



University of
Texas Libraries



e-revist@s



Centro Universitário Santo Agostinho



revistafsa

www4.fsnet.com.br/revista

Rev. FSA, Teresina, v. 15, n. 5, art. 7, p. 130-146, set./out. 2018

ISSN Impresso: 1806-6356 ISSN Eletrônico: 2317-2983

<http://dx.doi.org/10.12819/2018.15.5.7>

DOAJ DIRECTORY OF
OPEN ACCESS
JOURNALS

WZB
Wissenschaftszentrum Berlin
für Sozialforschung



Aplicação de Cartas de Controle MMEP Em Resíduos de um Modelo de Previsão de Pico de Demanda de Energia Elétrica

Application of Ewma Control Charts in Residuals of a Forecast Model of Peak Electric Power Demand

Guilherme de Oliveira da Silva

Mestrando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Maria
Graduado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Maria
E-mail: guilhermeos.ep@gmail.com

Leandro Cantorski da Rosa

Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina
Professor da Universidade Federal de Santa Maria
E-mail: leski78@hotmail.com

Endereço: Guilherme de Oliveira da Silva

Rua Tuiuti, 528, Apartamento 202, bloco D, CEP:
97.015-660, Santa Maria, RS/Brasil.

Endereço: Leandro Cantorski da Rosa

UFSM, CT, Av. Roraima nº 1000, CEP 97.105-900, S.
Maria, RS/Brasil.

Editor-Chefe: Dr. Tonny Kerley de Alencar Rodrigues

Artigo recebido em 05/04/2018. Última versão
recebida em 25/05/2018. Aprovado em 26/05/2018.

Avaliado pelo sistema Triple Review: a) Desk Review
pelo Editor-Chefe; e b) Double Blind Review
(avaliação cega por dois avaliadores da área).

Revisão: Gramatical, Normativa e de Formatação



RESUMO

As cartas de controle consistem em uma importante ferramenta na avaliação da estabilidade de processos. No entanto, quando submetidas a situações em que se têm dados correlacionados, essas cartas de controle não obtêm o mesmo desempenho, retornando resultados equivocados sobre a variabilidade do processo. Este trabalho objetivou a análise da estabilidade dos resíduos de um modelo de previsão de pico de demanda de energia elétrica de um cliente comercial, a fim de verificar se tais resíduos estão sob controle estatístico e, portanto, dentro de uma margem admissível de variabilidade. Para isso, um modelo de previsão foi ajustado e os resíduos calculados para, então, se aplicar as cartas de controle de média móvel exponencialmente ponderada (MMEP) e aferir os resultados desta aplicação. A partir da avaliação dos resultados, tornou-se possível descrever o comportamento dos resíduos e complementar a aferição do desempenho do modelo de previsão utilizado.

Palavras-chave: Cartas de Controle MMEP. Análise de Séries Temporais Sazonais. Setor de Distribuição De Energia Elétrica.

ABSTRACT

The control charts are an important tool to evaluation the process stability. However, when this tool is submitted to situations of correlated data, these control charts do not have the same performance, returning wrong results about the process variability. This study aimed the analysis of residual's stability of forecast model of peak electric power demand from a comercial customer, in order to verify if such residuals are under statistical control and, therefore, within and allowable margin of variability. For this, a forecast model was adjusted and the residuals calculated, and so, the exponentially weighted moving average (EWMA) control charts were applied and the results of this application were evaluated. From the evaluation of the results, it was possible describe the behavior of residuals and complement the assessment of performance of forecast model used.

Key-words: EWMA Control Charts. Analysis of Seasonal Time Series. Electricity Distribution Sector.

1 INTRODUÇÃO

O setor de distribuição de energia elétrica tem participação de 3,5% no Produto Interno Bruto (PIB), sendo responsável direto por 209 mil empregos, além de gerar receitas equivalentes a 216 bilhões de reais anuais e receber investimento em torno de 13,8 bilhões de reais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA - ABRADDEE, 2016). Tal relevância no cenário econômico nacional vai ao encontro da grande ênfase dada à gestão por parte das empresas concessionárias e do governo ao setor, conforme destaca Cascaes (2003), sendo necessário, conforme o autor, que se trabalhe com critérios, os quais assegurem a qualidade do serviço prestado, garantindo segurança e minimização dos tempos de interrupção de serviço.

Na direção da sofisticação de gestão cada vez mais exigida pelo mercado em suas mais diversas diretrizes, a metodologia de Controle Estatístico do Processo (CEP) traz consigo uma ferramenta de uso difundido e necessário, denominada carta de controle. Segundo Soriano *et al.* (2016) tal ferramenta, de forma geral, analisa a estabilidade do processo, buscando identificar se este está sob controle estatístico ou não, visando explicitar o momento em que ações corretivas devem ser tomadas. Em complemento à metodologia, Christo e Ferreira (2013) relatam que, na existência de dados autocorrelacionados, as cartas de controle mais usais apresentam resultados não satisfatórios, podendo indicar estabilidade de processo quando, na verdade, este não está estável, sendo o contrário também passível de ocorrer. Em tal situação, alternativas às cartas de controle tradicionais são utilizadas. Dentre as de maior ocorrência, destaca-se a opção apresentada por Montgomery (2016), onde o autor propõe um método em dois passos, em que (i) se deve ajustar um modelo de previsão para séries temporais (ARIMA) e, então, (ii) aplicar um gráfico de controle padrão para os resíduos (Gráficos de controle das somas acumuladas - CUSUM ou gráficos de controle da média móvel exponencialmente ponderada - MMEP), a fim de se avaliar se tais resíduos estão sob controle estatístico.

Dessa maneira, o objetivo deste estudo é analisar os resíduos de uma previsão de uma série de pico de demanda de energia elétrica através do uso de cartas de controle de médias móveis exponencialmente ponderadas, visando avaliar se tais resíduos estão sob controle e, portanto, dentro de um limite aceitável de incerteza. Assim, este trabalho estabelece uma referência concreta para a busca de medidas que, efetivamente, contribuam para a qualificação do setor de energia elétrica, ao mesmo tempo que avalia a aplicabilidade de um método estatístico ao setor em questão.

Na próxima seção apresenta-se o embasamento teórico existente para desenvolvimento do estudo. A terceira seção apresenta os métodos utilizados e os resultados obtidos a partir do que foi traçado nas seções anteriores. Por fim, a quarta e última seção contém as conclusões deste estudo e suas principais contribuições, finalizando o trabalho e apresentando sugestões para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Setor elétrico: breve histórico e funcionamento básico de custeio

Câmara e Soares (2012) apresentam em sua obra um histórico dos principais acontecimentos envolvendo o setor elétrico no Brasil, desde seus primórdios, com a criação da Secretaria de Estado dos Negócios da Agricultura no século XIX. Os autores relatam que o setor iniciou uma forte fase de reconstrução na década de 1990, após a privatização de empresas federais e estaduais de distribuição, o que resultou na criação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e reduziu as responsabilidades da, até então totalmente estatal, Eletrobrás. Isto trouxe maior flexibilidade e eficiência ao setor através das ditas parcerias “público-privadas” e impactou, posteriormente, em maior preocupação por parte do estado em relação ao planejamento e gestão do setor elétrico.

Christo e Ferreira (2013) comentam alguns bons resultados provenientes da política de introdução de competitividade no setor elétrico ocorrida, principalmente, a partir da década de 2000. Os autores destacam que, a partir de 2004, com o início dos leilões de energia elétrica, foi possível aumentar a competitividade e reduzir preços, tendo este modelo um desempenho melhor em comparação a seu antecessor, no qual a livre negociação entre distribuidoras e geradoras ocorria corriqueiramente.

Conforme a Associação Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2010), existem diversos tipos de contratos para os mais variados clientes, sendo a adaptabilidade desses contratos algo que ocorre de acordo, normalmente, com o nível de consumo desses clientes. Desta forma, um dos tipos de contratos existentes, chamado Verde A4, diz respeito ao custo computado para o pico de demanda ocorrido em kW e o pico de demanda contratado, também em kW.

Lima *et al.* (2017), apresentam duas equações que descrevem este custeio. Resumidamente, o que se tem é um custo (C_t) para valores de pico de demanda os quais não ultrapassam o contratado e um custo maior para cada kW de pico de demanda, além do limite

pré-estabelecido em contrato entre cliente e concessionária. Desta forma, as equações (1) e (2) descrevem esta situação, assim como a Figura 1, a qual resume de forma gráfica o funcionamento básico para clientes comerciais aderentes ao tipo de contrato Verde A4.

Se $0 < D_t^{max} \leq 1,05 \cdot D_t^c$:

$$C_t = \max(D_t^c, D_t^{max}) T_D \quad (1)$$

Por outro lado, se $D_t^{max} > 1,05 \cdot D_t^c$:

$$C_t = D_t^{max} T_D + (D_t^{max} - D_t^c) T_D^{exc} \quad (2)$$

Onde,

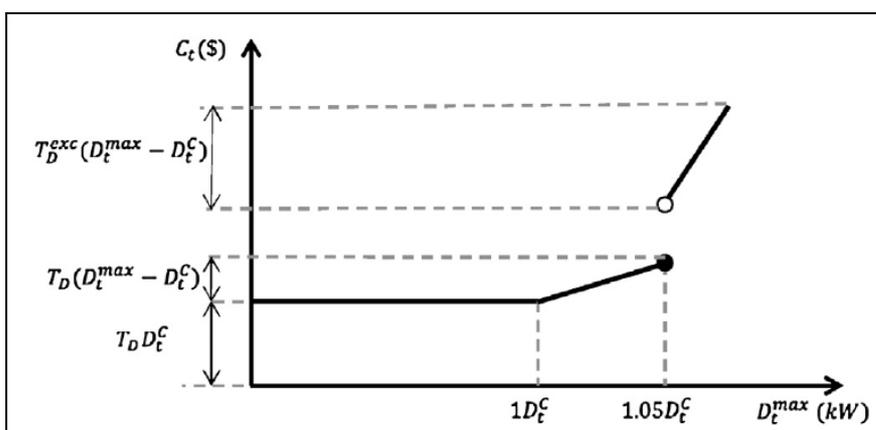
D_t^{max} = Demanda máxima atingida de energia elétrica no tempo t

D_t^c = Demanda máxima contratada de energia elétrica no tempo t

T_D = Tarifa de pico de demanda (R\$/kW). Para este estudo, $T_D = \text{R\$ } 18,12 / \text{kW}$

T_D^{exc} = Tarifa do pico de demanda excedido (R\$/kW). Para este estudo, $T_D^{exc} = 2T_D$

Figura 1 – Variação de custo de pico de demanda com a variação de pico de demanda



Fonte: Adaptado de Lima *et al.* (2017, 124).

2.2 Séries temporais e modelos ARIMA

Conforme Morettin e Toloi (2004), uma série temporal é definida como uma série histórica de dados obtidos em sequência durante um intervalo de tempo, os quais apresentam autocorrelação, sendo a observação Z , no instante de tempo t , denotada por Z_t , em que $t = 1, 2, \dots, K$, e o índice n o tamanho da série tratada. Ainda Morettin e Toloi (2004) destacam que uma série temporal é composta, basicamente, por quatro elementos: (a) tendência: sentido de deslocamento da série ao longo do tempo, (b) ciclo: movimento ondulatório periódico, (c) sazonalidade: movimento ondulatório de curta duração, normalmente associado a um fator específico – por exemplo, mudanças climáticas – e (d) ruído aleatório ou resíduo: é a variabilidade intrínseca aos dados que representa a parte da série que não tem como ser capturada por qualquer modelo.

Na busca por modelos estatísticos capazes de captar e reproduzir o comportamento das séries temporais, a metodologia Box & Jenkins (1976), também conhecida por modelos ARIMA (*Auto Regressive Integrated Moving Averages*), traz a tentativa de se capturar a autocorrelação existente entre os dados de uma série temporal e, com base em tal autocorrelação, realizar previsões futuras envolvendo os valores da série temporal em questão. Os modelos ARIMA, denotados por ARIMA (p, d, q) possuem, como relatam Marchezan e Souza (2010), três componentes que representam a parte autoregressiva do modelo (p), o número de diferenciações para que a série se torne estacionária (d) e número de termos de médias móveis (q).

Werner e Ribeiro (2003) apresentam uma classificação pautada em três tipos diferentes de modelos ARIMA: modelos estacionários, modelos não estacionários e modelos sazonais. Este último modelo, também conforme Werner e Ribeiro (2003), contempla o tratamento da autocorrelação sazonal existente em séries que apresentam tal característica e podem ser denotados por SARIMA (p, d, q)(P, D, Q)_s, em que (P, D, Q) representa a parte do modelo a que ampara o tratamento da sazonalidade da série.

A Figura 2 apresenta, de forma adaptada do trabalho de Werner e Ribeiro (2003), as etapas que se seguem dentro da metodologia Box e Jenkins para se obter um modelo adequado aos dados e realizar previsões. É válido ressaltar que as três primeiras etapas - identificação, estimação e verificação – devem ser realizadas em forma de ciclo, de maneira que, caso ao fim da terceira etapa a conclusão seja de que o modelo não é o mais adequado para os dados, retorna-se ao primeiro passo, recomeçando, assim, a busca por um modelo que

reproduza melhor o comportamento da série. Se o modelo se mostrar adequado, realiza-se, então, a quarta etapa que corresponde à previsão de dados futuros.

2.3 Controle estatístico do processo (CEP) e gráficos de controle MMEP

O CEP é uma metodologia formada por um conjunto de técnicas estatísticas usadas com enfoque no monitoramento da variabilidade de determinado processo, buscando identificar comportamentos anômalos, a fim de que se possa agir e corrigi-los. A importância e aplicabilidade do CEP é destacada por autores como Soriano *et al.* (2016), Montgomery (2016) e Awaj *et al.* (2013), de modo que esta metodologia indica não apenas as ferramentas estatísticas adequadas para se monitorar a variabilidade do processo, mas também um amplo conceito capaz de definir critérios de como interpretar e agir sobre a variabilidade e suas causas principais.

Figura 2 – Etapas para construção de um modelo e previsão futuras

Etapa	Descrição
1) Identificação	<ul style="list-style-type: none"> Identificar qual modelo, dentre os modelos Box & Jenkins, é capaz e captar o comportamento da série (gráficos de autocorrelação e autocorrelação parcial são utilizados nesta identificação).
2) Estimação	<ul style="list-style-type: none"> Estimação dos parâmetros autoregressivos e de médias móveis, bem como da variância inerente ao erro ϵ_t.
3) Verificação	<ul style="list-style-type: none"> Avaliação do modelo quanto a sua capacidade de reproduzir o comportamento dos dados (normalmente compara-se mais de um modelo através de critérios estabelecidos como AIC e BIC).
4) Previsão	<ul style="list-style-type: none"> Etapa a qual representa o real objetivo da metodologia: realizar previsões futuras com base no modelo identificado e verificado.

Fonte: Adaptado de Werner e Ribeiro (2003).

As cartas de controle compõem um importante instrumento do CEP, e são utilizadas em diversas situações, a fim de aferir a estabilidade do processo, como por exemplo, nos trabalhos de Soriano *et al.* (2016), Lima e Charnet (2008) e Campos *et al.* (2016). Basicamente, sua construção consiste no cálculo de limites superior e inferior de controle e na

plotagem dos dados a serem avaliados em um gráfico, para que se possa avaliar a estabilidade do processo onde esses dados foram gerados.

Para a análise deste gráfico, pontos dentro dos limites resultam que de causas aleatórias (inerentes ao processo e, portanto, não problemáticas) e pontos fora dos limites são interpretados como sendo resultantes de causas especiais (causas onde se deve parar o processo e corrigir o que está gerando tal instabilidade). É importante destacar, segundo Montgomery (2016), que as cartas de controle usuais fazem uso da informação sobre a última observação amostral, desconsiderando quaisquer informações provenientes dos dados anteriores. Logo, como pontuam Christo e Ferreira (2013), em casos onde se têm dados autocorrelacionados, as cartas de controle usuais retornam alarmes falsos, indicando instabilidade nos processos quando estes, na verdade, estão totalmente estáveis.

Uma opção a cenários onde se trabalha com dados que apresentam autocorrelação é demonstrada por Souza et al. (2010), em que a aplicação das cartas de controle é incorporada nos resíduos de um modelo de previsão. Este caminho, porém, apresenta alguns pontos de contestação, como por exemplo, quando aplicado a modelos puramente autoregressivos de ordem 1 – AR (1) – em que, logo após o desajuste, observa-se grande diferença entre as previsões e as observações reais da série.

Outras alternativas às cartas de controle, usuais em situações, mas quais se têm dados autocorrelacionados são comentadas por Wardell *et al.* (1994), Lu e Reynolds (1999) e Montgomery (2016). Montgomery (2016) propõe um método no qual se deve seguir duas etapas básicas, sendo elas: (i) ajuste de um modelo de previsão para a série temporal mais adequado aos dados e (ii) aplicar uma carta de controle padrão CUSUM, ou MMEP para os resíduos.

É importante ressaltar que a aplicação da carta de controle para resíduos assume duas premissas com relação a tais resíduos as quais devem, impreterivelmente, ser cumpridas. Os ruídos precisam seguir distribuição normal e não apresentar autocorrelação ou, em outras palavras, serem independentes entre si; tal premissa de independência pode ser verificada por meio de gráficos de autocorrelação e autocorrelação parcial (MONTGOMERY, 2016; WANG, 2016).

Segundo Montgomery (2016), ambos os gráficos, CUSUM ou MMEP, possuem bons resultados quando aplicados a dados autocorrelacionados sendo, o segundo, de mais fácil aplicação e entendimento. Diferentemente das equações trazidas nas cartas de controle usuais, Montgomery (2016) traz as equações para o cálculo de limite superior de controle (LSC) e

limite inferior de controle (LIC), particularmente adaptadas a MMEP, sendo tais equações descritas em (3), (4), (5) e (6).

$$\mu_0 = \bar{x} \quad (3)$$

$$LSC = \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda} [1 - (1-\lambda)^{2i}]} \quad (4)$$

$$LIC = \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda} [1 - (1-\lambda)^{2i}]} \quad (5)$$

$$Z_i = \lambda x_i + (1-\lambda)Z_{i-1} \quad (6)$$

Onde,

μ_0 = alvo da média do processo;

L = largura dos limites de controle;

σ = desvio padrão;

λ = constante $\in (0;1]$;

Z_i = média ponderada.

Zhou e Tang (2016) argumentam brevemente sobre critérios para escolha dos parâmetros λ e

L . De acordo com os autores, o parâmetro λ representa o quão influente os dados mais

recentes da série são sobre as previsões futuras, de modo que um valor próximo de 1 denota uma influência maior, e valores perto de 0 implicam menor influência dos dados recentes.

Ainda Zhou e Tang (2016) comentam que o valor utilizado de L é geralmente 3, ou algum outro valor selecionado a partir da distribuição normal.

3 METODOLOGIA

Os dados utilizados para este estudo são oriundos da pesquisa desenvolvida por Lima *et al.* (2017). Esses os autores tratam uma série histórica de pico de demanda de energia elétrica, a fim de encontrar valores adequados para um contrato de demanda de um determinado cliente, sem ultrapassar os limites estabelecidos no contrato e sem que isso implique capacidade ociosa de energia contratada. Lima *et al.* (2017) descrevem em sua obra que a série traz os valores de pico de demanda de janeiro de 2004 a dezembro de 2015, totalizando 144 observações mensais, advindas de um cliente comercial — uma universidade no Brasil — e que, portanto, apresentam certa sazonalidade em determinados meses, devido às férias e recessos escolares.

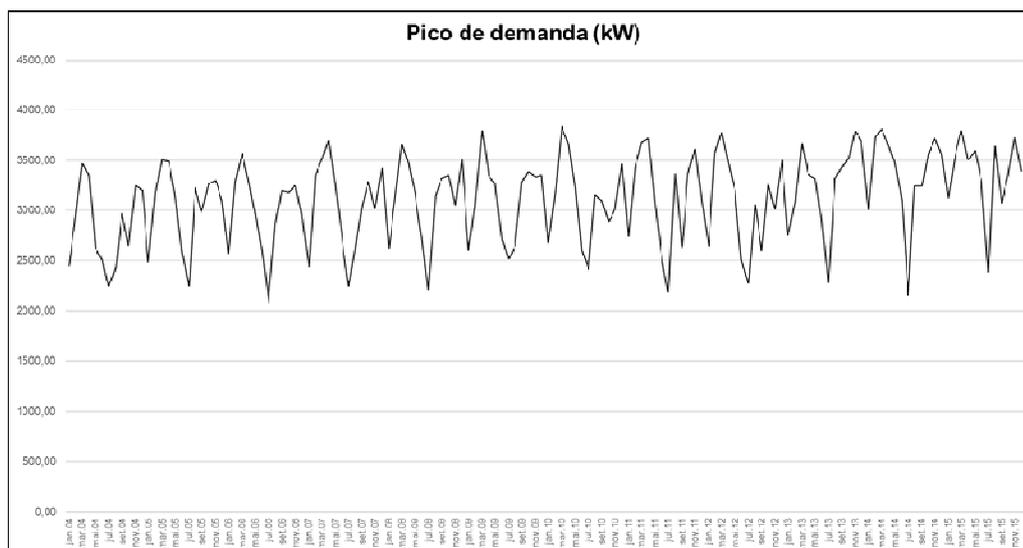
As etapas seguidas nesta pesquisa, visando o objetivo traçado, podem ser sintetizadas da seguinte forma:

- (i) Ajuste de um modelo Box & Jenkins adequado à série;
- (ii) Realização de previsões *in-sample*, ou seja, previsões para os meses já existentes a fim de que se possa calcular os resíduos provenientes do modelo e;
- (iii) Aplicação da carta de controle MMEP aos resíduos da previsão feita.

Visto que o objetivo do artigo está voltado à análise dos resíduos, e que o modelo Box & Jenkins utilizado por Lima *et al.* (2017) mostra-se bem ajustado aos dados observados, é pertinente salientar que o modelo neste trabalho ajustado à série temporal foi o mesmo adotado pelos autores; além disso, como forma de complemento e avanço à pesquisa desenvolvida, este estudo teve seu enfoque no tratamento dos resíduos e na existência, ou não, de sua estabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A série histórica de pico de demanda de energia elétrica tratada na pesquisa é apresentada na Figura 3. É possível observar uma leve tendência crescente na série, assim como uma baixa de consumo ao redor dos meses de janeiro, fevereiro e junho de todos anos, fato este decorrente dos meses usuais de férias nas universidades brasileiras. Por outro lado, é possível, também, observar que os meses de março, ao longo dos anos, mostram uma elevação do pico de demanda, algo igualmente esperado em decorrência do habitual recomeço das atividades acadêmicas na grande maioria das universidades do Brasil.

Figura 3 – Série de pico de demanda em kW de 2004 a 2015

Fonte: Adaptado de Lima *et al* (2017, p. 124).

Conforme já discutido, o modelo Box & Jenkins que melhor se adapta à série é o mesmo usado por Lima *et al.* (2017). Tal modelo possui a notação SARIMA (3, 0, 3), (1, 0, 1)₁₂, o que representa três componentes autoregressivos, três componentes de médias móveis, um componente autoregressivo sazonal, um componente de médias móveis sazonal e uma sazonalidade período 12. Como forma de avaliação do modelo, a Tabela 1 traz algumas métricas utilizadas para avaliação do mesmo, evidenciando a boa aderência do modelo aos dados da série observada.

Tabela 1 – Testes estatísticos do modelo SARIMA (3, 0, 3)(1, 0, 1)₁₂

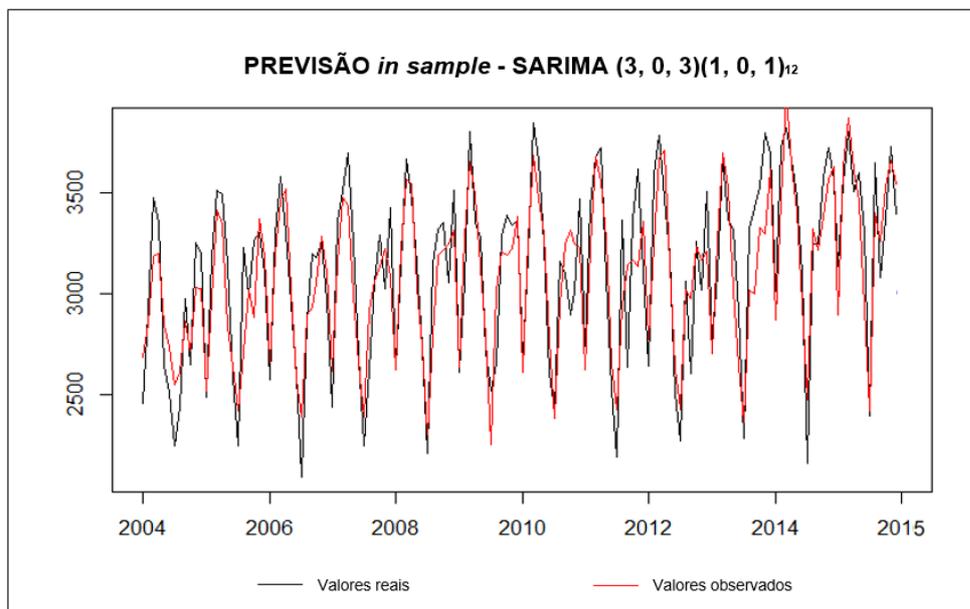
Teste estatístico	Valores
Média da série	4,733
R ²	0,8139
MAPE	0,0475
Curtose	3,5
Assimetria	-0,0866
Jarque-Bera	0

Fonte: Adaptado de Lima *et al* (2017, p. 124).

A partir do modelo ajustado, foi possível, então, realizar previsões *in sample* para a série de pico de demanda. Para elaboração da previsão foi desenvolvida uma implementação computacional através da linguagem de programação R (R Development Core Team, 2014), sendo os resultados provenientes de tal implementação e de interesse desta pesquisa, apresentados no decorrer das próximas figuras. A Figura 4 apresenta graficamente as

observações reais e a previsão realizada, onde se percebe o bom ajuste do modelo aos dados, uma vez que dados reais e observados apresentam comportamento bastante semelhantes.

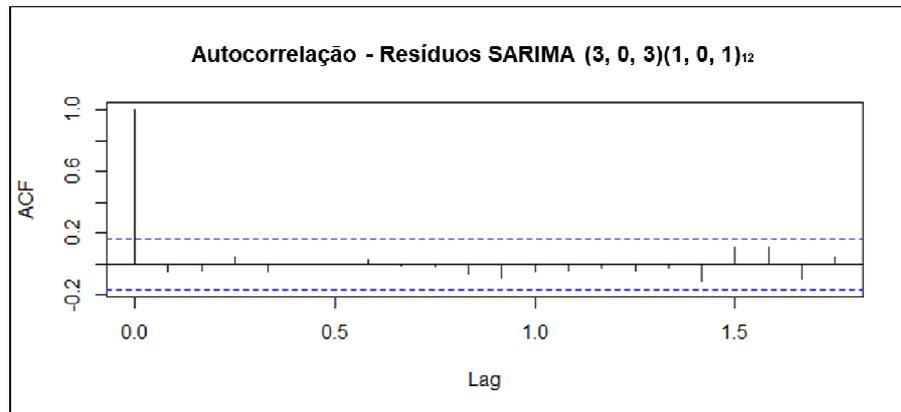
Figura 4 – Previsão *in sample* da série



Fonte: Autor (2017).

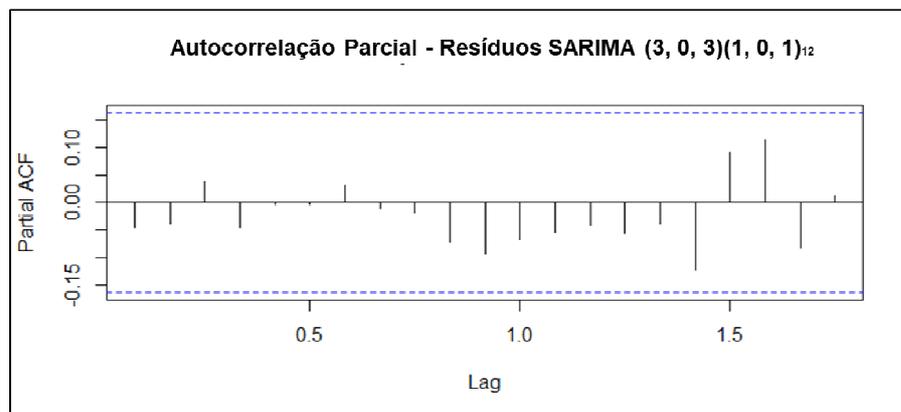
Com a previsão realizada, foi possível calcular os resíduos do modelo em relação aos dados reais. Anterior à aplicação das cartas de controle de MMEP, foram avaliadas a autocorrelação e a autocorrelação parcial dos resíduos, além da construção de um histograma visando aferir a normalidade dos dados. As Figuras 5, 6 e 7 mostram, respectivamente, autocorrelação, autocorrelação parcial e histograma dos resíduos podendo-se, daí, concluir que estes são independentes – ou seja, não possuem correlação entre si – e que seguem, aproximadamente, a distribuição normal. Assim, as premissas necessárias para aplicação das cartas de controle mostram-se como cumpridas e a execução da ferramenta como adequada.

Figura 5 – Autocorrelação de resíduos



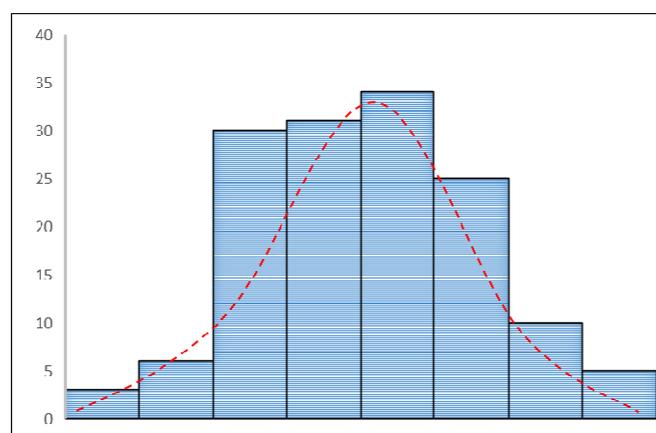
Fonte: Autor (2017).

Figura 6 – Autocorrelação parcial de resíduos



Fonte: Autor (2017).

Figura 7 – Histograma dos resíduos



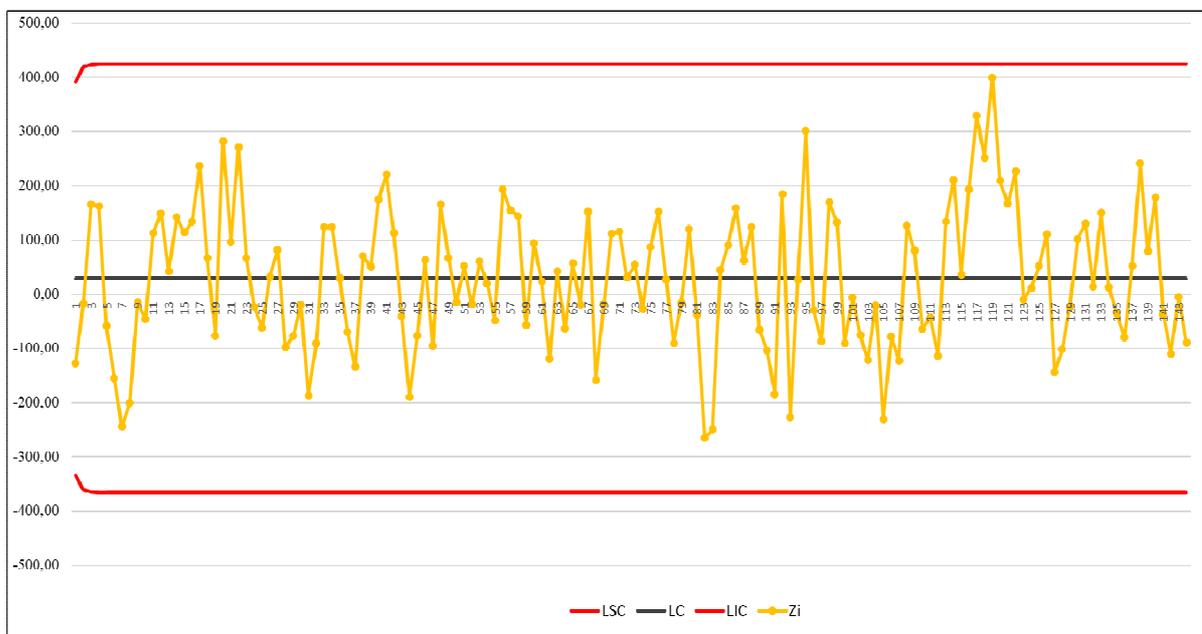
Fonte: Autor (2017).

A partir do ajuste e avaliação do modelo Box & Jenkins, realização da previsão e análise prévia de normalidade dos resíduos, foram desenvolvidas as cartas de controle MMEP

para tais resíduos. Utilizando-se $\lambda = 0,6$ e $L = 3$ e com base nas equações (4), (5) e (6) foram calculados, respectivamente, os limites superior e inferior de controle e as médias ponderadas. As escolhas numéricas para os parâmetros λ e L foram pautadas no entendimento de que os valores mais atuais da série possuem maior influência nos valores previstos, pois tem-se um aumento gradativo do número de alunos e da estrutura das universidades e, conseqüentemente, do consumo de energia elétrica por parte de tais instituições. Desta forma, a Figura 8 apresenta a carta de controle MMEP para os resíduos do modelo trabalhado.

Observando-se a Figura 8, percebe-se que a carta de controle capturou algumas variações da série dos resíduos, especialmente nos pontos 82, 83, 95, 117 e 119 (correspondentes aos meses de outubro e novembro de 2010, novembro de 2011, setembro e novembro de 2013, respectivamente), mostrando a adequação do método usado. Nota-se, também, que os resíduos estão dentro dos limites de controle superior e inferior, o que indica que o modelo proposto para previsão possui erros “aceitáveis” e que estão dentro de uma margem de incerteza igualmente “aceitável”. Desta forma, pode-se entender que o modelo de previsão, sob condições normais, onde não se tem eventos aleatórios abruptos na série, é capaz de gerar boas previsões para a série trabalhada.

Figura 8 – Carta de controle MMEP para os resíduos



Fonte: Autor (2017).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O controle estatístico do processo (CEP) mostra-se como uma importante metodologia que ganhou grande disseminação no campo industrial ao longo dos últimos anos pela sua capacidade em avaliar a estabilidade de processos. Tal metodologia traz consigo o uso de uma ferramenta denominada carta de controle, a qual materializa a análise de estabilidade do processo por meio de gráficos, nos quais, onde se pode observar o desempenho do processo desejado para análise.

As cartas de controle usuais apresentam desempenho inferior quando usada sem dados que apresentam correlação entre si, de modo que a conclusão sobre a estabilidade do processo fica comprometida, à medida que alarmes falsos sobre tal estabilidade podem ser emitidos pelas cartas de controle. Uma alternativa a essa situação é ajustar um modelo de previsão adequado aos dados e aplicar cartas de controle MMEP aos resíduos provenientes da previsão do modelo escolhido.

Este trabalho visou à análise dos resíduos de um modelo Box e Jenkins sazonal denotado como SARIMA (3, 0, 3)(1, 0, 1)₁₂ através do uso de cartas de controle MMEP. Após a realização das previsões deste modelo por meio de uma implementação computacional em linguagem R, foi possível calcular os resíduos desta previsão e aplicar as cartas de controle MMEP para avaliar sua estabilidade. Desta forma, foi possível, também, verificar que os resíduos estão sob controle estatístico e que, portanto, o modelo sazonal ajustado é capaz de prover boas previsões para valores futuros da série.

Como sugestão de trabalhos futuros, sugere-se a construção de outros cenários em que se varie os valores de λ e L , de forma a avaliar se os resíduos do modelo permanecem, ou não, sob controle estatístico e, caso não permaneçam, aplicar algum método estatístico (por exemplo, amortecimento exponencial), para tratar tal anomalia, ou retirar os valores da série e reajustar o modelo de previsão.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA – ABRADDEE. 2016. **Elétricas tratam de revisão com ANEEL**. Disponível em: <<http://www.abrapch.org.br/noticias/2461/eletricas-tratam-de-revisao-com-aneel>>. Acesso em: 26 nov. 2017.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução normativa 414**. 2010. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2017.

AWAJ, Y. M; SINGH, A. P; AMEDIE, W. Y. Quality improvement using statistical process control tools in glass bottles manufacturing company. **International Journal for Quality Research**. v. 7, p. 107-126, jan. 2013.

BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M. **Time series analysis forecasting and control**. Edição revisada. San Francisco: Holden-Day, 1976.

CÂMARA, A. A. F.; SOARES, P. B. D. O direito da eletricidade e sua regulação no brasil. **Revista da Associação Mineira de Direito e Economia**. v. 7, p. 1-22, ago. 2012.

CAMPOS, E. S. *et al.* Controle estatístico de processo em uma indústria de transformadores elétricos: um estudo de caso. In. CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO 2016, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, set. 2016.

CASCAES, J. C. **Critérios de Planejamento, canal energia**. Rio de Janeiro, 2003.

CHRISTO, E. S.; FERREIRA, M. B. Uso do gráfico de controle para minimizar erros de previsão em séries de energia elétrica. **Engevista**. v. 15, p. 214 – 225, ago. 2013.

LIMA, D. A. *et al.* Peak demand contract for big consumers computed based on the combination of a statistical model and a mixed integer linear programming stochastic optimization model. **Electric Power Systems Research**. v. 154, p. 122-129, ago. 2017

LIMA, M. W. P.; CHARNET, R. **Modelos de previsão aplicados no controle estatístico de processo na presença de dados autocorrelacionados**. 2008. Disponível em: <http://www2.ime.unicamp.br/sites/default/files/rel_pesq/rp02-08.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2017

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

MARCHEZAN A; SOUZA, A. M. Previsão do preço dos principais grãos produzidos no Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**. v. 40, p. 2368-2374, nov. 2010.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. 7ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. **Análise de Séries Temporais**. 1ª ed. São Paulo: Blücher, 2004

R Development Core Team. **R: A language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, 2014.

SORIANO, F. R.; OPRIME, P. C.; LIZARELLI, F. L. Impact analysis of critical success factors on the benefits from statistical process control implementation. **Revista Produção**. v. 27, p. 1-13, nov. 2016.

SOUZA, F. M.; ALMEIDA, S. G.; GUARNIERI, J. P; SOUZA, A. M.; LOPES, L. F. D. Previsão do consumo de cimento no estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**. v. 2, p. 1-9, abr. 2010.

WANG, H. Application of Residual-Based EWMA Control Charts for Detecting Faults in Variable-Air-Volume Air Handling Unit System. **Journal of Control Science and Engineering**. v. 2016, p. 1-7, mar. 2016.

WARDELL, D. G.; MOSKOWITZ, H.; PLANTE, R. D. Run length distributions of residual control chart for autocorrelated process. **Journal of Quality Technology**. v. 26, p. 310-317, jul. 1994.

WERNER, L; RIBEIRO, J. L. D. Previsão de demanda: uma aplicação dos modelos Box-Jenkins na área de assistência técnica de computadores pessoais. **Gestão & Produção**. v. 10, p. 47-67, abr. 2003.

ZHOU, Zeng-Guang; TANG, P. Improving time series anomaly detection based on exponentially weighted moving average (ewma) of season-trend model residuals. **IGARSS**. Beijing, 2016.

Como Referenciar este Artigo, conforme ABNT:

SILVA, G. O; ROSA, L. C. Aplicação de Cartas de Controle MMEP Em Resíduos de um Modelo de Previsão de Pico de Demanda de Energia Elétrica. **Rev. FSA**, Teresina, v.15, n.5, art. 7, p. 130-146, set./out. 2018.

Contribuição dos Autores	G. O. Silva	L. C. Rosa
1) concepção e planejamento.	X	
2) análise e interpretação dos dados.	X	
3) elaboração do rascunho ou na revisão crítica do conteúdo.	X	X
4) participação na aprovação da versão final do manuscrito.	X	X