aleatório ε_t , conforme Werner e Ribeiro (2003) apresentado na equação 7.

$$\tilde{Z} = \phi_1 \tilde{Z}_{t-1} + \phi_2 \tilde{Z}_{t-2} + \dots + \phi_p \tilde{Z}_{t-p} + \varepsilon_t \quad (7)$$

-Modelo de média móvel de ordem q – MA(q): resulta da combinação dos ruídos brancos ε_t do período atual com aqueles ocorridos em períodos anteriores. Na equação 8 observa-se o parâmetro θ_1 que representa o peso dos ruídos brancos representados por ε_t

$$\tilde{Z}_t = \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (8)$$

-Modelo auto-regressivo de média móvel – ARMA (p,q): usado quando há autocorrelação entre as observações passadas mais uma combinação dos ruídos brancos dos resíduos. Segue a equação 9 onde tem-se a combinação de componentes de um modelo AR com os componentes de um modelo MA.

$$\tilde{Z}_t = \phi_1 \tilde{Z}_{t-1} + \dots + \phi_p \tilde{Z}_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (9)$$

Quando se tem de diferenciar uma série temporal para torná-la estacionária e então aplicar a ela o modelo ARMA (p,q), de acordo com Gujarati (2000, p. 744) diz-se que a série temporal original é ARIMA (p,d,q), ou seja, uma série temporal auto-regressiva integrada de média móvel, em que p indica o número de termos autoregressivos, d o número de vezes que a série tem de ser diferenciada para tornar-se estacionária e q , o número de termos de média móvel.

Os modelos lineares auto-regressivos integrados e de médias móveis ARIMA, conforme Souza (2012) são úteis para tratar a autocorrelação presente em série de dados obtidos seqüencialmente no tempo, modelando a média condicional de uma série, quando a variância dos erros é assumida constante. Assim esses modelos são usados para remover a correlação serial e, conforme Souza et al (2012, p. 114) os resíduos gerados apresentam propriedades corretas para aplicação das cartas de controle.

De acordo com o mesmo autor, um processo não estacionário segue um modelo ARIMA (p, d, q) como na equação 10.

$$\phi(B) \Delta^d X_t = \theta(B) u_t \quad (10)$$

Sendo que o processo estacionário pode ser representado por um ARIMA (p,q), de acordo com a equação 11.

$$\phi(B) X_t = \theta(B) u_t \quad (11)$$

Com a seleção do melhor modelo de série temporal pode-se utilizar seus resíduos como base de dados para gerar a carta de controle. Os resíduos de um modelo de série temporal correspondem à diferença entre o valor da variável e o valor ajustado pelo modelo, podendo ser obtido pela equação 12 que segue. (PEDRINI e CATEN, 2008)

$$e_i = y_t - \hat{y}_i \quad (12)$$

Na equação o y_t representa o valor observado e o \hat{y}_t é o valor estimado.

Como critério de seleção do melhor modelo frente aos modelos concorrentes se utilizará os menores valores para os critérios penalizadores, Akaike Information Criteria – AIC e Schwartz Bayesian Criteria – BIC, apresentados nas equações 13 e 14

$$AIC = -2Ln(L) + 2n \quad (13)$$

$$BIC = -2Ln(L) + n.Ln(T) \quad (14)$$

Além da utilização dos critérios penalizadores, na ocorrência de modelos com valores de AIC e BIC muito próximos, que possam levar a alguma dúvida, definiu-se o melhor modelo, nesse item, analisando o grau de ajustamento do modelo, utilizando para isso o Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE), equação 15. A decisão também será baseada no critério da parcimônia, situação onde se encontra o menor número de parâmetros, entre os modelos com significância de 5 %, que resultaram nas estimativas mais precisas.

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n |\sum p_t|}{n} \quad (15)$$

2.3. Cartas de contr Modelo Autorregressivo Integrado e de Média Móvel com entrada de Variável Exógena – ARMAX

O modelo ARMAX autorregressivo com média móvel e entrada externa, do Inglês, *Auto-Regressive with Moving Average and Exogenous inputs*, é um modelo similar ao modelo ARIMA, porém este considera a possibilidade de incluir variáveis exógenas como regressoras, sua função é denotada pela equação 16.

$$A(q^{-1})y(k) = B(q^{-1})u(k) + C(q^{-1})a(t) \quad (16)$$

Onde q^{-n} é o operador de atraso, $a(t)$ é o ruído branco e $A(q)$, $B(q)$, $C(q)$ são polinômios, sendo $A(q)$, $B(q)$, $C(q)$ de grande importância na definição do modelo que descreve o comportamento dinâmico desejado do sistema investigado. Os polinômios são definidos nas equações 17, 18 e 19 que seguem:

$$A(q^{-1}) = 1 + a_1 q^{-1} + \dots + a_{n_a} q^{-n_a} \quad (17)$$

$$B(q^{-1}) = b_1 + b_2 q^{-1} + \dots + b_{n_b} q^{-n_b} \quad (18)$$

$$C(q^{-1}) = 1 + c_1 q^{-1} + \dots + c_{n_c} q^{-n_c} \quad (19)$$

Kohn (1979, *apud* SILVA, 2011, p.39) afirma que o modelo ARMAX, tem três pressupostos necessários para que seja aplicado, que são:

- As variáveis que compõem o modelo são provenientes de uma população normal multivariada. Os resíduos aleatórios são distribuídos com média zero.
- As variáveis exógenas são estacionárias.
- A variável dependente é estacionária.

Os modelos ARMAX de acordo com Bierens (1987, p. 162), permitem a obtenção de parâmetros parcimoniosos com infinitas defasagens. Esta mesma ferramenta pode ser empregada, conforme Filho (2005, p. 25) quando as características do processo puderem ser explicadas por uma equação linear do tipo $2x(t) + x(t) = u(t)$.

3. Metodologia da pesquisa

3.1. Descrição do processo produtivo

A série de dados que serve para a avaliação desta pesquisa foi obtida de um processo de galvanização eletrolítica, em uma empresa de médio porte do ramo metal-mecânico, na cidade de Ibirubá, RS.

O processo produtivo de eletro galvanização é um dos métodos mais eficazes na prevenção da corrosão em materiais metálicos ferrosos que são utilizados tanto em meios industriais como domésticos e, ainda, principalmente, quando se tratar de sua utilização em regiões litorâneas, onde o processo de corrosão é acelerado pelo fator da maresia.

Esse processo de prevenção contra o fenômeno da corrosão é aplicado industrialmente em peças e componentes das mais variadas formas e tamanhos, sem alteração de sua fundamentação. Inicialmente há uma etapa de pré-tratamento, seguida pelo revestimento propriamente e sendo o processo finalizado com a passivação da superfície.

Como pré-tratamento ocorre um banho de desengraxe, tendo-se como solução ativa o hidróxido de sódio, mais conhecido no meio industrial como soda cáustica (NaOH). Após essa operação tem-se a decapagem da superfície, operação mais pesada do ponto de vista químico, que é realizada com ácido clorídrico, também conhecido como ácido muriático, de fórmula química HCl, ambos os reagentes tem por finalidade remover óxidos, tintas e incrustações na superfície metálica.

A etapa de revestimento refere-se à deposição eletrolítica da camada de zinco, camada responsável por aumentar a resistência à corrosão, nesta etapa fazendo-se as peças como pólo negativo, imersas em uma solução a base de zinco, pólo positivo, elas receberão uma camada homogênea de zinco em toda sua superfície.

Finaliza-se o processo com a passivação da superfície, onde, com a utilização do ácido nítrico, HNO₃, consegue-se uma boa ancoragem do zinco à superfície metálica e ainda obtém-se um acabamento espelhado da peça.

3.2. Etapas metodológicas

Para o planejamento da pesquisa, tendo a garantia de que os dados refletem a situação real do processo, e que são passíveis de tratamentos estatísticos, definiram-se as seguintes etapas:

1º - Inicialmente coleta-se um volume líquido constante de soluções, nos respectivos tanques de processo, onde as variáveis consideradas são referentes a duas etapas sequenciais, enxágue e neutralização, que fazem parte de um processo de galvanização eletrolítica. Na etapa de enxágue mede-se os valores de condutividade e na etapa de neutralização mede-se os valores de Ph. A unidade de medida da condutividade é em micro siemens/metro e do PH em um número adimensional que molda uma escala logarítmica da concentração de íons H⁺. Esta fase totalizou a captura de 125 amostras, colhidas de cinco em cinco minutos, ocorrida no mês de outubro de 2013;

2º - Verifica-se a estacionariedade da série em estudo, por meio gráfico e dos testes descritos abaixo, visando dessa forma a possibilidade de uso da modelagem ARIMA;

- Testes Augmented Dickey-Fuller (1984) – (ADF), que possuem como hipótese nula que a série é não estacionária e integrada de ordem d I(d). Na grande maioria dos casos de séries não estacionárias, basta uma diferenciação para tornar a série resultante estacionária, isto é, I(0).

- Teste Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (1992) - (KPSS), é usado como forma de validação dos testes ADF, onde as hipóteses apresentadas são inversas aos testes ADF, ou seja, H₀ postula que a série é I(0) contra a alternativa que a série seja I(1). Esses testes são

amplamente discutidos na literatura de econometria, como por Enders (1995), Maddala (1992) e Souza, et al (2011);

3º- Se a série for estacionária, calcula-se a FAC e a FACP, como forma de verificar a estabilidade do processo e indicar a ordem do modelo a ser utilizado;

4º - Não se confirmando a estacionariedade da série esta deve passar por um processo de diferenciação;

4º - Determinado o grau de estacionariedade da série a ser estudada, utiliza-se a metodologia de Box-Jenkins, para determinação do modelo ARIMA e ARMAX adequado, de modo que gerem resíduos *i.i.d.* atingindo as imposições necessárias para a aplicação de registros de controle de resíduos;

5º - Escolhido o melhor modelo, os quais gerem resíduos ruído branco e atendam as estatísticas de ajustes, aplicam-se as cartas de controle nos resíduos provenientes dos modelos ARIMA e ARMAX;

6º - Após serem estabelecidos as cartas de controle utiliza-se como medida de comparação o número de pontos determinados como estando fora de controle;

7º - Vencidas as etapas de modelagem e elaboração dos cartas de controle, faz-se a análise para identificar pontos que podem causar anomalias no processo produtivo e quando necessário toma-se uma ação corretiva.

4. Análise dos resultados

As séries em estudo são referentes a um processo galvânico e apresentaram-se como não estacionárias, situações evidenciadas pelos gráficos das séries originais apresentados nas Figuras 1 e 2.

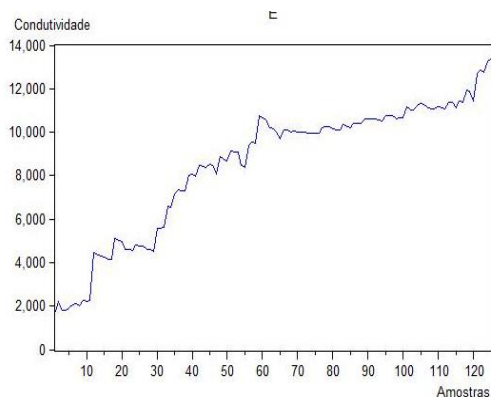


Figura 1 – Gráf. da série original para a Variável enxágue.

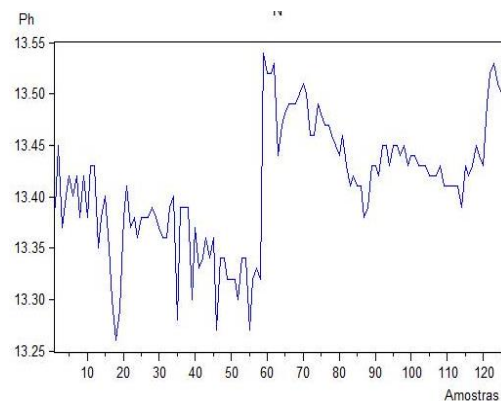


Figura 2 – Gráf. da série original para variável neutralização.

Observa-se na série temporal referente ao enxágue que ela apresenta uma tendência crescente, a qual é não estacionária, já a variável neutralização apresenta-se com um outlier e, também não estacionária, pois há uma grande oscilação em torno do valor médio da série.

Para confirmação da estacionariedade das séries utilizou-se os testes de raízes unitárias, ADF e o KPSS onde as mesmas foram classificadas como não estacionárias em nível, com 5% de significância.

Finalizada a etapa de transformação da série em estacionária parte-se para a análise dos correlogramas, fornecidos pela ACF e PACF, que fornecem a ordem dos modelos a serem testados.

Observa-se, para as duas variáveis, nos respectivos correlogramas picos significativos nos primeiros *lag's* e logo após um decaimento brusco mostrando que as séries são explicadas por modelos de médias móveis, dito de outra forma, as séries são explicadas por seus ruídos brancos atuais mais os ocorridos em períodos anteriores.

Como sequência da pesquisa estão apresentados na Tabela 1, para as etapas de enxágue e de neutralização, as estimações dos parâmetros dos seguintes modelos concorrentes:

Modelo	Coefficientes	p-valor ($p \leq 5\%$)	AIC	BIC	RB
AR (1) - Enxágue					
Cte	14076,30	0,0009			
ϕ_1	0,983397	0,0000	14,64998	14,69547	Sim
ARMA (1,1) – Enxágue					
Cte	15217,37	0,0011			
ϕ_1	0,986266	0,0000			
θ_1	-0,211445	0,0197	14,62949	14,69772	Sim
ARIMA (0,1,1) – Enxágue*					
Cte	92,90051	0,0005			
θ_1	-0,200476	0,0256	14,63501	14,68050	Sim
Modelo	Coefficientes	p-valor ($p < 5\%$)	AIC	BIC	RB
AR (1) - Neutralização					
Cte	13,41283	0,0000			
ϕ_1	0,800555	0,0000	-3,712337	-3,66849	Sim
AR (2) - Neutralização					
Cte	13,41272	0,0000			
ϕ_1	0,630387	0,0000			
ϕ_2	0,220844	0,0147	-3,755714	-3,687124	Sim
ARMA (1,1) - Neutralização					
Cte	13,41741	0,0000			
ϕ_1	0,913813	0,0000			
θ_1	-0,321106	0,0029	-3,755679	-3,687446	Sim
AR (2) - Neutralização					
ϕ_1	0,700869	0,0000			
ϕ_2	0,299180	0,0007	-3,717824	-3,672097	Sim
ARIMA (1,1,0) - Neutralização					
ϕ_1	-0,298736	0,0007	-3,733766	-3,710902	Sim
ARIMA (0,1,1) – Neutralização*					
θ_1	-0,397470	0,0000	-3,753497	-3,730753	Sim

Tabela 1 – Modelos concorrentes para a variável enxágue e neutralização de acordo com os critérios estabelecidos

Encontram-se assinalados, na Tabela 1, em negrito e com um asterisco, os modelos selecionados para as duas variáveis em estudo, de acordo com a estratégia detalhada, para as etapas de enxágue e neutralização, que confirmaram a informação onde se apresenta como provável melhor modelo o de médias móveis.

Para confirmar a melhor escolha, verificou-se pelos gráficos da ACF e da PACF dos resíduos, que estes se comportaram dentro dos limites de significância, portanto são classificados como não autocorrelacionados, logo *ruído branco* –(RB).

Nas Figuras 3 e 4 apresentou-se o gráfico da variável original, a ajustada pelo modelo proposto e o comportamento dos resíduos das etapas de enxágue e neutralização.

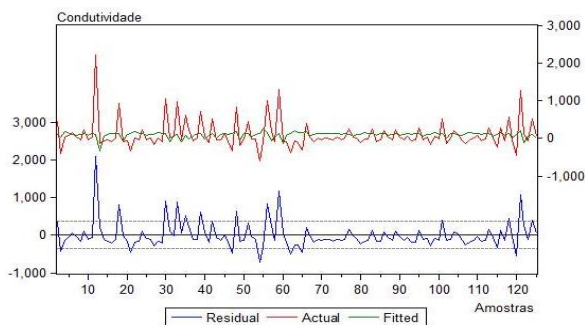


Figura 03 – Gráfico das séries originais, ajust. e resíd. - Enxágue

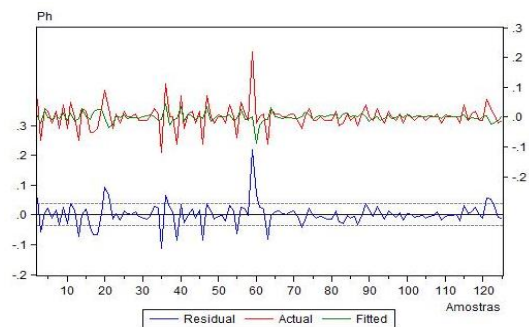


Figura 04 – Gráfico das séries originais, ajust. e dos res. – Neutral

Pode-se observar que a série original e a ajustada apresentam comportamento similar, sinalizando que o modelo adotado foi capaz de captar os movimentos das séries, portanto o modelo foi convergente. Analisando-se os resíduos pode-se verificar um comportamento aleatório, corroborando graficamente a ideia de não autocorrelação dos resíduos e, portanto, independente, oscilando em torno de uma média constante próxima de zero, o que caracteriza um modelo que produziu resíduos com características de *ruído branco*.

Considerando que os resíduos apresentaram-se com características de independentes e identicamente distribuídos - *i.i.d.*, é possível a construção de cartas de controle. Na Figura 05, apresenta-se o gráfico de controle para os resíduos oriundos do modelo ARIMA (0,1,1), utilizando-se as equações definidas por Rotondaro (2002).

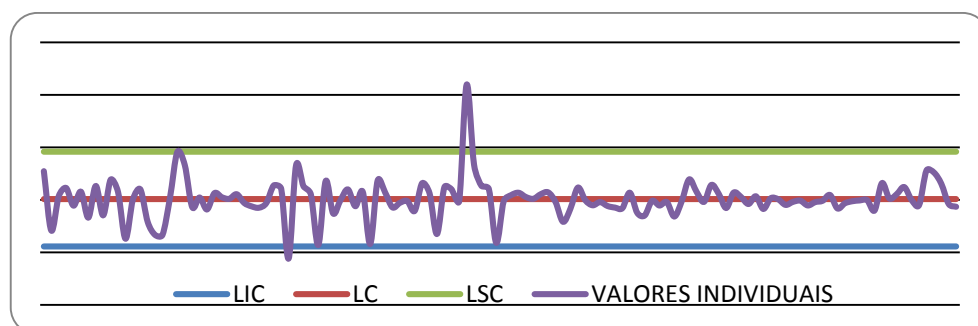


Figura 05 – Gráfico de controle dos valores individuais.

Observa-se uma situação de instabilidade apontada pelo gráfico de controle que representa os valores individuais, mostrada pelos pontos fora dos limites de controle.

Vencidas as etapas de avaliação do modelo ARIMA selecionado partiu-se para a avaliação da modelagem ARMAX, que de acordo com seus pressupostos as variáveis devem ser estacionárias. Conforme testes realizados as variáveis foram estacionadas em primeira diferença $I(1)$. Para a elaboração do modelo ARMAX, utilizou-se como variável exógena o enxágue e como variável endógena a variável neutralização.

Satisfeita a condição de estacionariedade e de existência de correlação entre as variáveis, ajustou-se o modelo ARMAX representado na Tabela 2.

Modelo	ARIMA (0,1,1) D(E(-3)) D(E(-4)) D(E(-5)) D(E(-8))				RB
	Coefficiente	p-valor ($p \leq 5\%$)	AIC	BIC	
D(E(-3))	2,65 E -5	0,0014	-3,942541	-3,823852	Sim
D(E(-4))	-2,55 E -5	0,0029			
D(E(-5))	-2,11 E -5	0,0148			
D(E(-8))	2,65 E -5	0,0014			
θ_1	-0,381934	0,0000			

Tabela 2 – Modelagem ARMAX com o modelo selecionado da variável neutralização

Observa-se na Tabela 3 referente à modelagem ARMAX a influência da variável externa ao sistema. Verificou-se um forte impacto da variável externa sobre a variável interna nos intervalos de -15, -20, -25 e -40 minutos de defasagem. Do modelo acima apresentado estimou-se os resíduos os quais serão avaliados pelos cartas de controle cartas de controle Rotondaro (2002).

Apresenta-se na Figura 06 o gráfico de controle construído a partir da modelagem ARMAX selecionada.

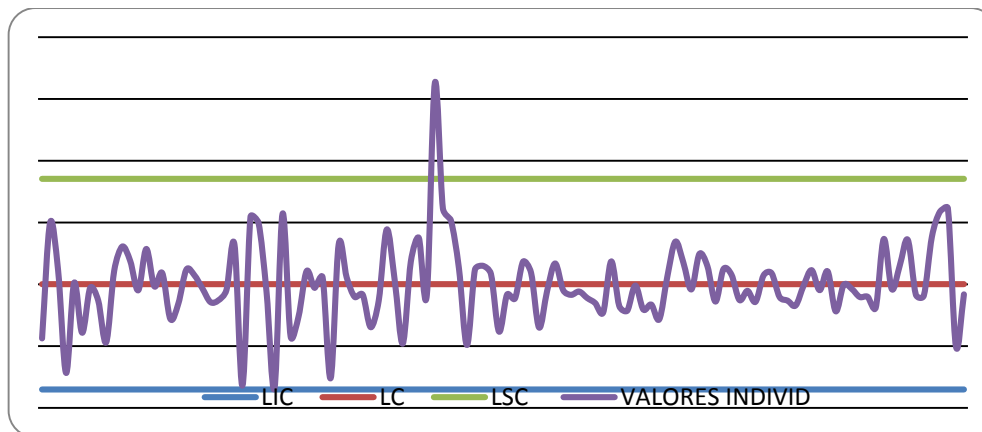


Figura 06 – Gráf. dos valores indiv. do modelo Armax

Observa-se uma situação de instabilidade detectada pelo gráfico de controle, pois foram encontrados pontos fora dos limites de controle no gráfico dos valores individuais.

5. Conclusão e perspectivas de trabalhos futuros

Os padrões de não aleatoriedade sugeridos por Werkema (1995), de pontos fora dos limites de controle; Padrões cíclicos; Sequência ou deslocamento de nível de processo; Tendência; Mistura ou Aproximação dos limites de controle e Aproximação da linha média foram utilizados como referência para comparação dos desempenhos das cartas de controle geradas com os resíduos da modelagem ARIMA, etapa neutralização e as cartas de controle geradas com os resíduos da modelagem ARMAX.

A modelagem ARMAX conseguiu melhor se ajustar a variável analisada, o que era de se esperar, pois apresenta uma variável exógena que consegue melhor explicar a variável de interesse. Este fato é corroborado pelo somatório de pontos fora dos limites de controle que a modelagem ARMAX apresenta-se como o melhor modelo, pois apenas um ponto foi detectado fora dos limites de controle, ao passo que na modelagem ARIMA foram encontrados dois pontos fora dos limites de controle.

Referências

- BIERENS, H. J.** *Armax model specification testing, with an application to unemployment in the Netherlands*. Faculty of Economics and Econometrics, Free University, 1007 MC Amsterdam. *Journal of Econometrics* 35(1987) 161-190, 1987.
- COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R.** *Controle estatístico de qualidade*. 2 ed.; São Paulo: Atlas, 2012.
- DICKEY, D. and FULLER, W.** "Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root". *Journal of the American Statistical Association*, v. 84, 427-431p, 1979.
- ENDERS, W.** "Applied econometric time series. Wiley series in probability and mathematical statistics". John Wiley and Sons, Inc., New York. N.Y, 1995.
- GUJARATI, D. M.** *Econometria básica*. 3ª ed., São Paulo: Makron Books, 2000.
- KWIATKOWSKI, D. PHILLIPS, P. C. B.; SCHMIDT, P.; SHIN, Y.** "Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root". *Journal of Econometrics*, 54. 1992.
- MADDALA, G.S.** *Introduction to econometrics*. 2. ed. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey. 1992.
- MONTGOMERY, D.C.** *Introdução ao controle estatístico de qualidade*. 4 ed.; Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- PANNONI, F. D.** *Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio*. Coletânea do uso do AC. Perfis Gerdau Aço Minas. 4 ed. 2007.
- PONTE, H. A.** *Tratamento de efluentes líquidos de galvanoplastia. Disciplina: Eletroquímica aplicada e corrosão – TQ – 417*. UFPR- Universidade Federal do Paraná- Setor de tecnologia - Departamento de engenharia Química.
- PEDRINI, D. C.; CATEN, C. S. T.** "Comparação entre cartas de controle para resíduos de modelos". *SIMPEP – Simpósio de engenharia de Produção*; Nov, 2008.
- ROTONDARO, R. G.** *Seis sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processo, produtos e serviços*. São Paulo: Atlas, 2002.
- SILVA, L.C.** *Utilizando ARMAX para estimar a influência do PIB, SELIC e INFLAÇÃO no faturamento de empresas do setor siderúrgico com ações na bolsa*; Universidade de Brasília – faculdade de Economia, Administração e Contabilidade – Departamento de Administração; 2011.
- SANTOS, C; ALBUQUERQUE, M. A.; OLIVEIRA, M. C. C.; ECHEVARRIA, A.** *A corrosão e os agentes corrosivos*. Revista virtual de química. 2014
- ZEMPULSKI, L. N.; ZEMPULSKI, M. F. S.** *Dossiê Técnico. Galvanização Eletrolítica*. Instituto de Tecnologia do Paraná. 2007.
- SOUZA, A. M.; SOUZA, F. M.; FERREIRA, N.; MENEZES, R.** "Electrical energy supply for Rio Grande do Sul, Brazil, using forecast combination of weighted eigenvalues". *GEPROS – Gestão da Produção, operações e sistemas*; n.3, 23-39 p.; jul-set.2011.
- WERKEMA, M.C.C.** *Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos*. Belo horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, 1995.
- WERNER, L.; RIBEIRO, J. L. D.** *Previsão de demanda: uma aplicação dos modelos Box-Jenkins na área de assistência técnica de computadores pessoais*. *GEPROS; Gestão da Produção, Operação e Sistemas*; vol.10, n.1; 47-67 p.; abr.2003.