



University of
Texas Libraries



e-revist@s

Sumários.org



Centro Universitário Santo Agostinho

revista fsa

www4.fsnet.com.br/revista

Rev. FSA, Teresina, v. 17, n. 2, art. 9, p. 169-183, fev. 2020

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

http://dx.doi.org/10.12819/2020.17.2.9

DOAJ DIRECTORY OF
OPEN ACCESS
JOURNALS

WZB
Wissenschaftszentrum Berlin
für Sozialforschung



Previsão de Consumo de Energia Elétrica na Região Sudeste: Um Estudo de Caso Usando Sarima

Forecast of Electricity Consumption in the Southeast Region: A Case Study Using Sarima

Gabriel Stenghele

Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná

E-mail: gabrielstenghele@alunos.utfpr.edu.br

Flavia Sayuri Miura

Mestrado em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Graduação em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná

E-mail: sayuri_miura16@hotmail.com

José Airton Azevedo dos Santos

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina

Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná

E-mail: airton@utfpr.edu.br

Leandro Antonio Pasa

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

E-mail: pasa@utfpr.edu.br

Carla Adriana Pizarro Schmidt

Doutora em Agronomia pela Universidade Estadual de Londrina

Professora da Universidade Tecnológica Federal do Paraná

E-mail: carlaschmidt@utfpr.edu.br

Endereço: Gabriel Stenghele

Câmpus medianeira - Avenida Brasil, 4232 CEP 85884-000 - Caixa Postal 271 - Medianeira - PR - Brasil.

Endereço: Flavia Sayuri Miura

Câmpus medianeira - Avenida Brasil, 4232 CEP 85884-000 - Caixa Postal 271 - Medianeira - PR - Brasil.

Endereço: José Airton Azevedo dos Santos

Câmpus medianeira - Avenida Brasil, 4232 CEP 85884-000 - Caixa Postal 271 - Medianeira - PR - Brasil.

Endereço: Leandro Antonio Pasa

Câmpus medianeira - Avenida Brasil, 4232 CEP 85884-000 - Caixa Postal 271 - Medianeira - PR - Brasil.

Endereço: Carla Adriana Pizarro Schmidt

Câmpus medianeira - Avenida Brasil, 4232 CEP 85884-000 - Caixa Postal 271 - Medianeira - PR - Brasil.

Editor-Chefe: Dr. Tonny Kerley de Alencar Rodrigues

Artigo recebido em 17/10/2019. Última versão recebida em 04/11/2019. Aprovado em 05/11/2019.

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

O presente trabalho descreve e modela a série temporal de médias mensais do consumo de energia elétrica, da região sudeste do Brasil, utilizando modelos estocásticos do Grupo SARIMA (Autorregressivo Integrado de Média Móvel com a Característica Sazonal da Série). Foi utilizada uma série com consumo de energia elétrica mensal dos anos de 2004 a 2018. Como critério de escolha do modelo foi utilizada a raiz do erro quadrático médio, o erro médio absoluto, o critério Akaiake e o U-Theil. O modelo escolhido foi o SARIMA(1,1,1)(2,3,4). Os resultados obtidos, deste modelo, demonstram sua eficácia para um horizonte de curto prazo.

Palavras-chave: SARIMA. Consumo de Eletricidade. Previsão.

ABSTRACT

The present work describes and models the time series of monthly averages of electric power consumption, from the southeastern region of Brazil, using stochastic models of the SARIMA Group (Moving Average Integrated Autoregressive with the Seasonal Characteristic of the Series). A series with monthly electricity consumption from 2004 to 2018 was used. The criterion for choosing the model was the root mean square error, the absolute mean error, the Akaiake criterion and the U-Theil. The chosen model was the SARIMA (1,1,1) (2,3,4). The results obtained from this model demonstrate its effectiveness for a short term horizon.

Keywords: SARIMA. Electricity consumption. Prediction.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o consumo de energia elétrica tem um papel importante na produção de diversos setores da economia. A energia elétrica é primordial, tanto para o funcionamento de computadores quanto para transformação de matéria-prima em produtos acabados. É considerada como um dos indicadores do nível de qualidade de vida e do desenvolvimento econômico (KHEIRKHAH *et al.*, 2013).

As empresas brasileiras que produzem matérias-primas, nos setores petroquímicos, mineração, papel e celulose, metalúrgicos, siderúrgicos, entre outros, utilizam muita energia elétrica, podendo chegar, em alguns casos, até 30% do seu orçamento (JUNIOR, 2018).

A previsão do consumo de energia elétrica consiste em fator importante para tomada de decisão e orientações políticas futuras, por prever tendências, sazonalidades e ciclos futuros (JUNIOR, 2018). Um planejamento eficiente sobre o comportamento da demanda de energia elétrica é indispensável para as empresas do setor. Técnicas para identificação de modelos de previsão são utilizadas na análise de séries temporais. As séries temporais são um conjunto de observações de uma variável, ordenado segundo o parâmetro tempo, geralmente em intervalos equidistantes. Os dados coletados podem ser diários, semanais, mensais, etc (MORETTIN, 2008).

Segundo Bressan (2004), as técnicas de previsão auxiliam na tomada de decisões em atividades que precisam de planejamento e avaliação constante, além de propiciarem a redução de incerteza por parte dos elos envolvidos numa determinada área de interesse.

A previsão de carga dos sistemas de energia elétrica é uma tarefa fundamental na geração, transmissão e distribuição. Qualquer gargalo que ocorra na produção, transmissão ou distribuição de energia elétrica pode acarretar na diminuição da produtividade das empresas. Por isso, estudos atrelados à previsão do consumo de energia elétrica podem ajudar na produtividade das empresas e evitar perdas de produção e de transporte (OLIVEIRA, 2008).

Dentro deste contexto, este trabalho descreve e modela a série temporal de médias mensais do consumo de energia elétrica, da região sudeste do Brasil, utilizando modelos estocásticos do Grupo SARIMA (Autorregressivo Integrado de Média Móvel com a Característica Sazonal da Série).

Este trabalho está organizado da seguinte maneira. Na Seção 2 é descrita a metodologia empregada na previsão do consumo de energia elétrica da região sudeste. Na Seção 3 são apresentados os resultados obtidos da aplicação da metodologia em questão, por

meio do software GRETl, em observações mensais do consumo de energia elétrica da região sudeste. Comentários finais e conclusões finalizam o trabalho.

2 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste estudo pode ser classificada quanto ao tipo de pesquisa, a população amostra, a coleta e a análise dos dados. A classificação, quanto ao tipo de pesquisa, pode ser subdividida de acordo com a natureza, sendo esta aplicada, quanto aos objetivos sendo descritiva, quanto à forma de abordar o problema, pode ser considerada quantitativa, pois os dados obtidos no sistema real foram, em seguida, tratados estatisticamente.

Como estratégia de pesquisa, foi utilizado o estudo de caso que, conforme Yin (2013), é ideal em situações organizacionais reais em que o pesquisador não tem controle dos fenômenos.

2.1 OBJETO DE ESTUDO

Os dados utilizados, neste trabalho, foram obtidos do relatório mensal do consumo de energia, fornecido pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE.

A EPE é uma empresa pública, instituída nos termos da Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004, e do Decreto nº 5.184, de 16 de agosto de 2004. Sua finalidade é prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinados a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras. A Lei nº 10.847, em seu Art. 4º, inciso II, estabelece entre as competências da EPE a de elaborar e publicar o Balanço Energético Nacional – BEN (EPE, 2019).

2.2 O SOFTWARE UTILIZADO

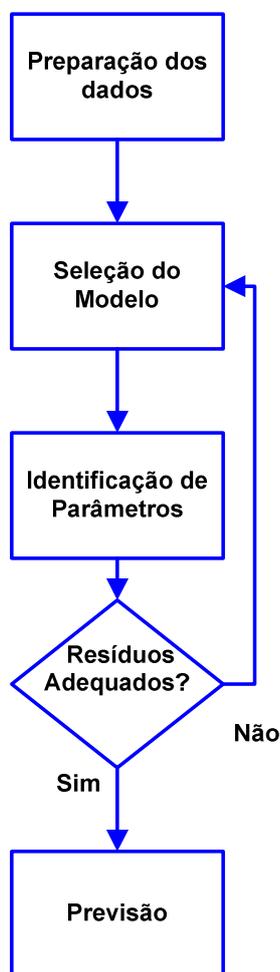
O GRETl é um pacote estatístico livre e multiplataforma desenvolvido, principalmente, para ser usado em pesquisas econométricas. Apresenta uma interface muito intuitiva e amigável e permite a aplicação de uma ampla gama de técnicas econométricas de forma muito simples. O programa é escrito na linguagem C e usa o Gnuplot para gerar gráficos.

2.3 A METODOLOGIA BOX-JENKINS

A metodologia Box-Jenkins é definida por três etapas iterativas: identificação do modelo, estimativa de parâmetros e diagnóstico (Figura 1). Esta metodologia inicia com a preparação dos dados, para os quais se realiza, se necessária, a diferenciação para estacionar a série. Na sequência, ocorre a seleção do modelo mediante a observação das funções de autocorrelação (FAC) e autocorrelação parcial (FACP) (BOX; JENKINS, 1976).

Com o modelo identificado, estimam-se os parâmetros. A verificação do modelo é o último passo. Nesta etapa realiza-se a análise dos resíduos.

Figura 1 – Metodologia Box-Jenkins



Fonte: Adaptado de WALTER *et al.* (2013).

2.4 O MODELO SARIMA

O modelo Autorregressivo Integrado de Média Móvel (ARIMA) é um modelo estatístico muito utilizado na análise de séries temporais. Foi proposto por Box e Jenkins na

década de 1970 e tem origem nos modelos autorregressivos (AR), médias móveis (MA) e de combinação de modelos AR e MA (ARMA). Além de incluir modelos não estacionários (ARIMA) e sazonais (SARIMA) (WALTER et al., 2013; MONTGOMERY et al., 2008).

O modelo SARIMA é definido como SARIMA(p,d,q)(P,D,Q), onde D é o termo de diferenciação sazonal do modelo. A definição do modelo é dada por:

$$\Phi(B)\Phi(B^s)\Delta^d\Delta_s^D X_t = \theta(B)\theta(B^s)\varepsilon_t \quad 1$$

Onde:

$\Phi(B) = 1 - \phi_1 B - \dots - \phi_p B^p$ é o operador autorregressivo estacionário de ordem p;

$\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q$ é o operador de médias móveis invertível de ordem q;

$\Phi(B^s) = 1 - \phi_1 B^s - \dots - \phi_p B^{sp}$ é o operador autorregressivo sazonal de ordem P, estacionário.

$\theta(B^s) = 1 - \theta_1 B^s - \dots - \theta_q B^{sq}$ é o operador de médias móveis sazonal de ordem Q, invertível;

$\Delta = (1 - B)$ é o operador diferença;

$\Delta^d = (1 - B)^d$, d indicando o número de diferenças;

$\Delta_s = (1 - B^s)$ é o operador diferença sazonal;

$\Delta_s^D = (1 - B^s)^D$, D indicando o número de diferenças sazonais;

ε_t representa o ruído branco com média zero.

2.5 MÉTRICAS

Existem vários indicadores de desempenho que são utilizados na avaliação da validade dos modelos de previsão e que são úteis também na comparação entre os modelos. Neste trabalho, os modelos devem ser avaliados pelos seguintes parâmetros:

Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE): Raiz do erro médio quadrático da diferença entre a predição e o valor real.

Erro Médio Absoluto (MAE): Como o RMSE, o MAE possui dimensão igual à dimensão dos valores observados e preditos. Seu valor representa o desvio médio entre observado e predito. Comparando o RMSE e o MAE, o primeiro dá um peso maior para desvios grandes (pois são elevados ao quadrado), enquanto o MAE dá um peso igual a todos os desvios.

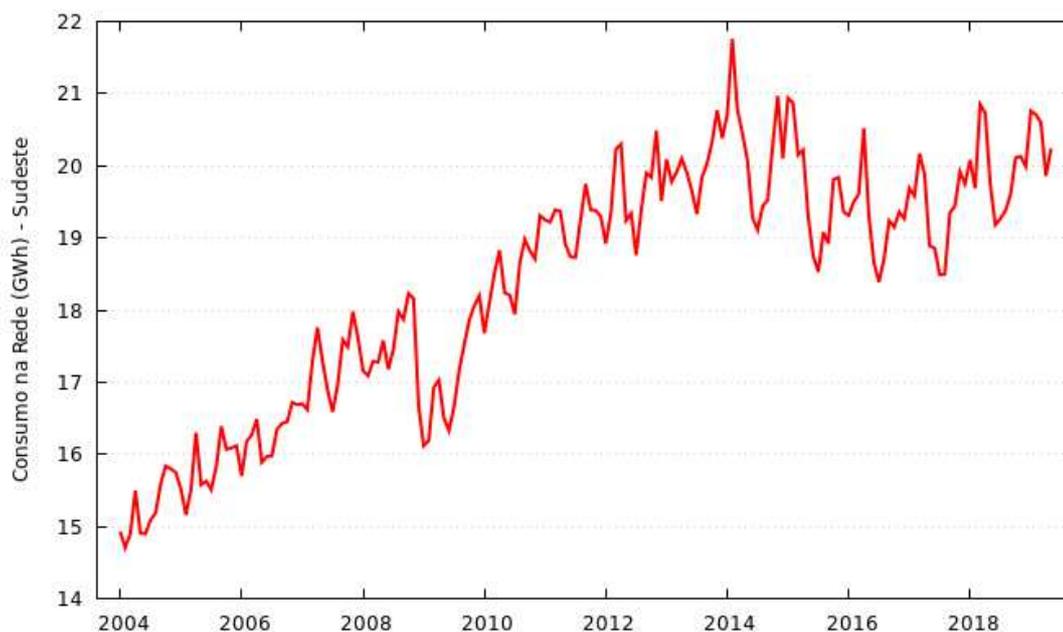
U de Theil: O coeficiente de U de Theil analisa a qualidade de uma previsão. O coeficiente menor que 1 indica uma previsão melhor do que a previsão ingênua. Quanto mais próximo ficar de zero, melhor será o resultado da previsão (SILVA, 2018).

Critério de informação de Akaike (AIC): Este critério dá uma pontuação para o modelo de acordo com a sua adequação aos dados e na ordem do modelo, sendo que quanto menor o valor do critério de informação, melhor é o modelo (POLLI; VIEIRA, 2015).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente, para identificação do modelo, construiu-se o gráfico da série (Figura 2). Na Tabela 1 apresenta-se uma avaliação descritiva dos dados da série. A série temporal utilizada na estimação do modelo é composta por 180 observações (Janeiro de 2004 a dezembro de 2018), possuindo um consumo médio estimado de 18,316 GWh.

Figura 2 – Série original - Consumo Região Sudeste



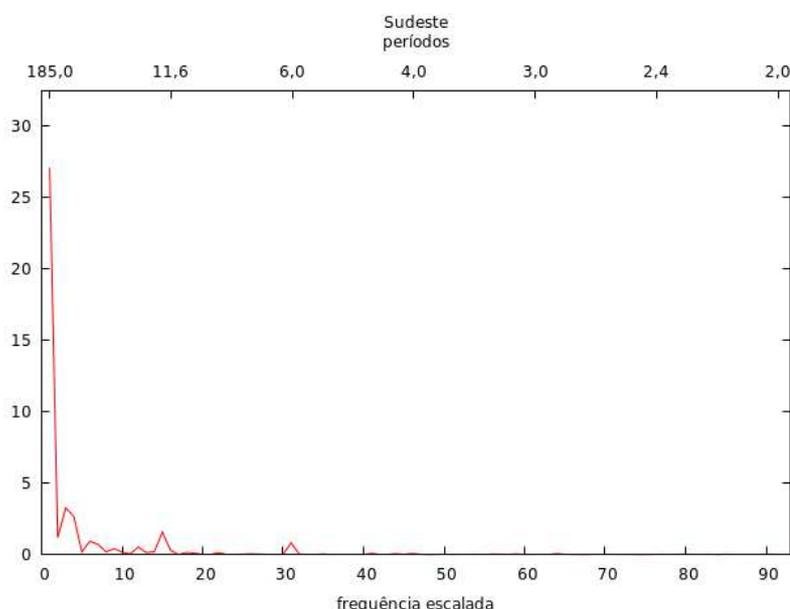
Fonte: Os autores.

Tabela 1 – Análise descritiva

Parâmetro analisado	Sudeste
Pontos	180
Média	18,316 GWh
Mediana	18,790 GWh
Mínimo	14,710 GWh
Máximo	20,970 GWh
1 Quartil (Q ¹)	15,501 GWh
3 Quartil (Q ³)	20,691 GWh
Desvio Padrão	1,677 GWh

Fonte: Os autores.

Para identificar a presença de componentes sazonais foi analisado o periodograma da série. Na Figura 3 pode-se observar que ocorreu um pico individualizado no periodograma, mostrando que existe na série um comportamento sazonal. Para modelar a sazonalidade, na série, foi aplicada nos dados a diferença sazonal, tornando-a suavizada. Após a suavização da série, com uma defasagem, iniciou-se a análise da estacionaridade.

Figura 3 – Periodograma dos dados da Região Sudeste

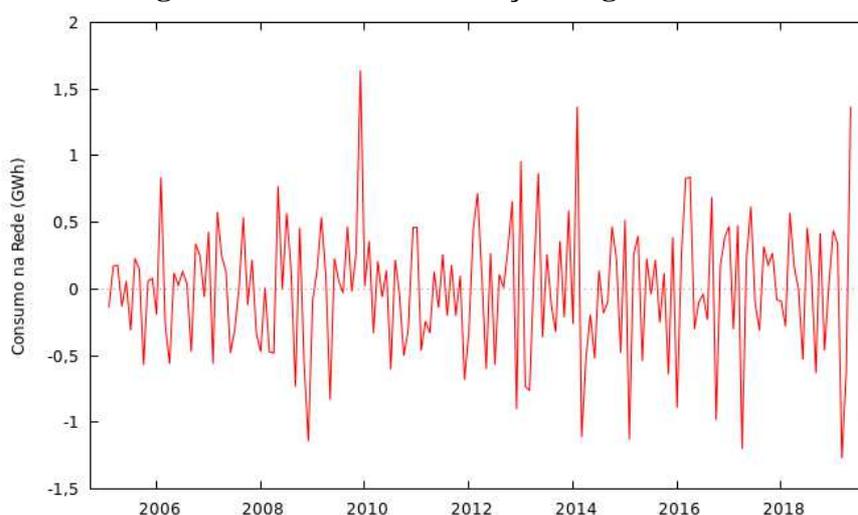
Fonte: Os autores.

A estacionariedade foi verificada pela análise da existência de raiz unitária na série. Ao aplicar o teste ADF (Aumentado de Dickey-Fuller), observou-se que a hipótese nula (H_0)

foi aceita, mostrando que a série possuía raiz unitária, sendo, portanto, não-estacionária. Isso ocorreu porque a série apresentou p-valores assintóticos (teste com constante = 0,779, teste sem constante = 0,382 e teste com constante e tendência = 0,8811) maiores que o nível de significância adotado (0,05).

Um caminho natural para tornar a série estacionária é a diferenciação, ou seja, transformar a variável em sua primeira diferença. Na Figura 4 apresenta-se o gráfico da primeira diferença da série do consumo de energia.

Figura 4 – Primeira diferença - Região Sudeste



Fonte: Os autores.

Foram testados, para o período de 01/2004 a 12/2018, vários modelos de acordo com a metodologia SARIMA. Na Tabela 2 apresentam-se os resultados obtidos de 4 destes modelos. As análises dos erros e o critério de Akaike permitem verificar que os melhores resultados foram obtidos pelo modelo SARIMA(1,1,1)(2,1,3). Observa-se, também, que o U de Theil foi menor do que 1, o que indica uma previsão melhor que a previsão ingênua.

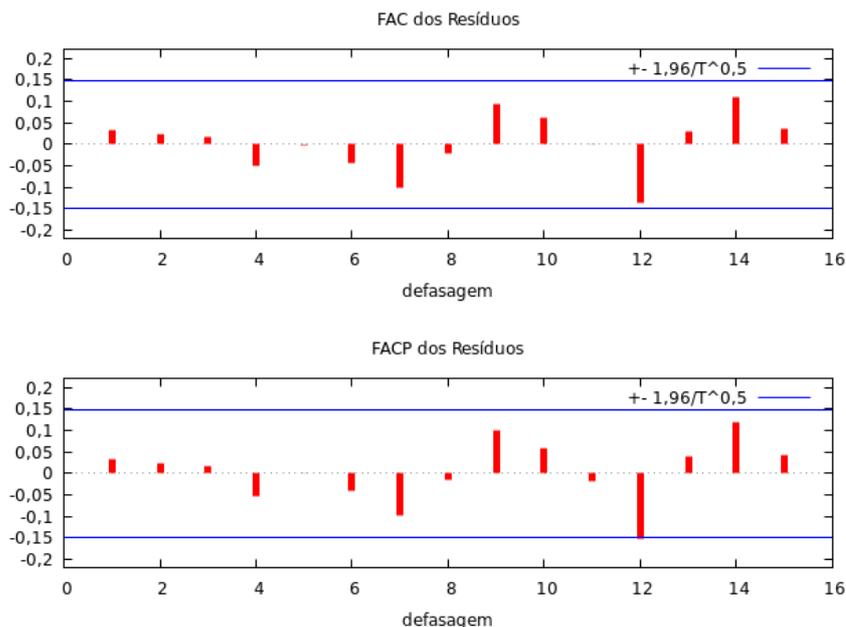
Tabela 2 – Resultados - Métricas

Modelo	MAE	RMSE	U de Theil	Akaike
SARIMA(1,1,1)(0,1,1)	0,278	0,354	0,769	162,47
SARIMA(1,1,1)(3,1,2)	0,270	0,346	0,746	160,24
SARIMA(1,1,1)(4,1,0)	0,280	0,359	0,776	162,87
SARIMA(1,1,1)(2,1,3)	0,238	0,304	0,662	157,73

Fonte: Os autores.

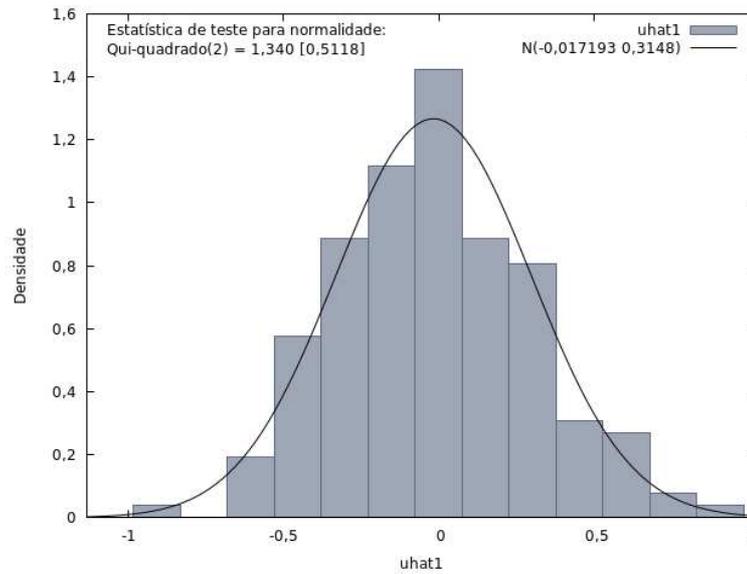
Na sequência, efetuou-se a análise dos resíduos para avaliar a adequação destes. Observa-se, da Figura 5, que os resíduos não são autocorrelacionados, pois os coeficientes de autocorrelação dos resíduos são estatisticamente iguais a zero, isto é, não ultrapassam os limites de confiança.

Figura 5 – FAC e FACP dos resíduos da série



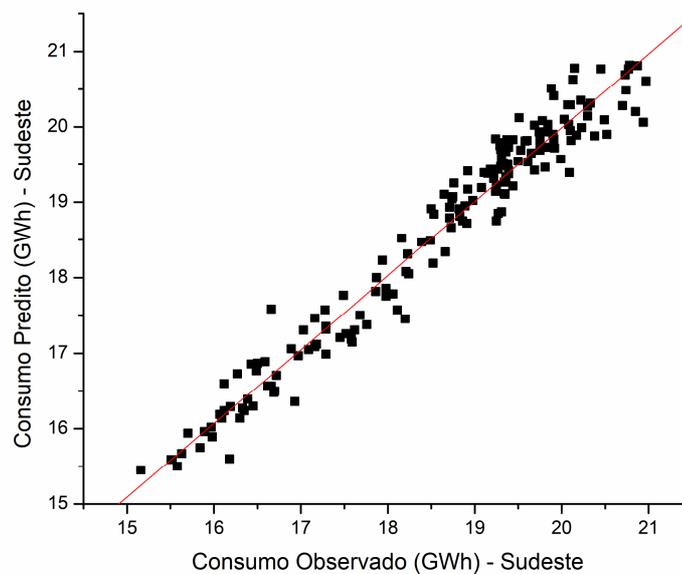
Fonte: Os autores.

Na Figura 6 apresenta-se o histograma dos resíduos. O GRETL exibe na parte superior esquerda, da Figura 6, o resultado do teste de normalidade. O p-valor entre os colchetes (0,5118), revela a não rejeição da hipótese nula de normalidade dos resíduos.

Figura 6 – Teste de normalidade

Fonte: Os autores.

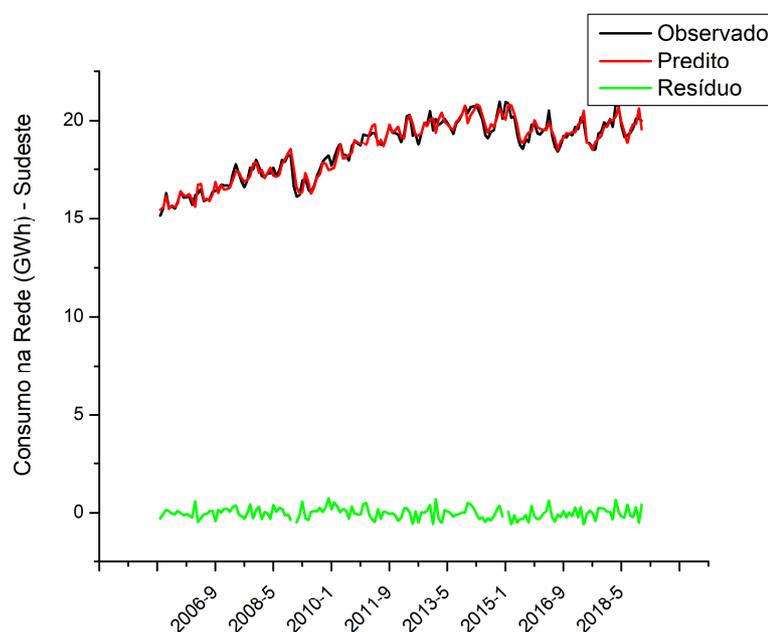
Depois da verificação dos resíduos avaliou-se, para o período de 01/2004 a 12/2018, a dispersão dos valores preditos pelo modelo em relação aos valores observados para a variável de resposta (Figura 7).

Figura 7 – Dados preditos em função dos dados observados

Fonte: Os autores.

Na Figura 8 apresentam-se as curvas dos valores preditos, observados e do resíduo.

Figura 8 – Séries: valores observados, preditos e resíduos



Fonte: Os autores.

Observa-se, para o consumo na rede da região sudeste, que os dados reais apresentam uma boa correlação com os dados preditos, já que a curva dos valores preditos tem um bom ajuste com a curva dos valores reais (Figura 8) Observa-se também, da Figura 7, que não existe dispersão, porque os pontos estão próximos à linha de ajuste.

3.1 PREVISÃO

Na Tabela 3 apresentam-se os dados observados, preditos, os resíduos e os limites dos intervalos de confiança para os meses de Janeiro, Fevereiro, Março, Abril e Maio de 2019.

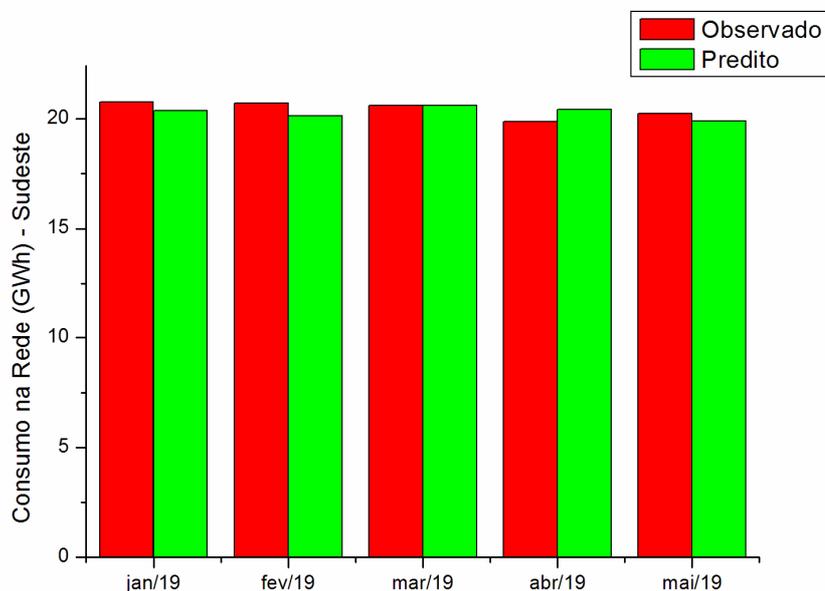
Tabela 3 – Resultados da previsão

Mês	Observado	Predito	Resíduo	Lim. Inferior	Lim. Superior
jan/19	20,76	20,37	0,331	19,72	21,02
fev/19	20,71	20,14	0,422	19,31	20,96
mar/19	20,6	20,6	0,475	19,67	21,53
abr/19	19,86	20,43	0,513	19,42	21,43
mai/19	20,24	19,9	0,543	18,84	20,97

Fonte: Os autores.

Na Figura 9 apresenta-se um gráfico de colunas com os dados observados e preditos.

Figura 9 – Consumo na Rede: Valores Observados e Preditos de 2019



Fonte: Os autores.

Pode-se notar, dos resultados apresentados na Tabela 2 e Figura 9, que os resultados reais e preditos estão muito próximos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo SARIMA pode ser considerado como uma alternativa à previsão de valores futuros de variáveis dispostas em séries temporais com sazonalidade. Este tipo de modelo, por meio de análise univariada, fundamenta-se na suposição de que a informação contida na variável é responsável por antever o comportamento futuro da série de dados.

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo estimar as previsões do consumo de energia elétrica na rede da região sudeste do Brasil. Buscou-se determinar o comportamento futuro a curto prazo como forma de observar o comportamento do consumo de energia elétrica a partir da dinâmica do passado.

Os modelos foram construídos baseados nos dados disponibilizados pela empresa de pesquisa energética (EPE). Observou-se que o modelo SARIMA(1,1,1)(2,1,3) foi o modelo que melhor se ajustou aos dados fornecido pela empresa, fornecendo melhor previsão para o consumo de energia elétrica da região sudeste do Brasil. A partir deste modelo, foram

estimados os valores referentes aos meses de Janeiro, Fevereiro, Março, Abril e Maio de 2019. Observa-se que os valores obtidos confirmam a tendência apresentada pelas variáveis reais.

Pode-se concluir que as previsões são de extrema importância para o conhecimento do comportamento futuro do consumo de energia elétrica na região sudeste, podendo auxiliar no planejamento de políticas públicas.

REFERÊNCIAS

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

BRESSAN, A. A. Tomada de decisão em futuros agropecuários com modelos de previsão de séries temporais. **RAE Eletrônica**. v. 3, n. 1, 2004.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Anuário estatístico de energia elétrica de 2018. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 30 abr. 2019.

JUNIOR, L. M. C.; MELQUIADES, T. F.; MARTINS, K. L. C.; JUNIOR, E. P. S. FREITAS, G. P. Previsão de consumo de eletricidade no nordeste brasileiro. **Engevista**, v. 20, n. 3, 2018.

KHEIRKHAH, A.; AZADEH, A.; SABERI, M.; AZARON, A.; SHAKOURI, H. Improved estimation of electricity demand function by using of artificial neural network, principal component analysis and data envelopment analysis. **Computers & Industrial Engineering**, v. 64, n. 1, 2013.

MONTGOMERY, D. C.; JENNINGS, C. L.; KULAHCI, M. **Introduction to time series analysis and forecasting**. New Jersey: John Wiley & Sons. Inc, 2008.

MORETTIN, P.A. **Econometria Financeira: Um curso em séries temporais financeiras**. São Paulo: Ed: Blucher, 2008.

OLIVEIRA, A. Novo modelo elétrico - papel ampliado para geração distribuída. *In Seminário INEE* - Instituto Nacional de Eficiência Energética, 2004.

POLLI, D. A.; VIEIRA, N. N. Modelagem estatística da série mensal de acidentes aéreos: um algoritmo automatizado para a seleção de modelos de previsão do número de ocorrências em curto prazo. **Revista Conexão Sipaer**, v. 6, n. 1, 2015.

SILVA, C. A. G. Previsão do preço da commodity café arábica: Uma aplicação da Metodologia Box-Jenkins. **Revista Espacios**, v. 39, n. 04, 2018.

WALTER, O. M. F. C., HENNING, E., MORO, G., SAMOHYL, R. W., Aplicação de um modelo SARIMA na previsão de vendas de motocicletas. **Exacta - EP**, v. 11, 2013.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

Como Referenciar este Artigo, conforme ABNT:

STENGHELE, G; MIURA, F. S; SANTOS, J. A. A; PASA, L. A; SCHMIDT, C. A. P. Previsão de Consumo de Energia Elétrica na Região Sudeste: Um Estudo de Caso Usando Sarima. **Rev. FSA**, Teresina, v.17, n. 2, art. 9, p. 169-183, fev. 2020.

Contribuição dos Autores	G. Stenghele	F. S. Miura	J. A. A. Santos	L. A. Pasa	C. A. P. Schmidt
1) concepção e planejamento.	X	X	X	X	X
2) análise e interpretação dos dados.	X	X	X	X	X
3) elaboração do rascunho ou na revisão crítica do conteúdo.	X	X	X	X	X
4) participação na aprovação da versão final do manuscrito.	X	X	X	X	X