

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**PREVISÃO DA DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA
UTILIZANDO LÓGICA FUZZY E FUNÇÃO DE
AUTOCORRELAÇÃO ESTENDIDA - UM ESTUDO DE
CASO APLICADO AO ESTADO DE RONDÔNIA.**

Paulo de Tarso Carvalho de Oliveira

DM: 18/2018

**UFPA/ITEC/PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém, PA, Brasil
2018**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

Paulo de Tarso Carvalho de Oliveira

**PREVISÃO DA DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO
LÓGICA FUZZY E FUNÇÃO DE AUTOCORRELAÇÃO ESTENDIDA -
UM ESTUDO DE CASO APLICADO AO ESTADO DE RONDÔNIA.**

Dissertação submetida à Banca
Examinadora do Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Elétrica
da UFPA para obtenção do Grau de
Mestre em Engenharia Elétrica
na Área de Concentração em
Sistemas de Energia Elétrica.

**UFPA/ITEC/PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém, PA, Brasil
2018**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- C331p Carvalho de Oliveira, Paulo de Tarso
PREVISÃO DA DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO LÓGICA FUZZY E FUNÇÃO
DE AUTOCORRELAÇÃO ESTENDIDA - UM ESTUDO DE CASO APLICADO AO ESTADO DE
RONDÔNIA. / Paulo de Tarso Carvalho de Oliveira. — 2018
117 f. : il. color
- Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE), Instituto de
Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Carlos Tavares da Costa Júnior
Coorientação: Profa. Dra. Valquíria Gusmão Macedo.
1. Demanda de Energia Elétrica. 2. Séries Temporais Fuzzy. 3. Função de Autocorrelação Estendida. 4.
Previsão de Energia Elétrica em curto Prazo.. I. da Costa Júnior, Carlos Tavares , *orient.* II. Título
-

CDD 621.3191

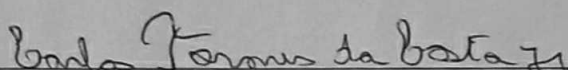
“SISTEMA FUZZY COM AUTOCORRELAÇÃO ESTENDIDA APLICADO À PREDIÇÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA”

AUTOR: PAULO DE TARSO CARVALHO DE OLIVEIRA

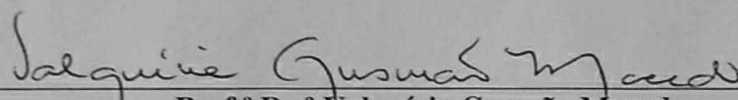
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA, SENDO JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA NA ÁREA DE SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA.

APROVADA EM: 12/04/2018

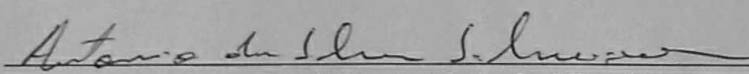
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Carlos tavares da Costa Júnior
(Orientador – PPGEE/UFPA)



Prof.ª Dr.ª Valquíria Gusmão Macedo
(Co-Orientadora – FEEB/UFPA)



Prof. Dr. Antônio da Silva Silveira
(Avaliador Interno – PPGEE/UFPA)



Prof. Dr. José Gracildo de Carvalho Júnior
(Avaliador Externo ao Programa – ICEN/UFPA)

VISTO:

Prof.ª Dr.ª Maria Emília de Lima Tostes
(Coordenadora do PPGEE/ITEC/UFPA)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Raymundo de Oliveira e Astrea Carvalho de Oliveira,
a minha esposa Andrea Cristianne Barros de Oliveira
e aos meus filhos Ana Paula Barros de Oliveira
e João Marcus Barros de Oliveira.

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho a uma vida de espera por este momento, a todos nessa vida que participaram de forma construtiva, moldando a realidade.

Em primeiro plano, dedico a Deus, Senhor da Vida e da Inteligência, provedor dos dons do Espírito Santo, para sermos guardiões da fé.

A minha família: minha esposa Andrea Cristianne, que lutou ao meu lado desde o início deste sonho e nunca me deixou cair; minha filha Ana Paula, que com seu carinho me deu mais um motivo para este objetivo; ao meu filho João Marcus, que sempre me viu como exemplo. São deles mais uma vitória que vivo.

Aos meus pais, Raynundo e Astrea pois deles vêm toda a sabedoria e dedicação para enfrentar a vida e seus degraus.

Ao Professor Carlos Tavares da Costa Júnior (UFPA), por ter aceitado me orientar, e também, por me auxiliar em vários momentos durante todo o curso de mestrado, pelo apoio, item fundamental para se ter sucesso.

A Professora Valquíria Gusmão Macedo (UFPA), nossa Co-Orientadora, que nossa Professora, que nos honra com sua participação.

Ao Antônio da Silva Silveira (UFPA) por prestar seus conhecimento de avaliação, que foi nosso professor e que nos honra igualmente, e também por me auxiliar em vários momentos durante o curso do mestrado, e pelo apoio, item fundamental para se ter sucesso.

Em especial ao Professor José Gracildo de Carvalho Júnior (UFPA), responsável pela fundamentação teórica e autor da tese que embasa este trabalho, e a todos os momentos que se demonstrou presente as nossas necessidades, exemplo de profissional competente.

A todos os meus amigos que fazem parte desta caminhada e com eles demos os passos para chegar até aqui.

Aos professores, pelos ensinamentos, aos parceiros profissionais e aos meus queridos alunos, os quais sempre me deram forças para prosseguir com este trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará, pela oportunidade de ter realizado este curso de Mestrado.

Ao Departamento de Acadêmico de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Rondônia, em nome do Professor Fabrício Morais de Almeida e todos os Professores e Técnicos pelo apoio irrestrito a este profissional.

A todos de forma direta ou indireta responsáveis por este produto de uma vida, a conclusão deste Mestrado.

“Navegar é preciso, viver não é
preciso.”

Luís de Camões.

RESUMO

PREVISÃO DA DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO LÓGICA FUZZY E FUNÇÃO DE AUTOCORRELAÇÃO ESTENDIDA - UM ESTUDO DE CASO APLICADO AO ESTADO DE RONDÔNIA.

AUTOR: PAULO DE TARSO CARVALHO DE OLIVEIRA

AUTOR: CARLOS TAVARES DA COSTA JÚNIOR

CO-ORIENTADORA: VALQUÍRIA GUSMÃO MACEDO

O estudo da previsão de demanda correlato a séries temporais de energia elétrica desenvolve um processo de otimização para o atendimento de energia elétrica, com o objetivo de aprimorar a rotina de previsão. No presente trabalho, é apresentada uma comparação de três modelos autorregressivos utilizados para a otimização mencionada, com o modelo de lógica *fuzzy*, dimensionado por meio da função de autocorrelação estendida. Os dados de consumo de energia elétrica apresentam uma estrutura de série temporal sazonal, suscitando um recorte histórico com as características de consumo de energia elétrica do Estado de Rondônia, e neste objeto foi implementada uma metodologia de previsão por meio de modelos já sedimentados e em comparativo a um novo modelo, apresentado em Métodos de Identificação *Fuzzy* Para Modelos Autorregressivos Sazonais Mediante a Função de Autocorrelação Estendida. Analisa-se, então, as performances dos modelos e aplicação para previsão de demanda de energia elétrica a curto prazo, 5 (cinco) dias úteis da semana, para fins de contratação de pacotes de energia elétrica junto as concessionárias distribuidoras de energia elétrica, obedecendo a legislação vigente sobre leilões e contratos de compra. No decorrer do trabalho, foram analisados os resultados de previsão de energia elétrica, pelos modelos apresentados, o modelo proposto em Sistema *Fuzzy* relacionado a Autocorrelação Estendida, sendo o mais satisfatório confirmado por erros de previsão em relação a demanda de energia elétrica para o Estado de Rondônia, e atendendo legislação sobre previsão e demanda de energia elétrica no Brasil.

Palavras-chave: Demanda de Energia Elétrica, Séries Temporais Fuzzy, Função de Autocorrelação Estendida, Previsão de Energia Elétrica em curto Prazo.

ABSTRACT

**FORECAST FOR ELECTRICITY DEMAND
USING FUZZY LOGIC AND EXTENDED
AUTOCORRELATION FUNCTION - A CASE
STUDY APPLIED TO THE STATE OF
RONDÔNIA.**

AUTHOR: PAULO DE TARSO CARVALHO DE OLIVEIRA
ADVISOR: CARLOS TAVARES DA COSTA JÚNIOR
COADVISOR: VALQUÍRIA GUSMÃO MACEDO

The study of demand forecast correlated to time series of electric energy develops an optimization process for the supply of electricity, with the objective of improving the forecasting routine. In this study, it is presented a comparison of three autoregressive models used for the mentioned optimization, with the *fuzzy* logic model, dimensioned through the extended autocorrelation function. The electric energy consumption data presents a seasonal time series structure, provoking a historical cut with the electric power consumption characteristics of the State of Rondônia, and in this object was implemented a methodology of prediction by means of already sedimented models and in comparison to a new model, presented in Fuzzy Identification Methods for Autoregressive Models Using the Extended Autocorrelation Function. The performance of the models and application for short-term electricity demand forecasting, 5 (five) business days of the week, was analyzed for the purpose of contracting electric energy packages with the electricity distribution concessionaires, in compliance with the legislation current agreement on auctions and purchase agreements. In the course of the work, we analyzed the results of electric energy prediction, by the models presented, the proposed model in *Fuzzy* System related to Extended Autocorrelation, being the most satisfactory one confirmed by errors of forecast in relation to the demand of electric power for the State of Rondônia, and complying with legislation on forecasting and demand of electric energy in Brazil.

Keywords: Electric Power Demand, Fuzzy Time Series, Extended Autocorrelation Function, Short Term Electrical Energy Prediction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	– Mapa da Rede Básica de Transmissão de Energia Elétrica do Brasil - 2016	27
Figura 3.2	– Mapa Geopolítico de Rondônia.....	29
Figura 3.3	– Localidades Atendidas por Usinas Térmicas no Estado de Rondônia para o Sistema Isolado - - Relatório de Gestão - 2016.....	30
Figura 3.4	– Organograma Institucional do Setor Elétrico	31
Figura 3.5	– Mapa da Rede de Transmissão do Estado de Rondônia ao Sistema Nacional Interligado - Relatório de Gestão 2016	32
Figura 3.6	– Número de Consumidores de Energia Requerida no Estado de Rondônia - Relatório de Gestão 2016	36
Figura 4.1	– Configuração Básica de um Systema Fuzzy	40
Figura 4.2	– Gráfico Representativo de uma União no Systema <i>Fuzzy</i> , aplicado ao intervalos de resultantes na fuzzyficação das séries temporais de energia elétrica do Estado de Rondônia.	42
Figura 4.3	– Gráfico Representativo de uma Interseção no Systema <i>Fuzzy</i> , aplicado ao intervalos de resultantes na fuzzyficação das séries temporais de Energia Elétrica do Estado de Rondônia.	43
Figura 4.4	– Gráfico Representativo de uma saída no Systema <i>Fuzzy</i> através mo método Centro Gravidade, aplicado ao intervalos de resultantes na fuzzyficação das séries temporais de Energia Elétrica do Estado de Rondônia.	45
Figura 5.1	– Banco de Dados com falhas, medidas em zero, de Energia Elétrica, por hora, medidos pelos alimentadores na Subestação Porto Velho da Potência Ativa Consumida em Mega Watt(MW) e a Corrente Elétrica Consumida em Amper (A), Outubro de 2016.	60
Figura 5.2	– Banco de Dados demonstrando a Carga Total do consumo, por hora, de Energia Elétrica do Estado de Rondônia, Demanda da Subestação Porto Velho - Informação da Potência Ativa Consumida em Mega Watt(MW) e a Corrente Elétrica Consumida em Amper (A), Outubro de 2016.	61
Figura 5.3	– Tela de Comando para a Análise das Séries Temporais relacionado aos Modelos Operacionais - GRETL.	63
Figura 5.4	– Tela de Comando Aplicado a Dimensão dos Especificação dos Modelos Operacionais - GRETL.....	64
Figura 5.5	– Tela dos Dados Gerais do Modelo Operacionais Dimensionado - GRETL.	64
Figura 5.6	– Representação de uma serie temporal com 5 dias úteis, relacionando Potencia Ativa em MW, eixo das ordenadas, com a referencia em dias, eixo das abcissas, com Relação da Validação do Modelo Operacional a Previsão dos 5 próximos dias (Área Sombreada), Outubro de 2016.	65
Figura 5.7	– Resultado Numérico da Relação da Validação do Modelo Operacional com a Previsão dos Dados Gerais do Modelo Dimensionado.	66
Figura 5.8	– Validação e Previsão dos Preditores da Série Temporal em Relação aos Modelos Operacionais.	67
Figura 5.9	– Representação das 7 Regras do Sistema <i>Fuzzy</i> que representam a serie temporal <i>fuzz</i> para os valores de energia elétrica de 5 dias úteis, e as referências da Função de pertinência das $\mu_A(x)$ no intervalo entre 0 e 1, e (x) os valores da Demanda em MW.....	69

Figura 5.10 – Relação entre a Série Temporal de Energia Elétrica da Demanda e sua Série Temporal Fuzzificada, para Validação do Modelo - Tabela A.1 em Anexo.	69
Figura 5.11 – Tela inicial do software R, Para Geração da Função de Autocorrelação Estendida, para o dimensionamento do modelo FSARIMA.	70
Figura 5.12 – Função de Autocorrelação Estendida Gerada a Partir do Software R , pacote TSA e comando (feac), para Dimensão de AR e MA do Modelo FSARIMA.	71
Figura 5.13 – Critério de Informação Bayesiano (BIC), com os coeficientes estimados que devem ser mantidos no modelo.	72
Figura 5.14 – Fluxograma para rotina de geração da série temporal FSARIMA, proposta neste trabalho para simulação de série temporal para previsão de demanda de energia elétrica em Rondônia - Outubro de 2016.	74
Figura 6.1 – Perfil da Demanda de Energia Elétrica em Rondônia, com relação da Potência consumida em Mega Watt (MW) e o Tempo em horas (h) - Mês de Outubro de 2016.	76
Figura 6.2 – Perfil da Demanda de Energia Elétrica em Rondônia - 1ª Semana do Mês de Outubro de 2016.	77
Figura 6.3 – Perfil da Demanda de Energia Elétrica em Rondônia - 2ª Semana do Mês de Outubro de 2016.	78
Figura 6.4 – Perfil da Demanda de Energia Elétrica em Rondônia - 3ª Semana do Mês de Outubro de 2016.	78
Figura 6.5 – Perfil da Demanda de Energia Elétrica em Rondônia - 4ª Semana do Mês de Outubro de 2016.	79
Figura 6.6 – Perfil da Demanda de Energia Elétrica em Rondônia - Sábados do Mês de Outubro de 2016.	80
Figura 6.7 – Perfil da Demanda de Energia Elétrica em Rondônia - Domingos do Mês de Outubro de 2016.	80
Figura 6.8 – Perfil da Demanda de Energia Elétrica em Rondônia - 1ª Semana ajustada do Mês de Outubro de 2016.	82
Figura 6.9 – Perfil da Demanda de Energia Elétrica em Rondônia - 2ª Semana ajustada do Mês de Outubro de 2016.	83
Figura 6.10 – Perfil da Demanda de Energia Elétrica em Rondônia - 3ª Semana ajustada do Mês de Outubro de 2016.	83
Figura 6.11 – Perfil da Demanda de Energia Elétrica em Rondônia - 4ª Semana ajustada do Mês de Outubro de 2016.	84
Figura 6.12 – Dimensionamento das ordens de P do AR e Q da MA através de Função de Autocorrelação Estendida, relacionado a série temporal da demanda energia elétrica de Rondônia.	85
Figura 6.13 – Gráfico comparativo entre os modelos em operação sobre as séries temporais da demanda de energia elétrica de Rondônia - 1ª semana do mês de Outubro de 2016.	86
Figura 6.14 – Gráfico comparativo entre os modelos em operação sobre as séries temporais da demanda de energia elétrica de Rondônia - 2ª semana do mês de Outubro de 2016.	87
Figura 6.15 – Gráfico comparativo entre os modelos em operação sobre as séries temporais da demanda de energia elétrica de Rondônia - 3ª semana do mês de Outubro de 2016.	88
Figura 6.16 – Gráfico comparativo entre os modelos em operação sobre as séries temporais da demanda de energia elétrica de Rondônia - 4ª semana do mês de Outubro de 2016.	89

Figura 6.17 – Relação do sinal real com a previsão demanda de energia elétrica com o modelo FSARIMA para a 2ª semana do mês de Outubro de 2016, com as faixas de probabilidade de 95%.	90
Figura 6.18 – Relação do sinal real com a previsão demanda de energia elétrica com o modelo FSARIMA para a 3ª semana do mês de Outubro de 2016, com as faixas de probabilidade de 95%.	91
Figura 6.19 – Relação do sinal real com a previsão demanda de energia elétrica com o modelo FSARIMA para a 4ª semana do mês de Outubro de 2016, com as faixas de probabilidade de 95%.	92
Figura 6.20 – Relação do sinal real com a previsão demanda de energia elétrica com o modelo ARMA para a 2ª semana do mês de Outubro de 2016, com as faixas de probabilidade de 95%.	93
Figura 6.21 – Relação do sinal real com a previsão demanda de energia elétrica com o modelo ARMA para a 3ª semana do mês de Outubro de 2016, com as faixas de probabilidade de 95%.	94
Figura 6.22 – Relação do sinal real com a previsão demanda de energia elétrica com o modelo ARMA para a 4ª semana do mês de Outubro de 2016, com as faixas de probabilidade de 95%.	95
Figura 6.23 – Relação do sinal real com a previsão demanda de energia elétrica com o modelo ARIMA para a 2ª semana do mês de Outubro de 2016, com as faixas de probabilidade de 95%.	96
Figura 6.24 – Relação do sinal real com a previsão demanda de energia elétrica com o modelo ARIMA para a 3ª semana do mês de Outubro de 2016, com as faixas de probabilidade de 95%.	97
Figura 6.25 – Relação do sinal real com a previsão demanda de energia elétrica com o modelo ARIMA para a 4ª semana do mês de Outubro de 2016, com as faixas de probabilidade de 95%.	97
Figura 6.26 – Relação do sinal real com a previsão demanda de energia elétrica com o modelo SARIMA para a 2ª semana do mês de Outubro de 2016, com as faixas de probabilidade de 95%.	98
Figura 6.27 – Relação do sinal real com a previsão demanda de energia elétrica com o modelo SARIMA para a 3ª semana do mês de Outubro de 2016, com as faixas de probabilidade de 95%.	99
Figura 6.28 – Relação do sinal real com a previsão demanda de energia elétrica com o modelo SARIMA para a 4ª semana do mês de Outubro de 2016, com as faixas de probabilidade de 95%.	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	– Energia Elétrica Requerida, em MWh, Consumo dos Maiores Municípios do Estado de Rondônia - Relatório de Gestão - 2016.	30
Tabela 3.2	– Energia Requerida Bruta, em MWh, do Estado de Rondônia - Relatório de Gestão 2016.	34
Tabela 3.3	– Energia Requerida Bruta por Geradora, em MWh, do Estado de Rondônia - Relatório de Gestão 2016.	35
Tabela 3.4	– Energia Requerida por Classe de Consumo em MWh do Estado de Rondônia - Relatório de Gestão 2016.	36
Tabela 3.5	– Contratos de Energia Elétrica Requerida do Estado de Rondônia, MWh, em participação de Leilões do MME, Relatório de Gestão 2016.	37
Tabela 4.1	– Tabela de uma Função de Autocorrelação Estendida simplificada, para dimensionamento do preditor de uma série temporal <i>fuzzy</i> de energia elétrica, aplicado a demanda no Estado de Rondônia.	57
Tabela 6.1	– Série temporal defuzzificada da demanda da Potência Elétrica de Rondônia - Mês de Outubro de 2016, as regras ativas, relações <i>fuzzy</i> lógicas simples.	85
Tabela 6.2	– Comparativo dos processos de erro relacionado resultados dos modelos operacionais da série temporal da demanda de energia elétrica de Rondônia em referência ao sinal real - 1ª semana do mês de Outubro de 2016.	86
Tabela 6.3	– Comparativo dos processos de erro relacionado resultados dos modelos operacionais da série temporal da demanda de energia elétrica de Rondônia em referência ao sinal real - 2ª semana do mês de Outubro de 2016.	87
Tabela 6.4	– Comparativo dos processos de erro relacionado resultados dos modelos operacionais da série temporal da demanda de energia elétrica de Rondônia em referência ao sinal real - 3ª semana do mês de Outubro de 2016.	88
Tabela 6.5	– Comparativo dos processos de erro relacionado resultados dos modelos operacionais da série temporal da demanda de energia elétrica de Rondônia em referência ao sinal real - 4ª semana do mês de Outubro de 2016.	89
Tabela 6.6	– Relação percentual de predição dos modelos operacionais com seus valores de pico com os valores de pico do sinal real em referência aos dias das semanas - Mês de Outubro de 2016.	101
Tabela A.1	– Valores em MW, da potência medida na demanda, a cada uma hora, a cada dia da semana para a 1ª semana do mês de Outubro de 2016.	106
Tabela A.2	– Valores em MW, da potência medida na demanda, a cada uma hora, a cada dia da semana para a 2ª semana do mês de Outubro de 2016.	107
Tabela A.3	– Valores em MW, da potência medida na demanda, a cada uma hora, a cada dia da semana para a 3ª semana do mês de Outubro de 2016.	108
Tabela A.4	– Valores em MW, da potência medida na demanda, a cada uma hora, a cada dia da semana para a 4ª semana do mês de Outubro de 2016.	109

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACR	Ambiente de Contratação Regulada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ARIMA	Alto Regressivo Integrado Média Móvel
ARMA	Alto Regressivo Média Móvel
ARIMA	Autorregressivo Integrado de Média Móvel
CCEAR	Contratos de Comercialização de Energia no Ambiente Regulado
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CEAM	Centrais Elétricas do Amazonas
CERON	Centrais Elétricas de Rondônia
CNAE	Conselho Nacional de Águas e Energia
CNAEE	Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FACE	Função de Auto Correlação Estendida
fdp	função densidade probabilidade
FSARIMA	Fuzzy Sazonal Alto Regressivo Integrado Média Móvel
MAPE	Média Percentual Absoluta do Erro
MASE	Erro Absoluto Médio Escalonado
MME	Ministério de Minas e Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema
PCH	Pequenas Centrais Hidrelétricas
PMO	Programa Mensal de Operação
SAALFT	Serviço de Abastecimento de Água Luz e Força do Território Federal de Rondônia
SARIMA	Sazonal Alto Regressivo Integrador Média Móvel
SIN	Sistema Interligado Nacional
va	Variável Aleatória
facv	função de autocovariância

LISTA DE SÍMBOLOS

T	Conjunto de um Processo Estocástico
σ	Desvio padrão
t	Elemento do Conjunto de um Processo Estocástico
d	Expoente que define o grau da componente integador
p	Expoente que define o grau da componente média móvel
p	Expoente que define o grau da componente auto regressiva
m	Número de Regras do conjunto <i>Fuzzy</i>
ω	Elemento do Espaço Probabilístico
$E\{Z(t)\}$	Esperança matemática
γ	função de autocovariancia
μ_t	função determinística periódica
$\mu_A(x)$	função de pertinência do conjunto Fuzzy
μ	função média ou média
Z	Processo Estocástico
W	Série Sazonal
B	Translação para o passado
U	Universo de discurso Fuzzy
$Z(t)$	Variável Aleatória
$\tilde{X}_i$	Variável aleatória independente e identicamente distribuida
Z_i	Variável linguística
$V(t)$	Variância
ϕ_i	Coefficiente da parte autorgressiva
θ_i	Coefficiente da parte média móvel
Φ_i	Coefficiente da parte autorgressiva Sazonal
Θ_i	Coefficiente da parte média móvel Sazonal
Z_{min}	Menor valor da série temporal
Z_{max}	Maior valor da série temporal

LISTA DE APÊNDICES E ANEXOS

Anexo A – Tabelas de dados de energia elétrica de Rondônia, por hora, em dias da semana, Outubro de 2016 - Relatório de dados Ceron2016	106
---	-----

SUMÁRIO

1 Introdução	18
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	18
1.2 MOTIVAÇÃO	18
1.3 OBJETIVOS	20
1.3.1 Objetivos Específicos	20
1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	20
2 Revisão Bibliográfica	22
2.1 DEMANDA E PREVISÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	22
2.2 DEMANDA E PREVISÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO MUNDO	23
2.3 DEMANDA E PREVISÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL	24
3 Perfil de Energia Elétrica em Rondônia	26
3.1 ESTRUTURA DO SISTEMA INTERLIGADO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL.	26
3.2 ESTRUTURA DO SISTEMA INTERLIGADO DE ENERGIA ELÉTRICA EM RONDÔNIA.	28
3.3 LEGISLAÇÃO E SETOR ELÉTRICO	29
3.4 A DISTRIBUIDORA DE ENERGIA ELÉTRICA EM RONDÔNIA	31
3.4.1 Perfil da Estrutura de Energia Requerida	33
3.4.2 Mercado por Segmento.	34
3.4.3 Segmento por Número de Consumidores	34
3.5 PLANEJAMENTO DE DEMANDA A CURTO PRAZO DE ENERGIA ELÉTRICA.	36
4 Fundamentação Teórica	39
4.1 LÓGICA FUZZY.	39
4.2 MODELOS APLICADOS A SÉRIES TEMPORAIS	46
4.2.1 Autorregressivo Integrado Média Móvel.	46
4.2.2 Autorregressivo Média Móvel.	49
4.2.3 Autorregressivo Integrado Média Móvel Sazonal.	50
4.2.4 Autorregressivo Integrado Média Móvel Sazonal <i>Fuzzy</i> .	54
4.3 FUNÇÃO DE AUTOCORRELAÇÃO ESTENDIDA.	55
5 Modelo de Previsão Aplicado à Demanda de Energia Elétrica	58
5.1 ANÁLISE E TRATAMENTO DE DADOS PARA PREDIÇÃO APLICADO A SISTEMA DE ENERGIA ELÉTRICA	59
5.2 SISTEMA <i>FUZZY</i> E FUNÇÃO DE AUTOCORRELAÇÃO ESTENDIDA APLICADO A SÉRIES TEMPORAIS.	66
6 Simulação e Análise do Processo: Resultados e Discussões	75
6.1 BASE DE DADOS DA ELETROBRAS DISTRIBUIDORA RONDÔNIA	75

6.2 DIMENSIONAMENTO DOS MODELOS	81
6.3 ANÁLISE COMPARATIVA DOS MODELO OPERACIONAIS.	84
6.4 MODELOS OPERACIONAIS APLICADOS A PREDIÇÃO DA DEMANDA	89
6.4.1 Modelo de Predição Fuzzy e Autorregressivos Sazonais e Autocorrelação Estendida (FSARIMA).	90
6.4.2 Modelo Autorregressivos Média Móvel (ARMA).	92
6.4.3 Modelo Autorregressivos Integrador Média Móvel (ARIMA)	95
6.4.4 Modelo Autorregressivos Integrador Média Móvel (SARIMA)	98
6.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES	100
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	103
7.1 CONCLUSÃO	103
7.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	104
ANEXOS	105
REFERÊNCIAS	110

1 Introdução

1.1 Contextualização

O sistema empresarial, na área de energia elétrica, apresenta em seu portfólio operacional a participação nos serviços do sistema elétrico de potência no Brasil, no tocante a geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, sendo um dos seus objetivos fornecer um produto de qualidade bem como o controle da demanda de energia elétrica fornecida a seus clientes e garantindo uma aproximação da real situação no consumo de energia elétrica. Com o propósito de melhorar este produto, seus indicadores operacionais estão voltados para a otimização deste sistema, pesquisa na área de demanda e predição apresentam um desenvolvimento seguro com o suporte na pesquisas de novas tecnologias. Este processo é voltado à área de planejamento operacional das empresas concessionárias de energia elétrica, trabalhando suas projeções para curto, médio e longo prazo, montando um programa de operação para previsão dos correntes dias futuros. Para previsões de curto prazo, este trabalho busca a diminuição do erro do planejado em relação a demanda realizada, buscando assim um processo satisfatório para um estudo de caso na distribuição de energia elétrica segundo as demandas contratadas.

Para os capítulos correntes, são apresentados em primeiro plano a motivação deste trabalho, objetivo, objetivos específicos, bem como descrição da organização desta dissertação.

1.2 Motivação

O planejamento institucional é o instrumento para controle de gestão que efetivamente conduz uma empresa ao processo de competitividade no mercado consumidor. Empresas que atuam na área de Energia Elétrica como a Eletrobras Distribuidora Rondônia possuem esta característica de planejamento em distribuição de energia elétrica, e a previsão para atendimento de uma demanda que atenda satisfatoriamente as necessidades dos consumidores, posicionando-se dentro dos padrões de segurança para se obter um perfil econômico dentro do esperado: quanto mais precisa é a previsão de demanda na distribuição de energia elétrica, mais eficiente será a provedora. O processo de previsão é vital ao planejamento da empresa provedora, para que mantenha seu status de qualidade dentro dos ditames legais, a fim de concorrer em um mercado competitivo e ao mesmo tempo não ser alvo de penalidades jurídicas. A previsão no consumo de energia elétrica atua em regime ao atendimento futuro próximo, ao atendimento a curto e longo prazo

deste mercado. Planejando seu crescimento estratégico, implementando melhorias e novas tecnologias em seu portfólio empresarial, apresenta uma otimização do sistema e a modicidade tarifária.

O presente trabalho consiste na implementação do modelo desenvolvido em Carvalho Jr. e Costa Jr., (2017), aplicado em processos sazonais séries temporais ou séries históricas de curto prazo de energia elétrica, cujo interesse de planejamento operacional visa o estudo da qualidade do serviço na Concessionária de Energia Elétrica do Estado de Rondônia. O plano aplicado de pacotes de energia elétrica adquiridos em leilões do Ministério de Minas e Energia é a base para uma otimização do erro em relação ao contratado de compra de energia elétrica nestes leilões e a demanda relacionada ao consumo de energia elétrica no Estado de Rondônia.

O sistema elétrico de potência brasileiro, referente a geração, transmissão e distribuição, trabalha sua melhoria de acordo com a necessidade de demanda e em faixas operacionais aplicadas às observações de tempo na contratação de uso ou serviço continuado, sendo essas faixas submetidas à legislação brasileira. Segundo os critérios e procedimentos da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), todas as empresas de distribuição de energia elétrica são obrigadas a fornecer o Programa Mensal de Operação (PMO) ao Operador Nacional de Energia Elétrica (ONS), com a revisão a cada sete dias. Em Rondônia, a Eletrobras Distribuidora Rondônia é a concessionária para o fim de distribuição do serviço de energia elétrica, sendo estabelecido pela ANEEL o erro máximo de previsão de 3%, e o não atendimento é passivo das penalidades contratuais, especificado no Decreto 5.163/2004 (BRASIL, 2004a).

Com a crise de energia elétrica de 2011, o Governo Federal implementa através de seus órgãos reguladores e de gestão a utilização de usinas termoeletricas para suprir necessidades energéticas, a fim de complementar a produção de energia elétrica, porém encarecendo o sistema elétrico de potência e tendo reflexo no consumo e nas tarifas de energia elétrica. Este impacto passa a ser controlado com o PMO, e através dele as empresas têm sua vigilância de forma mais efetiva suas contratações que são fundamentadas com base de estudos de suas séries históricas de energia elétrica e o perfil de seus consumidores, demonstrando-se, assim, seu caráter sazonal. As características de cada localidade influenciam nas decisões a serem tomadas na produção e previsão do consumo de energia elétrica, sendo de grande importância esta previsão para fomentar estudos sobre o tema. Cada proposta de pesquisa pode apresentar, com sucesso, uma solução de gestão empresarial, e assim sendo, corroborar a importância desta dissertação.

Com relação ao tema, predição de energia elétrica, diversos trabalhos apresentam modelos com tecnologias distintas, contendo o mesmo objetivo: buscar a melhoria na qualidade desta previsão, otimização para automatizar e dar suporte as decisões de planejamento estratégico para contratação e distribuição de energia elétrica. O estudo de caso exposto neste trabalho, sobre a previsão de energia elétrica, apresenta uma imple-

mentação de um novo modelo, a ser aplicado ao horizonte de curto prazo e com as seguintes propriedades: fundamentar a elaboração de previsões buscando a diminuição dos erros em relação a outros modelos existentes; dar suporte científico as decisões operacionais para contratação de energias elétrica para distribuição, e como resultados uma análise satisfatória aos processos internos de decisão, com reflexos na melhoria da qualidade do serviço prestado; contribuir para modicidade tarifária e atender a legislação vigente no tocante aos órgãos de controle de energia elétrica no Brasil.

1.3 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo a predição da demanda diária do consumo de energia elétrica em curto prazo, em um período de 5 (cinco) dias úteis, a fim de subsidiar o fornecimento de energia elétrica para o atendimento ao Estado de Rondônia. Para tanto, será realizado um estudo de caso para a previsão da demanda de energia elétrica no Estado de Rondônia.

1.3.1 Objetivos Específicos

- Revisar a teoria sobre Lógica *Fuzzy*, séries temporais *Fuzzy* e série temporal sazonal;
- Aplicar o algoritmo de identificação e previsão para series temporais *fuzzy* mediante a implementação da função de autocorrelação estendida à demanda de energia elétrica;
- Comparar o método de previsão proposto com outros modelos de demanda e previsão de energia elétrica, testados a partir de dados reais de uma série temporal do consumo de energia elétrica do Estado de Rondônia.

Neste contexto, deseja-se apresentar resultados que atendam as necessidades de gestão da Eletrobras Distribuição Rondônia, para suporte à construção do Planejamento Mensal de Operação (PMO) de acordo com a Operadora Nacional do Sistema.

1.4 Organização da Dissertação

A composição desta dissertação é apresentada de forma resumida neste item, mostrando uma visão geral de cada capítulo.

O capítulo 2, Revisão Bibliográfica, descreve os trabalhos, as linhas de pesquisa, os artigos, dissertações e teses que fundamentaram esta dissertação; em sequência, os

métodos não determinísticos e suas aplicações no tocante a demanda e previsão de energia elétrica, e a eficiência de modelos aplicados.

O capítulo 3 apresenta o perfil da energia elétrica em Rondônia. Em primeiro plano, o sistema elétrico brasileiro, com um breve histórico, e os setores que compõem esta estrutura; em seguida, as legislações e normas para previsão e demanda de energia elétrica. Em resumo, o histórico e perfil da produção e distribuição de energia elétrica no Estado de Rondônia

No capítulo 4, intitulado "Fundamentação Teórica", apresenta os conceitos fundamentais desta pesquisa, bem como a demanda e predição em energia elétrica referente ao Estado de Rondônia, a aplicação da Lógica *Fuzzy* como processo do conhecimento do especialista, os conceitos fundamentais de processos estocásticos, modelos de séries temporais como ARMA (Auto Regressivo de Médias Móveis), ARIMA (Auto Regressivo Integrador de Médias Móveis), SARIMA (Sazonal Auto Regressivo de Médias Móveis) e o modelo híbrido FSARIMA (*Fuzzy* Sazonal Auto Regressivo Integrador de Médias Móveis), sendo que neste modelo o processo de dimensionamento do componente autorregressivo de média móvel, parte ARMA, é feito pela função de Autocorrelação Estendida.

O capítulo 5, "Modelo de Previsão Aplicado à Demanda de Energia Elétrica", apresenta o modelo de identificação a partir da teoria de conjuntos *Fuzzy* aplicados sobre as séries temporais onde a determinação da ordem do modelo é obtida pela função de autocorrelação estendida, descrevendo como são aplicados às séries temporais: seu processo de identificação e aplicação do modelo.

No capítulo 6, "Simulação e Análise do Processo", são analisados os resultados no ano de 2016, efetuando-se comparações a outros modelos sedimentados no contexto científico em séries temporais de energia elétrica da Empresa Eletrobras distribuidora Rondônia, posicionados em um determinado período de tempo.

No capítulo 7 "Considerações Finais", é apresentada a conclusão do trabalho, qual seja o resultado do comparativo e o processo de validação com eficiência do modelo no comportamento das séries temporais de energia elétrica referente à predição de demanda para contratação.

2 Revisão Bibliográfica

O estudo sobre demanda e a predição de energia elétrica são fatores fundamentais para dimensionamento e operacionalização das empresas de energia elétrica. Sendo um processo de planejamento ser uma ferramenta estratégica, cujo objetivo é a eficiência para crescimento do setor elétrico, e fonte de decisão que apresentam constantemente inovações. Ademais, por ser um processo de relevância internacional, a fundamentação estratégica deste estudo apresenta uma gama de trabalho sobre predição de energia elétrica, com perfil em diversos ramos, porém tendo como base a otimização de infraestrutura para fornecimento e atendimento das demandas dos consumidores. No Brasil este processo também vem de encontro ao aperfeiçoamento das diretrizes de produção e distribuição de energia, visando uma melhor estratégia para os investimentos neste mercado.

2.1 Demanda e Previsão de Energia Elétrica

O processo de predição aplicado ao sistemas de energia elétrica tem como peça fundamental de planejamento ser uma ferramenta estratégica, cujo objetivo é a eficiência para crescimento do setor elétrico, e fonte de decisão buscando uma infraestrutura energética para atender as implementações do sistema de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, apresentando como resultado uma segurança para o serviço de atendimento a clientes e uma gestão mais eficiente que garanta a robustez deste atendimento. A abrangência deste processo é aplicado atualmente tanto para aquisição quando venda de pacotes de energia elétrica, como resultado de demanda. Outra aplicação, na qual se obtém resultados mais satisfatórios com relação à assertividades dos contratos, são as pesquisas, de relevante atuação nesta área. Segundo (GROSS; GALIANA, 2004) a previsão de energia elétrica para suprir a demanda é uma das principais funções de controle para sistema de energia elétrica, sendo o conhecimento futuro desta demanda um elo relevante para o Plano Mensal de Operação (PMO) apresentado a ANEEL pelos Distribuidores de Energia Elétrica. Para o sistema de tempo referente a predição da demanda de curto prazo, fatores como clima, temperatura, classe de consumidores e o processo de desenvolvimento urbano e rural, aspecto econômico, informações demográficas, influenciam diretamente na demanda de energia elétrica conforme (DANNI, 1987). Outro fator que influencia na previsão de demanda de energia, são os perfis dos dias da semana, como dias úteis, sábado e domingos e a influências dos feriados (CAMPOS, 2008). No caso dos feriados, observa-se sua influência na ocorrência anterior e posterior a outros dias da semana e com pouca relevância nos fins de semana, estas características definem de forma mais direta as possibilidades de um processo assertivo mediante as considerações da legislação brasileira.

As variáveis, importantes para a definição dos métodos a serem aplicados na pesquisa, utilizadas na maioria dos trabalhos são: temperatura, temperatura e umidade ou somente séries históricas com as observações dos dias da semana. Neste trabalho, consideram-se inclusas nas séries histórico temporais as variações que influenciam a demanda (OLIVEIRA et al., 2008). Para modelos de séries temporais de curto prazo, o sistema de suporte a decisão com predição opera somente com a série histórica de consumo (ROCHA et al., 2007).

2.2 Demanda e Previsão de Energia Elétrica no Mundo

Todas as empresas no mundo buscam operacionalização com os modelos de predição para a eficiência no consumo e predição de demanda de energia elétrica conforme (CAMPOS, 2008). Na região da Califórnia, EUA, o ARMA foi o modelo utilizado para o mercado local para predição de energia, para predição de energia, segundo as características locais de demanda apresentado por (NOWICKA-ZAGRAJEK; WERON, 2002). Na Turquia, o estudo do consumo de energia elétrica é baseado no valor bruta da demanda, sendo utilizado como metodologia para análise de séries temporais a Lógica *Fuzzy*, e tendo como fator fundamental. Produto Interno Bruto como variante aplicada a predição de energia elétrica conforme (KUCUKALI; BARIS, 2010). A Companhia de Energia da Índia também apresentou como processo de predição de energia elétrica, obtendo respostas satisfatórias, o modelo de da Lógica *Fuzzy* citado por (PANDIAN et al., 2006).

Do mesmo modo, uma implementação uma implementação em previsão a séries temporais de energia elétrica usando o modelo *Fuzzy* de Mamdani foi utilizado em uma abordagem comparativa para previsão de curto prazo em energia elétrica conforme (CAMPOS; JESUS; MENDES, 2007), e com resultados semelhantes de relação de erro, tanto para os dados na Índia quanto para Nova Iorque, sendo o processo satisfatório e dentro da faixa de operacionalização de 3%. Sobre a linha de pesquisa de demanda e predição (CHAVEZ; BERNAT; COALLA, 1999), utilizou-se um modelo ARIMA, para construir uma previsão que descrevesse o comportamento da produção e do consumo de energia na Astúrias, localizada ao norte da Espanha, estes dados incluem variações de tendência sazonal. De acordo com (HUAYLLAS; RAMOS, 2010), na América do Sul foi apresentado um estudo sobre séries temporais aplicando-se predição de demanda de energia elétrica, neste demonstrou-se de forma comparativa o perfil de classes residencial, industrial comercio e rural.

2.3 Demanda e Previsão de Energia Elétrica no Brasil

Métodos de identificação usados nos modelos de previsão *fuzzy*, como a demanda por energia elétrica residencial no Brasil de 1999 a 2006, foram aplicados para a estimativa das elasticidades de preço e renda em (GOMES, 2010). No Brasil, cada empresa de energia apresenta perfis de acordo com as regiões e subregiões de operação, e desta forma os PMO's das empresas não apresentam os mesmos resultados de demanda de energia, porque diferentes pesquisas são feitas de forma a identificar o melhor processo e resolver de forma não padronizada para cada região no Brasil. Os efeitos da regulação são que as empresas devem atuar com melhor planejamento empresarial de riscos, assim como assumi-los quando ocorrerem com um melhor planejamento empresarial (BARROS; MELLO; SOUZA, 2009). A preocupação com o meio ambiente é também influência para um processo de predição a fim de somente utilizar o necessário para contratação da demanda de energia elétrica, melhorando o controle das ativações de geradoras térmicas no setor de energia no Brasil (BRAGA et al., 2011). De igual modo, um modelo para gerenciamento de riscos em instituições não financeiras teve aplicação ao gerenciamento de riscos em instituições não financeiras, também teve aplicação ao setor de distribuição de energia elétrica no Brasil como mostrado em (PEROBELLI, 2004).

Para a Região Sul (FOGLIATTO et al., 2005) apresenta uma metodologia para previsão de demanda para energia elétrica nas conexões da rede de distribuição de concessionárias e sistemática de contratação de energia elétrica no mercado brasileiro, aumentando-se as possibilidades, implementada sobre um novo modelo; tal metodologia foi apresentada após um estudo de caso em uma distribuidora de energia elétrica da região Sul do país. Em (SOUZA, 2005) a revisão do consumo industrial de energia elétrica no Estado de Santa Catarina teve uma aplicação da combinação de previsões entre modelos univariados e de regressão dinâmica. Séries Temporais no Consumo de Energia Elétrica no Estado do Rio de Janeiro são apresentadas por (RODRIGUES; SILVA; LINDEN, 2007) define um modelo a ser aplicado como base a operação das séries temporais históricas como fonte de dados. É apresentado o estudo da demanda residencial de energia elétrica em Minas Gerais no período de 1970 a 2002 foi efetuado por (MATTOS et al., 2008).

Além disso, conforme apresentado por (SIQUEIRA; JÚNIOR; CASTELAR, 2006), a demanda de energia elétrica no Nordeste Brasileiro foi analisada e aplicado a longo prazo, porém é observado o fundamento que caracteriza a curto e médio prazo com outra tecnologia aplicado em Pernambuco, cidade de Recife por (DINIZ, 2011). A previsão da demanda por energia elétrica para classes de consumo na região Nordeste, usando OLS dinâmico e mudança a de regime (IRFFI et al., 2009). Destaca-se também, o "Modelo de Previsão *Fuzzy*: Uma Alternativa Metodológica para Sistemas Eletricamente Isolados na Amazônia"(LAGO NETO, 2011). Em (TIDRE; BIASE; SILVA, 2013) o autor utiliza o modelo SARIMA para previsão de consumo mensal de energia elétrica na Região Norte

do Brasil. Segundo os autores (TIDRE; BIASE; SILVA, 2013) para a Região Norte os efeitos de estudos também são de vital importância, devido a segunda maior geração de energia elétrica no Brasil. O estudo realizado por (LAGO NETO, 2011) utilizou o modelo autorregressivo sazonal integrável de média móvel, SARIMA, no qual se descreve a estrutura dinâmica da demanda de energia elétrica em relação ao consumo de óleo diesel, para um complexo de usinas termoeletricas no Estado do Amazonas, avaliando desta forma, o impacto do custo da aquisição de combustível, na receita operacional da concessionária Centrais Elétricas do Amazonas (CEAM) projetada para o período 2005 a 2008.

3 Perfil de Energia Elétrica em Rondônia

3.1 Estrutura do Sistema Interligado de Energia Elétrica no Brasil.

Para se compreender o sistema de fornecimento de energia elétrica no Brasil, é necessário discorrer sobre seu histórico de criação para então se analisar suas características atuais. Tudo se inicia no Brasil Imperial, Dom Pedro II implementa o serviço de eletricidade na iluminação pública inaugurada na Estação Central da Estrada de Ferro Dom Pedro II, atual Central do Brasil, e em 1881 na cidade do Rio de Janeiro, a primeira iluminação externa pública do país e dois anos depois entrou em operação a primeira usina hidrelétrica no Brasil. Dom Pedro II também foi responsável pela inauguração na cidade de Campos do primeiro serviço público municipal de iluminação pública da América do Sul; em Toroto, Canadá, é fundada a São Paulo Railway, Light and Power Empresa Cliente Ltd SP RAILWAY em 1899. Em 1934 o Presidente Getúlio Vargas promulga o Código de Águas, assegurando ao poder público o controle sobre as concessionárias de energia elétrica, e 5 anos depois é criado o Conselho Nacional de Águas e Energia (CNAE). Outra concessionária são criadas em todo Brasil. Prosseguindo, Juscelino Kubitschek cria o Ministério de Minas e Energia (MME) em 1960, sendo a Eletrobras criada um ano depois, com o intuito de coordenar o setor de energia elétrica brasileiro. O primeiro perfil de sistema interligado no Brasil é definido no final da década de 60, definindo-se o sistema elétrico em Norte/Nordeste, e Sul/Sudeste /Centro-Oeste, e com a adoção do plano nacional de unificação de frequência em 60 Hz, conforme recomendação do Conselho Nacional das Águas e Energia Elétrica (CNAEE).

Na década de 80 entram em operação as usinas hidrelétricas Sobradinho, Rio São Francisco e Tucuruí, rio Tocantis, é concluída a primeira parte do sistema de transmissão Norte-Nordeste, permitindo a transferência de energia da bacia amazônica para a região Nordeste, ; em seguida, entra em operação a Usina de Itaipu. Em 1985 é implantado o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), com o objetivo de incentivar a racionalização do uso da energia elétrica, bem como entrou em operação a Usina Termonuclear Angra I, primeira usina nuclear do Brasil. Na metade da década de 80 entra em operação o sistema de transmissão Sul-Sudeste, o mais extenso da América do Sul, transportando energia elétrica da Usina Hidrelétrica Itaipu até a região Sudeste. Finalmente, entra entra em operação a primeira etapa da Interligação Norte-Sul, iniciando o processo de integração elétrica do país.

O sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil é definido, então, como sendo um sistema hidro-termo-eólico, sendo em sua maioria usinas hidrelétricas. O Sistema Interligado Nacional é constituído por quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-

á se encaminhando para o local específico de análise por este trabalho, em 10 de dezembro de 2007, o consórcio Madeira Energia vence o leilão da usina hidrelétrica Santo Antônio promovido pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), publicada no Diário Oficial da União, em 8 de abril de 2008. O governo federal edita lei que amplia a atuação da Centrais Elétricas Brasileiras S.A.(Eletrobras), e no dia 30 de dezembro de 2009, o Decreto 7.058/2009 (BRASIL, 2009), ampliando o serviços de produção, transmissão e distribuição de energia para agentes privados.

3.2 Estrutura do Sistema Interligado de Energia Elétrica em Rondônia.

Historicamente, o Brasil foi um dos precursores na utilização da energia elétrica, e seu desenvolvimento ao longo dos anos tem como base as necessidades dos usuários a medida que novos produtos aparecem e uma nova indústria se instala, atingindo a todos os Estados no Brasil, e com isso, as organizações vão se modelando a nova operação e gestão. O desenvolvimento tecnológico, investimentos e em seguida a crise de 2001 formaram um novo sistema de energia elétrica no Brasil, baseado em gestão. Para o Estado de Rondônia o serviço acompanhou a nova estrutura organizacional, e as mudanças mais acentuadas foram a saída do sistema isolado para a rede nacional de energia elétrica, e o novo padrão de gestão referente as empresas de energia elétrica atuantes no Estado. Atualmente apresenta 52 municípios conforme a Figura 3.2.

Os municípios de maior consumo de energia elétrica, devido a sua produção econômico, são Porto Velho, Ji-Paraná, Ariquemes, Cacoal e Vilhena. Apesar do aspecto econômico predominante, conforme Tabela 3.1, com 62,5% de consumo de energia elétrica, estas cidades tiveram registro de decréscimo no consumo. Em segundo plano, as cidades de Jarú, Ouro Preto, Rolim de Moura, Presidente Médici, Guajará Mirim, dentre outras apresentadas no mapa geopolítico, registrou-se um aumento de 11,1%, distribuindo-se o consumo entre as grandes cidades e as de pequeno porte.

Em referência ao consumo de energia, todas as cidades representativas estão atendidas pelo SIN (Sistema Interligado Nacional), porém o Estado apresenta ainda municípios atendidos por sistema de geração de energia terceirizada, em locais de difícil acesso e de custo alto a interligação ao Sistema Interligado Nacional. Estas localidades estão representadas na Figura 3.3, constituindo-se uma distribuição em todo o estado de Rondônia, sendo as mesmas atendidas por Usinas Térmicas terceirizadas e PCH's próprias e terceirizadas.

Figura 3.2 – Mapa Geopolítico de Rondônia



Fonte: (MAPAS, 2017).

3.3 Legislação e Setor Elétrico

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), autarquia em regime especial vinculada ao Ministério de Minas e Energia, foi criada para regular o setor elétrico brasileiro, por meio da Lei 9.427/1996 (BRASIL, 1996b), com o objetivo de regulamentar as políticas e diretrizes do Governo Federal para a utilização e exploração dos serviços de energia elétrica, cabendo ainda à Agência definir padrões de qualidade do atendimento e de segurança compatíveis com as necessidades regionais, com foco na viabilidade técnica, econômica e ambiental das ações e, por meio desses esforços, promover o uso eficaz e eficiente de energia elétrica e proporcionar condições para a livre competição no mercado de energia Elétrica conforme Decreto 2.335/1997 (BRASIL, 1996a). Em 1997, com a promulgação da Lei 9.478/1997 (BRASIL, 1997), é criado Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), com a atribuição de formular e propor ao presidente da República as diretrizes da política energética nacional.

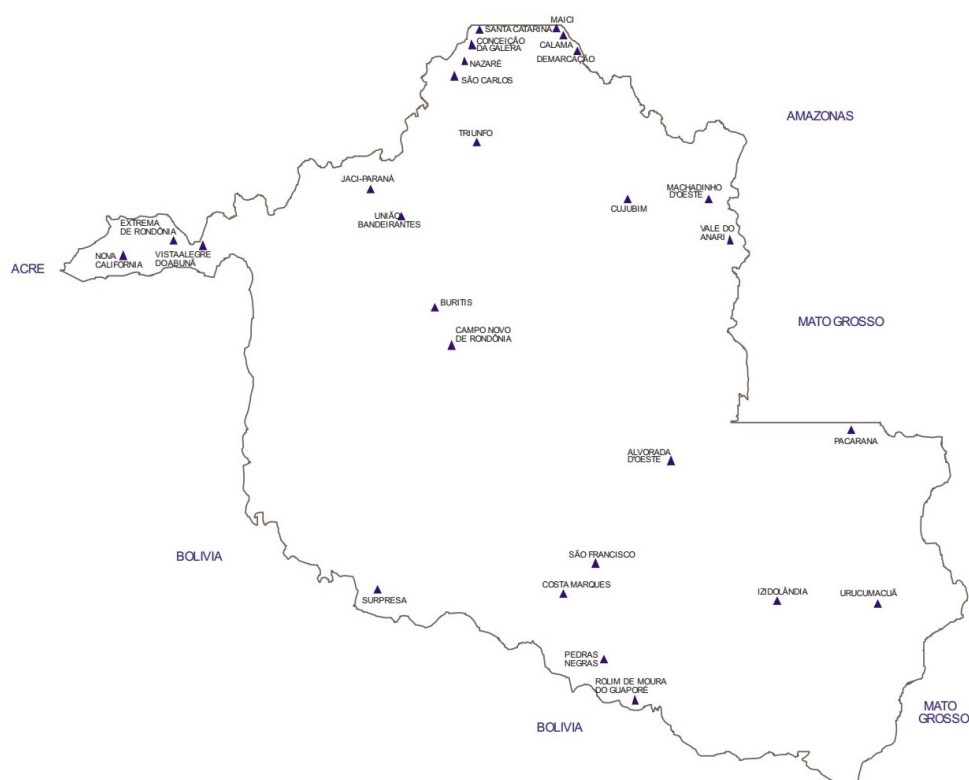
Em seguida, as Lei 10.847/2004 (BRASIL, 2004c) e Lei 10.848/2004 (BRASIL, 2004d), definem o novo modelo do Setor Elétrico Brasileiro: nova estrutura organizacional e novas regras de comercialização do serviço de energia aplicados a geração, transmissão e distribuição. A Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a qual foi regulamentada pelo

Tabela 3.1 – Energia Elétrica Requerida, em MWh, Consumo dos Maiores Municípios do Estado de Rondônia - Relatório de Gestão - 2016.

Municípios	2015	Part(%)	2014	Part(%)	Tx. Cresc.(%) 2015/2014	Tx. Cresc.(%) 2014/2013
Porto Velho	941.342	31,7	1.075.471	35,9	-12,5	4,1
Ji-Paraná	246.308	8,3	244.500	8,2	0,7	10,0
Ariquemes	190.827	6,4	226.656	7,6	-15,8	12,9
Vilhena	170.334	5,7	159.591	5,3	6,7	2,9
Cacoal	169.732	5,7	162.623	5,4	4,7	10,4
Subtotal	1.718.543	57,9	1.868.841	62,5	-8,0	6,2
Outros Municípios	1.248.137	42,1	1.123.214	37,5	11,1	5,7
Total	2.966.68	100,0	2.992.055	100,0	-0,8	6,0

Fonte: (CERON, 2016).

Figura 3.3 – Localidades Atendidas por Usinas Térmicas no Estado de Rondônia para o Sistema Isolado - - Relatório de Gestão - 2016



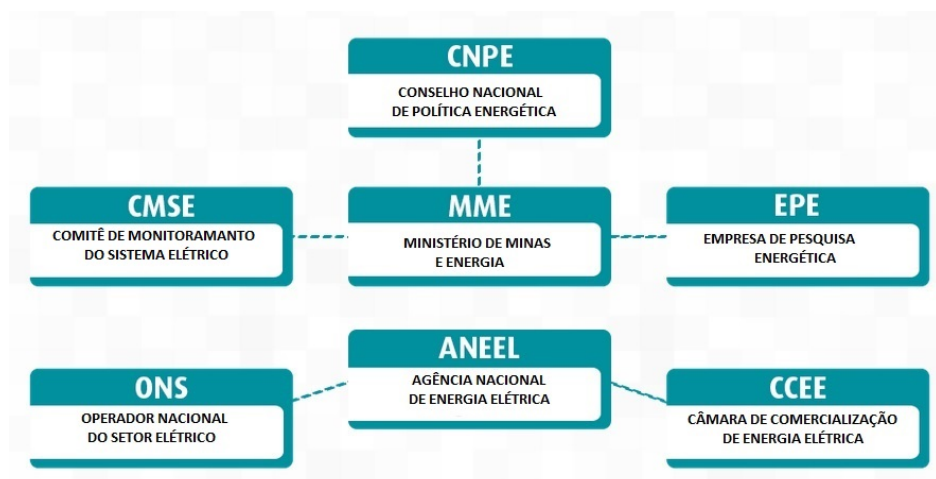
Fonte: (CERON, 2016).

Decreto 5.184/2004 (BRASIL, 2004b), com finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético e a responsabilidade de planejar e projetar a expansão dos sistemas de geração e transmissão, fundamentado

no planejamento de mercado definidos pelas distribuidoras. Dando prosseguimento, em ANO, foi regulamentada a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) pelo Decreto 8.401/2015 (BRASIL, 2015), com a responsabilidade de administrar o processo de comercialização e contratação de energia elétrica em todo o país, bem como promover debates e discussões visando, bem como promover debates e discussões visando a evolução do mercado, obedecendo os preceitos isonômicos transparência e confiabilidade. A CCEE reúne empresas de geração de serviço público, produtores independentes, auto-produtores, distribuidoras, comercializadoras, importadoras e exportadoras de energia, além de consumidores livres e especiais de todo o país. O Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE), por sua vez, regulamentado pelo Decreto 5.163/2004 (BRASIL, 2004a), é responsável por acompanhar e avaliar permanentemente a continuidade e a segurança do suprimento eletro-energético no Brasil.

O Governo Federal, dentro de suas atribuições, instituiu o atual modelo do Setor Elétrico Brasileiro, pela criação do Conselho Nacional de Política Energética(CNPE), o Operador Nacional do Sistema Elétrico(ONS), o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico(CMSE), a Empresa de Pesquisa Energética(EPE) e a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica(CCEE), definindo como agentes as empresas públicas e privadas relacionadas ao Setor de Energia Elétrica, a Figura 3.4 apresenta o Organograma do Setor Elétrico Brasileiro.

Figura 3.4 – Organograma Institucional do Setor Elétrico



Fonte: (BRASIL, 2017).

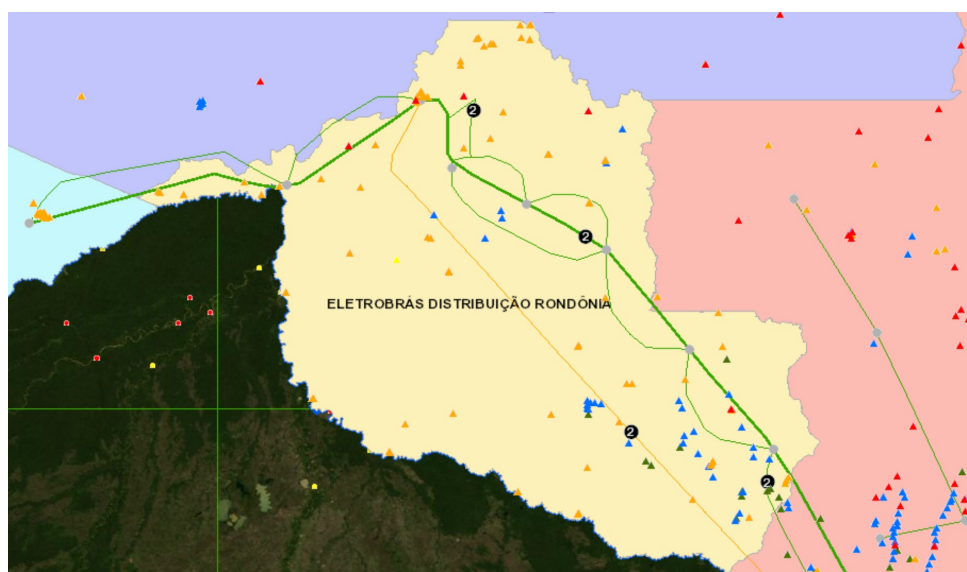
3.4 A Distribuidora de Energia Elétrica em Rondônia

Criada pelo Governo Federal por meio da Lei 5.523 , de 04 de novembro de 1968 (BRASIL, 1968), as Centrais Elétricas de Rondônia S.A., sob o controle das Centrais Elé-

tricas Brasileiras S.A. - Eletrobras, foi a responsável pela distribuição de energia elétrica no extinto Território Federal de Rondônia. Tal empresa sucedeu o antigo SAALFT (Serviço de Abastecimento de Água, Luz e Força do Território Federal de Rondônia, publicada no Diário Oficial em 24 de janeiro de 1969, sendo responsável pelos serviços de geração transmissão e distribuição de Energia Elétrica. Tal empresa sucedeu o antigo SAALFT (Serviço de Abastecimento de Água, Luz e Força do Território Federal de Rondônia. Com a Constituição Brasileira de 1988, o controle passa ao novo Estado de Rondônia e por meio da Lei Estadual 740, de 8 de outubro de 1997, o governo estadual transfere o controle acionário da CERON para a Eletrobras. Já em 1998, em seguida, a Eletrobras assume 99,96% do capital social e outros acionistas 0,04%, em seguida assina com o Ministério de Minas e Energia o Contrato de Concessão - ANEEL no. 005/2001, em 12 de fevereiro de 2001. O Primeiro Termo Aditivo do Contrato de Concessão, foi assinado em 11 de novembro de 2005, o Segundo em 08 de junho de 2010. Em 15 de outubro de 2013, pelo Decreto 7.805/2012 (BRASIL, 2012), que regulamenta a Medida Provisória nº 579, e em 11 de setembro de 2012 a empresa ratificou seu interesse em prorrogar o Contrato de Concessão nº 005/2001, e substitui o nome comercial de CERON para Eletrobras Distribuidora Rondônia Relatório de Gestão 2016 (CERON, 2016).

Ob a gestão do MME, a ANEEL, a ONS e os agentes envolvidos, Eletrobras, Eletro-norte, Jauru Transmissora, Eletrobras Distribuidora Rondônia, Eletroacre e Termonorte são interligados ao SIN, sendo analisado os impactos da interconexão entre Acre e Rondônia a partir de 2006. Os estudos definiram a representação mais adequada da topologia do sistema, conforme Figura 3.5, e a ONS assume a operação do sistema de Rondônia.

Figura 3.5 – Mapa da Rede de Transmissão do Estado de Rondônia ao Sistema Nacional Interligado - Relatório de Gestão 2016



Fonte: (CERON, 2016).

o sistema de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica do Estado de Rondônia é constituído por uma linha de transmissão em 230kV, oriundo do sistema hidrotérmico interligado das Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A (Eletronorte), tendo início na UHE Samuel, com um tronco no sentido norte atendendo Porto Velho e Rio Branco, além de atender 138kV Guajará-Mirim e municípios vizinhos. No sentido sul do estado, o atendimento aos polos de Ariquemes, Ji-Paraná, Pimenta Bueno e Vilhena, com derivação em 138kV; em direção à Ji-Paraná apresenta outro tronco e atendimento aos polos de Cacoal e Rolim de Moura.

Com a entrada em operação em outubro de 2009 dos dois circuitos da linha de transmissão em 230 kV Jauru (MT) - Vilhena (circuito duplo) com 354 km de extensão, os sistemas elétricos dos estados do Acre e Rondônia passaram a fazer parte do Sistema Interligado Nacional (SIN), como mostrado na Figura 3.5. A interligação elétrica, realizada após a emissão da Licença de Operação pelo Ibama em 23 de outubro 2009, foi a última etapa de um processo iniciado em 2006, com a realização pela ANEEL do leilão para a outorga da concessão para construção, operação e manutenção da linha de transmissão Jauru - Samuel, em 230 kV, com extensão total de 947 km, da Jauru Transmissora de Energia, ligando Mato Grosso a Rondônia, conforme Relatório de Gestão 2016 (CERON, 2016).

3.4.1 Perfil da Estrutura de Energia Requerida

O Estado de Rondônia apresenta um crescimento na demanda de energia elétrica a medida em que o próprio Estado se desenvolve, não havendo problema quanto à fonte de energia elétrica, devido às grandes obras sobre a geração, como Santo Antônio e Jirau, para a interligação ao Sistema Nacional de Energia. Nota-se o crescimento na performance do consumo de energia elétrica, o que norteia a tendência de qualquer demanda, sendo uma série temporal sazonal histórica que caracteriza a demanda de energia elétrica no Estado, conforme a Tabela 3.2, apresente elevação na demanda de energia elétrica no ano de 2013 para 2014 de 3,6%, e de 2014 para 2015 de 4,7% , estes dados são naturalmente incorporados ao estudo da demanda no processo de predição de consumo de energia elétrica.

A partir de 2015 a Eletrobras Distribuidora Rondônia, agora conectado ao Sistema Interligado Nacional (SIN), apresenta uma nova estrutura de Energia Elétrica Requerida, com 63,20% sendo a geradora o SIM, 8% de Energia Térmica local, 28,8% de Energia Elétrica tendo como fonte de geração hídrica, de grande porte Samuel; e composta de, própria com 0.3% e de particulares, as Pequenas Centrais hidrelétricas (PCH) de 28,5%, conforme Figura ???. Para manter a qualidade do atendimento do serviço no Estado de Rondônia, A Energia Requerida para atender ao sistema de distribuição da Empresa

Tabela 3.2 – Energia Requerida Bruta, em MWh, do Estado de Rondônia - Relatório de Gestão 2016.

	2015	Part(%)	2014	Part(%)	Tx. Cresc.(%) 2015/2014	Tx. Cresc.(%) 2014/2013
SIM	2.596.386	63,2	2.574.977	65,0	0,8	3,7
Geração Térmica	329.487	8,0	302.368	7,6	9,0	7,5
Geração Hídrica	1.181.637	28,8	1.086.473	27,4	8,8	6,4
Geração Próprio	10.828	0,3	8.850	0,2	22,3	-52,6
Outras						
PCH	1.170.810	28,5	1.077.623	27,2	8,6	7,5
Total	4.107.511	100,0	3.963.819	100,0	3,6	4,7

Fonte: (CERON, 2016).

distribuidora foi de 4.107.511 MWh, apresentando crescimento de 4,7% em relação ao exercício de 2014, esta interligação reduziu a geração própria em -52,6%, Relatório de Gestão 2016 (CERON, 2016).

As Pequenas Centrais Hidrelétricas e Geradoras Térmicas estão denominadas com o nome de sua respectiva localidade e proprietários, estando todos fornecendo energia elétrica de forma contratual ao Sistema da Distribuidora, a qual é responsável pela arrecadação do consumo e atendimento da demanda no Estado de Rondônia.

3.4.2 Mercado por Segmento.

O segmento de mercado consumidor de energia elétrica, no âmbito do Estado de Rondônia, apresentado na Tabela 3.3, possui predominantemente o consumo na área residência de 39,70% e comercial com 21,80%, as demais classes como a indústria com 14,50%, o setor rural apresenta 10,30%, sendo o Poder Público 7,50% e demais classes com 6,2%, baseado neste perfil. Observa-se um decréscimo de 18,5% na área industrial provocado pela situação econômica brasileira, e demais segmentos, principalmente o rural aumentou em 6,7%, aumentando ainda mais a característica agrícola do estado.

3.4.3 Segmento por Número de Consumidores

Para a referência do perfil número de consumidores por classe, a parcela residencial é de 71,84% e a rural de 20,28%; o comércio, com 6,65%, o Poder Público com 0,79%, a indústria com 0,33%, e outros com 0,11%, conforme Figura 3.6. Observa-se uma dependência operacional de um estado agrícola, com pouca influência industrial, mesmo com a capacidade de Geradores de Energia Elétrica instaladas no Estado de Rondônia podem

Tabela 3.3 – Energia Requerida Bruta por Geradora, em MWh, do Estado de Rondônia - Relatório de Gestão 2016.

Municípios	2015	2014	Tx. Cresc.(%) 2015/2014	Tx. Cresc.(%) 2014/2013
SIM	2.596.386	2.574.977	0,8	3,7
Térmica PIE Guasco	304.806	281.132	8,4	5,7
Térmica PIE Rovema	24.681	21.236	16,2	38,4
PCH Rio Vermelho (Própria)	10.828	8.850	22,3	-52,6
PCH Castaman	18.067	21.126	-1 4,5	-10,3
PCH Cassol (Sant. Luzia)	19.777	21.143	-1,8	-2,3
PCH Cabixi I	22.510	23.303	-3,4	15,8
PCH Cabixi II	16.413	18.069	-9,2	2,6
PCH Cachoeira	84.302	83.315	1,2	5,6
PCH Alta Floresta	29.437	32.750	-10,1	3,0
PCH Alto É	8.408	8.502	-1,1	-10,3
PCH Monte Belo	35.397	37.511	-5,6	12,7
PCH Rio Branco	46.194	51.029	-9,5	2,1
PCH Saldanha	36.450	41.748	-12,5	12,0
PCH Primavera	159.812	154.495	3,4	20,5
PCH Martinuv	10.003	9.986	0,2	1,7
PCH Cascata Chupinguaia	83.349	84.622	-1,5	7,8
UHE Rondon II	424.322	431.694	-1,7	1,9
PCH Ângelo Cassol	21.953	24.629	-10,9	1,4
PCH Marcol	14.607	15.156	-3,6	7,0
PCH Chupinguaia II	4.609	4.093	12,0	0,0
PCH Santa Cruz	48.955	13.366	0,0	0,0
PCH Jamari	55.933	2.085	0,0	0,0
PCH Canaã	23.278	0	0,0	0,0
PCH Cambará	7.034	0	0,0	0,0
Total	1.718.543	1.868.841	-8,0	6,2

Fonte: (CERON, 2016).

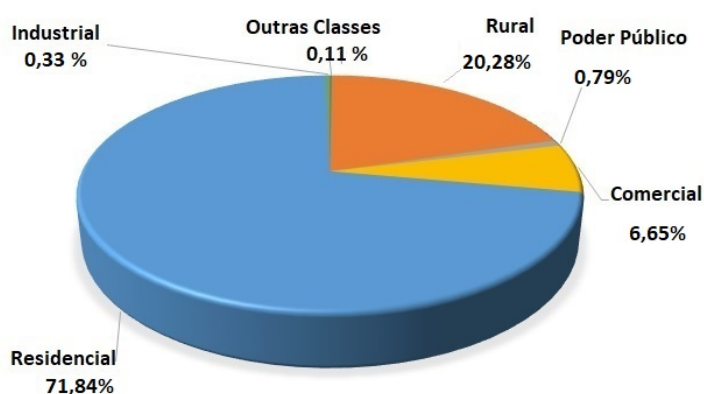
Tabela 3.4 – Energia Requerida por Classe de Consumo em MWh do Estado de Rondônia - Relatório de Gestão 2016.

Classe	2015	Part(%)	2014	Part(%)	Tx. Cresc.(%) 2015/2014	Tx. Cresc.(%) 2014/2013
Residencial	1.177.038	39,7	1.157.444	38,7	1,7	6,8
Comercial	645.799	21,8	632.376	21,1	2,1	5,7
Industrial	430.214	14,5	525.662	17,6	-18,2	5,1
Rural	304.871	10,3	285.676	9,5	6,7	8,1
Poder Público	223.951	7,5	208.490	7,0	7,4	4,7
Iluminação Público	130.506	4,4	129.892	4,3	0,5	5,9
Serviço Público	48.695	1,6	48.594	1,6	0,3	-1,4
Próprio	5.607	0,2	3.966	0,1	41,4	9,2
Total	2.966.680	100,0	2.992.055	100,0	-0,8	6,0

Fonte: (CERON, 2016).

com uma capacidade de geração para mudar este perfil. A análise anterior apresenta uma correlação clara com o perfil corrente, posto que, as duas áreas agrícola e residencial, influenciarão nos feriados e fins de semana, obtendo-se assim o mesmo critério para planejamento em previsão de demanda a curto prazo.

Figura 3.6 – Número de Consumidores de Energia Requerida no Estado de Rondônia - Relatório de Gestão 2016



Fonte: (CERON, 2016).

3.5 Planejamento de Demanda a Curto Prazo de Energia Elétrica.

Com a nova estrutura do Sistema Elétrico Brasileiro, as Empresas Distribuidoras adquirem energia elétrica através de Leilões de Energia Elétrica conforme as novas leis de Diretrizes sobre geração transmissão e distribuição de energia elétrica do Governo

Brasileiro. A Eletrobras Distribuidora Rondônia é participante destes leilões, e no ano de 2015, teve em seu planejamento de compra conforme a Tabela 3.5, os processos de participação. Para o planejamento da demanda estipulada no PMO, o qual deve ser apresentado ao Ministério de Minas e Energia, são criados novos procedimentos comerciais para aquisição de contratação e atendimento de serviço de distribuição de energia elétrica.

As concessionárias trabalham em planejamento de previsão de consumo de energia elétrica, sendo este apresentado mensalmente a ONS,(BRASIL, 2017) cujas informações dividem-se em dois grupos: a demanda planejada para curto e médio prazo e as que servirão de ajuste de dados de consumo de energia elétrica. A previsão de curto prazo é definida com sendo a antecedência do consumo de energia elétrica a previsão de no mínimo de uma hora antes até a dias posteriores.

Tabela 3.5 – Contratos de Energia Elétrica Requerida do Estado de Rondônia, MWh, em participação de Leilões do MME, Relatório de Gestão 2016.

Leilão	ANEEL Legislação Pertinente	Horizonte anos	MWh Comprado no Horizonte	MW Médio no Horizonte	Preço Médio R\$/MWh
7º A-3 2008 Dis15T	Edt.002/2008	15	757.175	5,76	128,42
2º P.E 2008-Jirau	Edt.002/2008	30	14.991.071	57,04	74,40
7º A-5 2008 Qtd30H	Edt.003/2008	30	1.297.190	4,93	98,98
7º A-5 2008 Dis15T	Edt.003/2008	15	16.100.842	122,47	145,23
15º A-5 2012 Qtd30H	Edt.540/2012	30	1.807.252	6,88	95,31
15º A-5 2012 Dis20T	Edt.540/2013	20	1.212.890	6,92	87,98
16º A-5 2013 QTD30	Edt.234/2013	30	3.595.375	13,68	124,45
16º A-5 2013 Dis25	Edt.234/2013	25	3.572.008	17,13	134,66
17º A-5 2013 Dis20E	Edt.226/2013	20	2.999.476	17,12	124,45
18º A-5 2013 Qtd30H	Edt.010/2013	30	5,785.710	22,02	134,14
18º A-5 2013 Dis25T	Edt.010/2013	25	770.550	3,52	133,99
18º A-5 2013 Dis20ES	Edt.010/2013	20	7.220.980	41,22	119,08
13º A-1 2014 Dis5T	Edt.005/2014	20	29.706	0,17	413,48
13º A-1 2014 Dis5H	Edt.005/2014	5	18.999	0,43	270,81
19º A-3 2014 Dis20T	Edt.034/2014	5	151.770	3,47	139,05
19º A-3 2014 Qtd30H	Edt.034/2014	30	444.330	1,69	121,00

Fonte: (CERON, 2016).

As previsões de energia elétrica em curto prazo têm como objetivo as contratações de energia através de leilões pelo CCEE; o processo de contratação deve levar em conta o mínimo de erro em relação a demanda contratada e o atendimento de 100% em relação aos usuários, conforme decreto 5.163/2004 (BRASIL, 2004a). A contratação de energia adquirida em leilões pelo Ministério de Minas e Energias são feitas no Ambiente de Contratação Regulada (ACR), na qual todos os agentes estabelecem os Contratos de Comercialização de Energia no Ambiente Regulado (CCEAR), os quais devem ser precedidos de licitação, ressalvados os casos previstos em lei, conforme regras e procedimentos

de comercialização específicos conforme a Lei 10.438/2002 (BRASIL, 2005).

As contratações são efetuadas na faixa de 100% a 103%, não sendo repassadas aos clientes as acima de 103% não podem ser repassadas o aumento de tarifa, e abaixo de 100% o custo da complemento é de responsabilidade da empresa distribuidora, não sendo repasse a tarifa, o valor integral do custo de compra da demanda contratada de energia elétrica torna-se um prejuízo que deve ser sanado conforme o Decreto 5.163/2004 (BRASIL, 2004a). Os estudos sobre previsão de demandas de energia elétrica apresentam modelos que possuem um grau assertivo satisfatório e que atendem as necessidades empresarias.

O estudo de um novo modelo aplicado às séries de energia para previsão em Rondônia é fonte deste trabalho, cuja perspectiva é de aplicação comercial que atenda os dispositivos definidos pelo Plano Mensal de Operação da Eletrobras Distribuidora- Rondônia e fiscalizado pela Operador Nacional do Sistema Elétrico. O Estado de Rondônia no seu perfil histórico de demanda será apresentado no capítulo 6 e os perfis apresentados neste capítulo são peças fundamentais para o trabalho de uma predição satisfatória com o modelo definido.

4 Fundamentação Teórica

O trabalho sobre análise de séries temporais com predição de sinal de energia elétrica tem sua aplicação na contratação de energia elétrica para distribuição pelas empresas concessionárias de energia elétrica. O processo de contratação é definido no Plano Mensal de Operação (PMO) de cada concessionária, e deve obedecer à legislação no contexto da faixa de contratação de energia elétrica de 100% a 103% da demanda conforme ONS/2017 (BRASIL, 2017). A lógica *fuzzy* representa esta condição de forma matemática e através de relação conhecimento profissional e modelo, as várias séries ao longo do tempo podem ter um sinal representante em séries temporais são representadas por modelos matemáticos utilizados na previsão de demanda em curto, médio e longo prazo. Neste trabalho os modelos apresentados para efeito comparativo são os Autorregressivos de Média Móvel (ARMA), o Autorregressivo Integrado de Média Móvel (ARIMA), o Sazonal Autorregressivo Integrado de Média Móvel (SARIMA) e, por fim, o modelo estudado, Fuzzy Sazonal Autorregressivo Integrado de Média Móvel (FSARIMA) definido por Função de Auto Correlação Estendida (FACE).

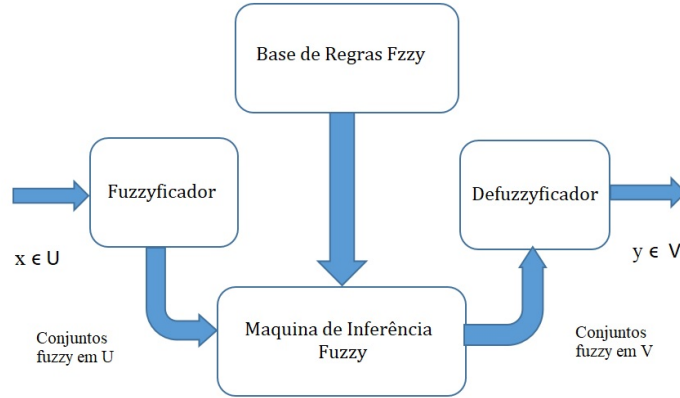
4.1 Lógica Fuzzy.

A Lógica Difusa ou Lógica *Fuzzy* é uma representação de um processo eurístico, na qual o conhecimento do especialista é utilizado para implementar melhorias e qualidade a um produto. A teoria de Conjuntos *Fuzzy* é definida como parte da fundamentação deste trabalho.

A Figura 4.1 apresenta o sistema *fuzzy* de Mandani, definido como um processo no qual um sinal real ou *crisp* de entrada pertencente a um universo de discurso U é fuzzyficado, ocorrendo quando o número *crisp* é classificado em uma regra *fuzzy* através de um valor da função de pertinência. Em seguida, uma máquina de inferência faz a análise das regras válidas no banco de regras *fuzzy*, gerenciando-as conforme o processo em andamento, gerando um sinal de saída *fuzzy*, o qual será defuzzyficado, apresentando, ao final, um valor *Crisp* na saída, conforme atesta (WANG, 1999). A Lógica *Fuzzy* aplicada a séries temporais e utilizadas como processo de predição através de algoritmos utilizando a função de autocorrelação estendida (Carvalho Jr.; Costa Jr., 2017).

A definição de conjuntos *fuzzy* é baseado em um dimensionamento do Universo de Discurso, definido por U , e sendo este um conjunto não vazio, um sub conjunto de U , que representa as regras a serem utilizadas é definido como A , uma função de pertinência μ_A , que representa um valor no intervalo de $U \rightarrow [0, 1]$, como demonstrado na Equação (4.1), onde x é o valor da variável a ser utilizado, e a representação matemática do conjunto $A = \{[x, \mu_A(x; x \in U)]\}$.

Figura 4.1 – Configuração Básica de um Systema Fuzzy



Fonte: Adaptado de (WANG, 1999).

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 < x \leq 1, \text{ se } x \in A; \\ 0, \text{ se } x \notin A. \end{cases} \quad (4.1)$$

O processo de fuzzyficação acontece quando uma variável de entrada x^* *Crisp* sendo classificado em um conjunto *fuzzy* A' , neste caso existe um valor de pertinência para x^* . Caso existam sinais de ruído de fundo ou erros, no processo de fuzzyficação estes sinais os quais são indesejáveis, devem estes ser suprimidos de forma eficiente no processo. A simplificação dos cálculos é um passo importante para que o esforço computacional seja o mais brando possível ao longo do processo *fuzzy*. O fuzzyficador tipo triângulo define a relação de entrada do número *Crisp* x^* mapeado no universo de discurso U e sendo definido em uma regra A' também relacionada a U , definindo uma função de pertinência conforme a Equação (4.2), onde b_i é definido como o parâmetro positivo no processo e " $\star$ " é o operador *t-norma*, sendo utilizado como produto algébrico ou mínimo (Carvalho Jr.; Costa Jr., 2017), sendo definido o número fuzzificado.

$$\mu_{A_i}(x) = \begin{cases} \left(1 - \frac{x_1 - x_1^*}{b_1}\right) \star \cdots \star \left(1 - \frac{x_n - x_n^*}{b_n}\right), & \text{se } |x_n - x_n^*| \leq b_i, i = 1; 2; \cdots, n. \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (4.2)$$

A descrição $\text{supp}A$ é definida como o suporte do subconjunto A , conforme definido pela Equação (4.3) sendo um conjunto clássico, e sendo o processo de definição A como um subconjunto de U , e é definido por uma função de pertinência $\mu_A(x)$ no domínio de U e como contradomínio do intervalo $[0, 1]$, conforme (WANG, 1999)

$$\text{supp}A = \{x \in U : \mu_A(x) > 0\} \quad (4.3)$$

Um conjunto *fuzzy* implementado sob uma restrição ou um limite estabelecido ao domínio, e considerando um valor α que é definido como um nível a ser aplicado as regras A do conjunto *fuzzy*, com $\alpha \in [0;1]$, então o conjunto clássico A pode ser representado por $[A]^\alpha = \{x \in U, \mu_A \geq \alpha\}$. Sendo $\alpha > 0$ e definindo $[A]^0$ como fecho do suporte A , ou seja $[A]^0 = \overline{\text{supp}A}$, (BITAR et al., 2009). O α nível, indica o mínimo valor da função de pertinência $\mu_A(x)$, e estes valores irão compor a saída do conjunto resultante *fuzzy*, conforme (CARVALHO JR., 2016).

Quando as condições de atendimento, $[A]^0 = 0$ para $0 \leq \alpha \leq 1$, $[A]^\alpha$ o qual é um intervalo fechado em $\mathbb{R}$ para $0 < \alpha \leq 1$ e o subconjunto *fuzzy* A ter um suporte limitado, o valor da função de pertinência $\mu_A(x)$ será definido como um número *fuzzy*. Uns dos procedimentos mais importantes para a lógica *fuzzy* são a determinação da função de pertinência, as escolhas dos modelos que representação as funções a serem representadas, conforme o especialista, uma função triangular, trapezoidal, gaussiana etc, conforme (ZADEH, 1965).

Para um modelo triangular isósceles como modelo para regra A , , definindo uma variável aleatória uma variável linguística Z_i sendo $i = 1, 2, \dots, n$, onde $(n \leq T)$ e $\mu_A(x)$ um número *fuzzy* que representa o conjunto *fuzzy* triangular representado ela variável linguística Z_i , conforme a Equação (4.4).

$$\mu_A(Z_i) = \begin{cases} 0, & \text{se } Z_i \leq a_j \\ \frac{Z_i - a_j}{b_j - a_j}, & \text{se } a_j < Z_i \leq b_j \\ \frac{c_j - Z_i}{c_j - b_j}, & \text{se } b_j < Z_i \leq c_j \\ 0, & \text{se } Z_i > c_j \end{cases} \quad (4.4)$$

Os parâmetros em sequência, a_j , b_j e c_j , representam valores escalares indicando a posição dos vértices do triângulo isósceles e do ponto médio (valor de pertinência máxima). conforme a relação de Z_i com as regras estabelecidas tem em seu resultado o valor da função $f(Z_i; a_j; b_j; c_j)$ definidas nas Equações (4.4) e (4.5), na qual os vértices do triângulo apresentam $a_j < b_j < c_j$ sendo b_j o pico do triângulo conforme descrito em (LAGO NETO, 2011) .

$$f(Z_i; a_j; b_j; c_j) = \max \left[\min \left(\frac{Z_i - a_j}{b_j - a_j}, \frac{c_j - Z_i}{c_j - b_j} \right), 0 \right] \quad (4.5)$$

As regras *fuzzy* que estão definidas como triangulares têm a anotação $A = (a_j; b_j; c_j)$, para a implementação do α -nível, (BITAR et al., 2009) apresentam as regras

conforme a Equação (4.6), na qual α pode ser definido como demonstrado na Equação (4.7), a forma representativa do intervalo probabilístico ou de α nível na Equação (4.8).

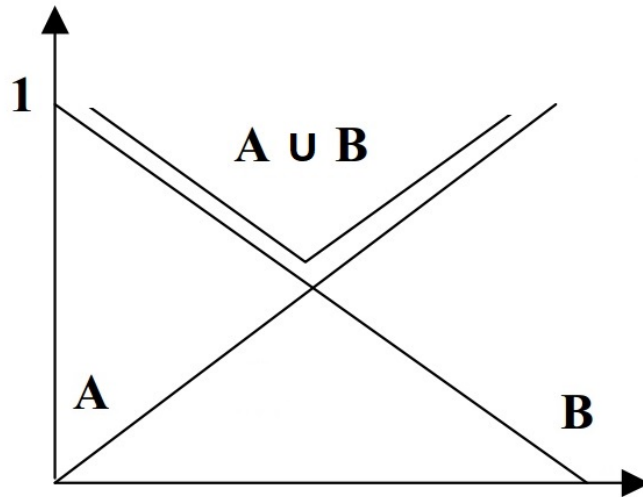
$$[A]^\alpha = [\alpha(b_j - a_j) + a_j; \alpha(b_j - c_j) + c_j] \quad (4.6)$$

$$\frac{[a_j]^\alpha - a_j}{b_j - a_j} = \alpha; \frac{c_j - [c_j]^\alpha}{c_j - b_j} = \alpha \quad (4.7)$$

$$[A]^\alpha = \{[a_j]^\alpha; [c_j]^\alpha\} = \{\alpha(b_j - a_j) + a_j; -\alpha(c_j - b_j) + c_j\} \quad (4.8)$$

A Lógica *Fuzzy* apresenta em sua álgebra conceitos como s-norma, que define as operação depara a união, e t-norma para operações de interseção, para a extensão do conjunto o operador complementar, conforme (WANG, 1999). A função de pertinência $\mu_A(x)$ e seu complemento é a função de pertinência $\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$, para a união de dois conjuntos do tipo A e B conforme a Figura 4.2 obtêm-se a seguinte Equação (4.9) e para a intersecção a Figura 4.3 esta relacionada a Equação (4.10).

Figura 4.2 – Gráfico Representativo de uma União no Systema *Fuzzy*, aplicado ao intervalos de resultantes na fuzzyficação das séries temporais de energia elétrica do Estado de Rondônia.

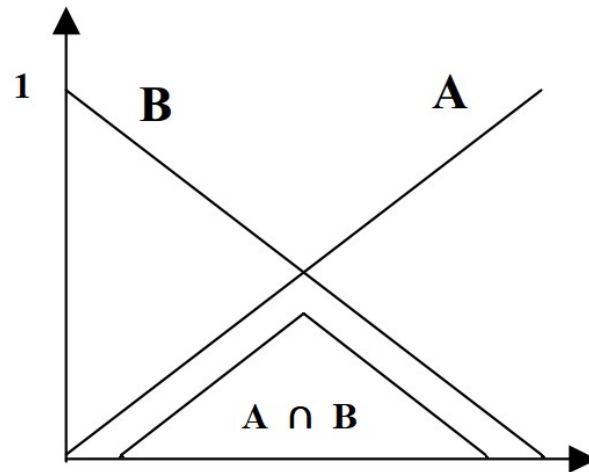


Fonte: Adaptado de (WANG, 1999).

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A(x); \mu_B(x)] \quad (4.9)$$

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min [\mu_A(x); \mu_B(x)] . \quad (4.10)$$

Figura 4.3 – Gráfico Representativo de uma Interseção no Systema *Fuzzy*, aplicado ao intervalos de resultantes na fuzzyficação das séries temporais de Energia Elétrica do Estado de Rondônia.



Fonte: Adaptado de (WANG, 1999).

Para cada regra A ou B , devem estar contidos valores que representam um conjunto, exemplo uma série temporal, de um universo de discurso U , relacionados a função de pertinência de cada regras, dos valores de conjunto X pertencentes a U , os valores de entrada do parte real é definida como número *Crísp*, ou conjunto *Crísp*, conforme na literatura clássica.

Os conjuntos que representam os valores de entrada são definidas em intervalos de números *Crísp*. A variável linguística representa estas faixas de valores, que são rotulados para cada conjunto *fuzzy*, definidos pelos especialista, e o valor da função de pertinência referente a cada Regra. A variável linguística tem por definição o (X, T, U, eM) na qual X representa um termo que caracteriza um fenômeno, conceito, etc..., T o quanto é intenso ou pequeno com relação aos valores que X pode assumir, U descreve o universo que se enquadra o conceito de X , com valores *Crísp* de forma quantitativa tendo um valor mínimo e outro máximo, e M representa a semântica para a categoria de T dando valores linguísticos, como por exemplo "muito rápido", "tensão baixa", "alta potência", relacionando X aos valores que assume em U , (WANG, 1999).

As regras A , B , etc, que definem a Lógica *Fuzzy*, são compostas por termos como "SE" parte condicionante a uma faixa em referência, como "muito baixo", "ângulo médio"; o termo "ENTÃO" representa o resultado do acontecimento definido, denominados de regras

fuzzy "se - então", conforme a Equação (4.11).

$$SE < \text{proposição fuzzy} > ENT\tilde{A}O < \text{proposição fuzzy} >. \quad (4.11)$$

O processo de defuzzificação é o mapeamento de um conjunto *fuzzy* B' sobre o universo de discurso de saída $V \subset R$ sendo a saída da máquina de inferência conforme a Figura 4.1, sendo que o valor de saída y^* é um número *Crisp*, e $y^* \in V$ como apresenta (WANG, 1999), sendo o processo utilizado como defuzzificador o Centro Médio ou centroide, conforme a Equação (4.12). O Defuzzificador Centro Gravidade possui os critérios de plausibilidade o ponto y^* pode representar o conjunto *fuzzy* B' do ponto de vista intuitivo, simplicidade computacional, por mais que seja um processo contínuo, a representação é discreta em computação, não havendo problemas em continuidade pois uma variação pequenas no conjunto *fuzzy* B não reflete em mudanças em y^* , abrange todos as regras *fuzzy* B , com chances baixas de erro no resultado de saída do sistema e a implementação computacional é facilitada devido à utilização de regras baseadas em triângulos como regras *fuzzy*; e muito comum sua aplicação em sistemas de controle e como contribuição neste trabalho a séries temporais de energia elétrica (CARVALHO JR., 2016). Segundo (WANG, 1999), sendo um processo computacional intuitivo e com uma entrada $y\mu_{B'}(y)$ como uma relação do valor máximo em $\mu_{B'}(y)$ sendo o valor da função de pertinência para a saída e como resultado o número *Crisp* y^* .

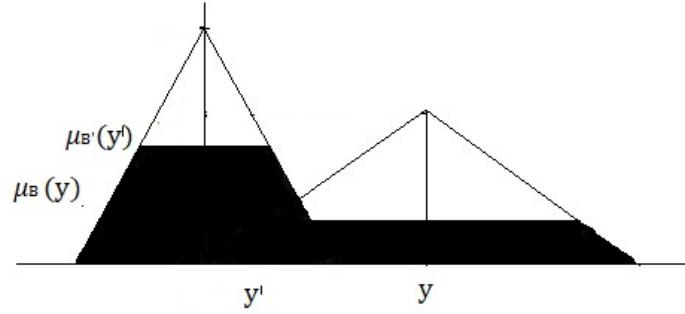
$$y^* = \int_v \frac{y\mu_{B'}(y)dy}{\mu_{B'}(y)dy} \quad (4.12)$$

A implementação do α como corte para as regras *fuzzy* B' é devido o cálculo na qual valores muito pequeno de $\mu_{B'}$ possam ser limitados, posto que os valores de $y \in V$ apresentam irrelevância para o cálculo de y^* , sendo definida como uma saída defuzzificada de centro de gravidade indexada por α conforme a Equação (4.13). Sendo que o universo de discurso indexado por α é dado por $V_\alpha = \{y \in V | \mu_{B'}(y) \geq \alpha\}$.

$$y^* = \frac{\int_{v_\alpha} y\mu_{B'}(y)dy}{\int_{v_\alpha} \mu_{B'}(y)dy} \quad (4.13)$$

Para todo sistema implementado há um processo, o ponto de segurança é fundamental, para este modelo de implementação há um processo, no qual o ponto de segurança é fundamental. Para este modelo de implementação, devemos estudar o intervalo de confiança *fuzzy*, Segundo (CARVALHO JR., 2016) as variáveis aleatórias independentes apresentam suas variações mediante um intervalo aleatório $[L(\mathbf{X}), U(\mathbf{X})]$, onde estas variáveis são identicamente distribuídas, sob intervalos onde $X_1, \dots, X_n$, e representado pelo vetor $\mathbf{X} = X_1, \dots, X_n$, $L(\mathbf{X}) \geq U(\mathbf{X})$ e deve satisfazer a igualdade conforme a

Figura 4.4 – Gráfico Representativo de uma saída no Systema *Fuzzy* através mo método Centro Gravidade, aplicado ao intervalos de resultantes na fuzzyficação das séries temporais de Energia Elétrica do Estado de Rondônia.



Fonte: Adaptado de (WANG, 1999).

Equação (4.14), e consonante a θ como intervalo de confiança, os valores estimados *fuzzy* são identicamente distribuídos a série real.

$$P_{\theta}\{L(\mathbf{X}) \geq \theta \geq U(\mathbf{X})\} = 1 - \alpha. \quad (4.14)$$

Baseado no intervalo de confiança do sistema, em que Z_{α} representa o valor do grau de confiança onde o intervalo será indexado, o nível de significância α delimita gerando um nível cortando os valores das funções de pertinência e os valores abaixo deste nível não são computados, sendo o intervalo $[L(\mathbf{x}), U(\mathbf{x})]$, o intervalo de confiança para a variável $\theta = 1 - \alpha$, onde os valores observados é definido por $\mathbf{x}=(x_i)$, pertencente a variável aleatória $\tilde{X}_i$ onde $i = 1, 2, \dots, n$, e são variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas e com *fuzzy* $\tilde{\theta}$. A definição dos valores observados $[\tilde{x}_i]_h^L$ e $[\tilde{x}_i]_h^U$, no qual $h \in [0; 1]$, por definição são sendo valores observados onde $[\tilde{X}_i]_h^L \equiv \tilde{X}_{ih}^L$ e $[\tilde{X}_i]_h^U \equiv \tilde{X}_{ih}^U$ $i = 1, 2, \dots, n$, e são variáveis independentes e identicamente distribuídas conforme apresentado em (CARVALHO JR., 2016).

As Equações (4.15) e (4.16) representam o intervalos de confiança aproximados a (I.C) do modelo *fuzzy*, sendo os elementos $s_{hL} = \frac{s_{hu}}{\tilde{x}_h^L}$, que representam o desvio padrão para valores dos vértices do triângulo, e as termos $\tilde{x}_h^L$ e $\tilde{x}_h^U$, são definidos como a média entre os valores da base inferior e superior do triângulos A , que define as regras do sistema *fuzzy*, com relação ao nível de significância $\alpha = 0,05$ e $Z_{\alpha} = 1,96$ para um intervalo de

confiança de 95%, valores implementados em (CARVALHO JR., 2016).

$$I.C \left(\mu_h^L; 95\% \right) = \left[\bar{x}_h^L - Z_{\alpha} \cdot \left(\frac{s_{hL}}{\sqrt{n}} \right); \bar{x}_h^L + Z_{\alpha} \cdot \left(\frac{s_{hL}}{\sqrt{n}} \right) \right] \equiv \left[L \left(\mathbf{x}_h^L \right); U \left(\mathbf{x}_h^L \right) \right]. \quad (4.15)$$

$$I.C \left(\mu_h^U; 95\% \right) = \left[\bar{x}_h^U - Z_{\alpha} \cdot \left(\frac{s_{hU}}{\sqrt{n}} \right); \bar{x}_h^U + Z_{\alpha} \cdot \left(\frac{s_{hU}}{\sqrt{n}} \right) \right] \equiv \left[L \left(\mathbf{x}_h^U \right); U \left(\mathbf{x}_h^U \right) \right]. \quad (4.16)$$

4.2 Modelos Aplicados a Séries Temporais

4.2.1 Autorregressivo Integrado Média Móvel.

No modelo ARIMA (p, d, q) , p é o termo que define a ordem de componente autorregressivo; d é o termo que define a ordem do número de diferenciações na série temporal original; e q define a ordem do componente de média móvel, que é bastante utilizado em modelos paramétricos ou com modelagem aplicada a séries temporais não estacionárias, na qual a implementação pode ser ajustada para modelos onde suprimido o componente integrador d , há um ajuste deste modelo para o modelo ARMA(auto regressivo de média móvel), buscando o princípio da parcimônia (CARVALHO JR., 2016). Esta abordagem foi desenvolvida e aplicada pela primeira vez por Box e Jenkins (YATES; GOODMAN, 2016).

Com base na estrutura dos dados são dimensionados os modelos a serem utilizados, tendo sua fundamentação nos ciclos iterativos. A estrutura matemática será de acordo como definido em (MORETTIN; TOLOI, 2006), na qual a translação para o passado é definido por B , onde a Equação (4.17) representa um estado de regressão e a Equação (4.19) um estado m de regressões, sendo $m = 1, 2, 3, \dots$, e a definição do operador de referência é definido na Equação (4.21).

$$BZ_t = Z_{t-1} \quad (4.17)$$

$$B^m Z_t = Z_{t-m} \quad (4.18)$$

O operador Δ é definido como o deslocamento para o passado $(1 - B)$.

$$\Delta Z_t = Z_t - Z_{t-1} = (1 - B)Z_t \quad (4.19)$$

Sendo :

$$\Delta = (1 - B) \quad (4.20)$$

O operador soma é denotado por S e definido na Equação (4.21)

$$SZ_t = \sum_{j=0}^{\infty} Z_{t-j} = Z_t + Z_t + \dots = (1 - B + B^2 + \dots)Z_t \quad (4.21)$$

Onde S é definido aplicando-se a Equação (4.20) na Equação (4.21), obtêm-se:

$$S = \Delta^{-1} \quad (4.22)$$

A Equação (4.23) representa o modelo ARIMA , porém quando W_t estiver na condição de estacionário e seu componente integrador d for igual a zero; uma nova configuração é definida pelo modelo ARMA(p,q) conforme a Equação (4.24).

$$W_t = \Delta^d Z_t \quad (4.23)$$

$$\phi(B)W_t = \theta(B)a_t \quad (4.24)$$

Para definirmos um sinal Z_t ser um modelo autorregressivo integrador de média móvel, o modelo W_t deve ser uma diferença de Z_t , onde é definido na Equação (4.25).

$$\phi(B)\Delta^d Z_t = \theta(B)a_t \quad (4.25)$$

A ordem do modelo é definido por p grau do componente autorregressivo, d grau do componente integrador e q o grau do componente de média móvel representado por ARIMA(p,d,q), conforme a Equação (4.26), relacionada com a Equação (4.34).

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p) = e_i - b_1 e_{i-1} - \dots - b_q e_{i-q} \quad (4.26)$$

Introduzindo-se o operador de translação definido por B , e delta sendo a variação do sinal Z_i em diferença com o antecessor Z_{i-1} , sob estas condições é definido, sob estas condições, no modelo como um integrador, visto na Equação (4.34).

$$\Delta = (1 - B) \quad (4.27)$$

Diferenciam-se as séries d vezes, como mostra a Equação (4.28). Em na Equação (4.29), seus coeficientes apresentam as mesmas dimensão do operador representado por d .

$$W_t^d = \Delta^d Z_t \quad (4.28)$$

No procedimento para se definir o modelo ARIMA (p, d, q) conforme equação (4.29), por verossimilhança, são utilizados valores iniciais para os W_t 's e para os coeficientes, a_t 's, apresentando dois procedimentos, um condicional supostos valores conhecidos, outro incondicional que são valores iniciais estimados - ou seja usando procedimentos de saídas com escolhas aleatórias, (HAMILTON, 1994).

$$\begin{aligned} (1 - \phi_1 B - \dots - \phi_p B^p) (1 - B)^d Z_t = \\ (1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q) a_t \end{aligned} \quad (4.29)$$

Na previsão com o modelo ARIMA (p, d, q) , como interpretação matemática aplicada, teremos sua implementação no processo de previsão ou predição e diagnósticos. O modelo apresenta também três formas de apresentação matemática; a diferença, para o nosso caso, segundo (PESSANHA; JUSTINO, 2013), é usualmente a utilização no formato a diferença conforme a Equação (4.30), onde os φ são coeficientes da parte regressiva e θ os da parte de média móvel. O modelo preditivo tem por objetivo a definição do passo futuro como o valor Z_{t+h} , $h \geq 1$, baseado nas proponentes, Z_{t+h} , Z_{t+h} , Z_{t+h} , até o instante t , definido como origem da previsões, de acordo com (MORETTIN; TOLOI, 2006). A previsão de origem t e de h (valor *horizontal*) tem denotação definida como $\hat{Z}_t(h)$, e o componente integrador $W_t = (1 - B)_d Z_t$, será definido como estacionário invertível com parâmetros definidos.

$$\begin{aligned} Z_{t+h} = \varphi_1 Z_{t+h-1} + \dots + \varphi_{p+d} Z_{t+h-p-d} - \theta_1 a_{t+h-1} \\ - \theta_2 a_{t+h-2} - \dots - \theta_q a_{t+h-q} + a_{t+h} \end{aligned} \quad (4.30)$$

Os modelos possuem duas forma básicas de previsão: em Erro Quadrático Médio (EQM) mínimo e a forma básica de previsão, expressado por $\hat{Z}_t(h)$ conforme apresentado no processo de definição da diferença. O fator a ser utilizado par deslocamento discreto é definido como k , conforme a sequência expressa pela sistema de decisão conforme a Equação (4.31).

$$\begin{aligned}
[Z_{t+k}] &= \hat{Z}_t(k) \quad , k > 0, \\
[Z_{t+k}] &= Z_t(k) \quad , k \leq 0, \\
[a_{t+k}] &= 0 \quad , k > 0, \\
[a_{t+k}] &= a_{t+k} \quad , k \leq 0,
\end{aligned} \tag{4.31}$$

Em sequência, observamos que quando $h > q$, os termos de média móvel desaparecem, em sequência o cálculo de $\hat{Z}_t(k)$ tem como referência os valores dos dados passados $\hat{Z}_t(k)$, $\hat{Z}_t(k)$, $\dots$ definidos como valores recursivos, conforme a Equação (4.32).

$$\begin{aligned}
(1 - \phi_1 B - \phi_1 B^2 - \dots - \phi_p B^p)(1 - B^d)Z_t = \\
(1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q)
\end{aligned} \tag{4.32}$$

Devido os valores no passado serem finitos, há uma aproximação dos dados futuros, devido ao procedimento adotado, a previsão real é definida como $E[Z_{t+h}|Z_t, \dots, Z_1]$, e que a busca da diferença ótima é $E[Z_{t+h}|Z_t, Z_{t-1}, \dots,]$, sendo que para a componente AR(p) são exatas e para a_t o cálculo é feito de forma recursiva; para as fórmulas em sequência possuem características de terem resultados semelhantes quando t tende a ser muito grande e quando há uma atribuição inicial para o cálculo dos valores de a_t , conforme (BRILLINGER, 2001). O modelo para predição é apresentado na Equação (4.33), quando $h \geq 5$ para este exemplo

$$\begin{aligned}
\hat{Z}_t(h) &= (1 + \phi) \hat{Z}_t(h-1) - (\phi_1 - \phi_2) \hat{Z}_t(h-2) - \\
&(\phi_2 - \phi_3) \hat{Z}_t(h-3) - \phi_3 \hat{Z}_t(h-4)
\end{aligned} \tag{4.33}$$

4.2.2 Autorregressivo Média Móvel.

O processo autorregressivo que afeta o sinal real Z_i , é dimensionado pelo polinômio de coeficientes a_i com fator p , no lado esquerdo da Equação (4.34), o polinômio com coeficientes b_i influenciam a média móvel e é dimensionado por q , definindo por ARMA (p, q). Neste caso não existe influência externa, somente o ruído e_i influencia o sinal, bem como, os valores passados, na predição do próprio sinal, para cada a_t e t o processo é normal $N(0, \sigma^2)$, e para definir o modelo, (TSAY; TIAO, 1984) propõem o uso da

autocorrelação estendida.

$$\begin{aligned} Z_i - a_1 Z_{i-1} - \dots - a_p Z_{i-p} = \\ e_i - b_1 e_{i-1} - \dots - b_q e_{i-q} \end{aligned} \quad (4.34)$$

Para o processo de predição em ARMA, podemos considerar um caso particular do modelo ARIMA quando a componente d é igual a zero conforme a Equação (4.35).

$$\begin{aligned} (1 - \phi_1 B - \phi_1 B^2 - \dots - \phi_p B^p) Z_t = \\ (1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q) \end{aligned} \quad (4.35)$$

4.2.3 Autorregressivo Integrado Média Móvel Sazonal.

A série sazonal consiste em um conjunto de dados que em um período de tempo com início, meio e fim, suas características, repetem-se continuamente. A sazonalidade de um evento representa que este costuma ocorrer sempre num momento temporal específico, a aplicação as séries de energia elétrica é um exemplo quanto ao consumo de energia, apresentando um padrão que repete-se de forma semelhante em um período de tempo.

Quando há sazonalidade determinística, t é uma função determinística, e N é um processo estacionário, na Equação (4.44) obtêm-se o modelo sazonal determinístico com a aplicação da diferença sazonal. Quando há *lags* sazonais de múltiplos períodos, considera-se que exista uma sazonalidade estocástica, sendo este modelo dimensionado com os parâmetros p, d, q e P, D, Q conforme a Equação (4.45), com o número de períodos sazonais $s = 12$, SARIMA $(p, d, q) (P, D, Q)_{12}$.

Os dados observados ou minerados que definem um fenômeno físico e que produz um comportamento sazonal determinístico com período $s=12$, pode ser representado pela Equação (4.36), onde μ_t é uma função periódica que satisfaz o comportamento de $\mu_t = \mu_{t-12}$, onde outra relação é dada na Equação (4.37).

$$Z_t = \mu_t + N_t \quad (4.36)$$

$$(1 - B^{12})\mu_t = 0 \quad (4.37)$$

Onde N_t , sendo um processo estacionário e modelado por ARMA(p, q), apresenta-se como uma componente do sinal original, definindo a igualdade na Equação (4.38), sendo a_t uma função de ruído branco de média zero; porém a Equação (4.39) apresenta o ruído branco com sequência de senos e cossenos, onde constantes como μ, α_j, β_j , onde

$j=1,2,\dots, 6$, não são definidas ou simplesmente não se tem conhecimento de seus valores, como solução é aplicado uma diferença sazonal conforme a Equação (4.40), e aplicando-se a Equação (4.37), conforme (MORETTIN; TOLOI, 2006).

$$\phi(B)N_t = \theta(B)a_t \quad (4.38)$$

$$\mu_t = \mu + \sum_{j=1}^6 \left[\alpha_j \cos \frac{(12\pi jt)}{12} + \beta_j \sin \frac{(12\pi jt)}{12} \right] \quad (4.39)$$

$$(1 - B^{12})Z_t = (1 - B^{12})\mu_t + (1 - B^{12})N_t \quad (4.40)$$

Em sequência de relacionamento aplicando-se (4.38) em (4.40), obtêm-se a Equação (4.42), e por adequação a Equação (4.43)

$$(1 - B^{12})Z_t = (1 - B^{12})N_t \quad (4.41)$$

$$\phi(B)(1 - B^{12})Z_t = \theta(B)(1 - B^{12})a_t \quad (4.42)$$

$$\phi(B)W_t = \theta(B)(1 - B^{12})a_t \quad (4.43)$$

Onde $W_t = (1 - B^{12})Z_t$

O processo de previsão tende a manter o padrão matemático quanto ao sinal preditivo $\hat{Z}_t(h)$, sendo o resultado uma esperança matemática e cada elemento pontual dependente de condições que em contorno definam o valor estimado, formando o sinal preditor definido na Equação (4.45)

$$(1 - B^{12}Z_t) = (1 - B^{12})\mu_t + (1 - B^{12})N_t \quad (4.44)$$

$$\begin{aligned} (1 - \Phi_1 B^{12} - \dots - \Phi_p B^{12p})(1 - B^{12})^D Z_t = \\ = (1 - \Theta_1 B^{12} - \dots - \Theta_Q B^{12Q})\alpha_t \end{aligned} \quad (4.45)$$

A aplicação em um modelo estocástico, no qual a predição do sinal desejado Z_t , sendo um processo sazonal autorregressivo integrado de média móvel de ordem SARIMA(p,d,q)

x (P, D, Q) , sendo que d é o grau de diferenciação e D o grau de diferenciação sazonal.

$$\Phi(B^s)\phi(B)(1-B)^d(1-B^s)^D(Z-t) = \Theta(B^s)\Theta(B)\alpha_t \quad (4.46)$$

Para a série estimada $Z_t = X_t - \mu$, e sendo o sinal real X_t , μ é a média do processo e α_t o sinal de ruído branco, e s é a sazonalidade que varia de 12 em 12 defasagens sazonais, e o termo B é o operador de defasagem, sendo que $B^j = Z_{t-j}$ e $B^{sj} = Z_{t-sj}$ a parte sazonal, sendo definido por $(1-B)^d$ e a parte sazonal $(1-B)^D$; a Equação (4.47) define o polinômio que caracteriza a componente autorregressiva; a Equação (4.48) é o polinômio que define a parte de média móvel, os polinômios que representam, em sequência, a parte regressiva da componente sazonal e da média móvel sazonal são as Equações (4.48) e (4.50).

$$\phi(Z) = \sum_{l=0}^p (-\phi_l) Z^l \quad (4.47)$$

$$\theta(Z) = \sum_{l=0}^q (-\theta_l) Z^l \quad (4.48)$$

$$\Phi(Z) = \sum_{l=0}^P (-\Phi_l) Z^l \quad (4.49)$$

$$\Theta(Z) = \sum_{l=0}^Q (-\Theta_l) Z^l \quad (4.50)$$

Para a Sazonalidade Estocástica, definindo μ_t como um processo estocástico, N_t um processo estacionário que modela um modelo ARMA(p, q) e define um processo Z_t , conforme a Equação (4.36). O Modelo adquire um perfil sazonal, no qual é acrescentado um defasamento de 12 elementos na série temporal definido como SARIMA.

$$(1 - B^{12})_{\mu_t} = Y_t \quad (4.51)$$

O termo $(1 - B^{12})$ aplica-se na Equação (4.51), obtendo-se

$$(1 - B^{12})Z_t = (1 - B^{12})_{\mu_t} + (1 - B^{12})N_t \quad (4.52)$$

e substituindo a Equação (4.51) na Equação (4.52) é definido a nova relação para

a o modelo sazonal conforme a Equação (4.53), a relação de igualdade para os coeficientes que definem tanto a parte convencional com a parte sazonal não é alterado em sua proporcionalidade com relação aos polinômios de cada termo tanto $\phi_Y(B)Y_t$ e $\phi_N(B)a_t$ do lado autorregressivo de média móvel, e $\theta_Y(B)Y_t$ e $\theta_N(B)\varepsilon_t$ quanto no lado sazonal conforme, sendo a e ε ruídos brancos independentes conforme definido por (MORETTIN; TOLOI, 2006).

A parte sazonal pode ser definida com novos coeficientes autorregressivos como Φ e da média móvel Θ e expresso na Equação (4.53)

$$(1 - \Phi_1 B^{12} - \dots - \Phi B^{12P})(1 - B^{12})^D Z_t = (1 - \Theta_1 B^{12} - \dots - \Theta_Q B^{12Q})\alpha_t \quad (4.53)$$

e podendo descrita conforme a Equação (4.54)

$$\Phi(B^{12})\Delta_{12}^D Z_t = \Theta(B^{12})\alpha_t \quad (4.54)$$

Para cada termo da Equação (4.54) um dimensionador é definido para dar a dimensão modelo sazonal, onde P define a dimensão do termo autorregressivo sazonal, Q é a grandeza do operador de média móvel sazonal e D é o número de diferenças de múltiplos de 12 que caracteriza a primeira sazonalidade, conforme apresentado no sistema de igualdades de termos sazonais definido na Equação (4.55).

$$\begin{cases} \Phi(B^{12}) = (1 - \Phi_1 B^{12} - \dots - \Phi B^{12P}) \\ \Theta(B^{12}) = (1 - \Theta_1 B^{12} - \dots - \Theta_Q B^{12Q}) \\ \Delta_{12} Z_t = (1 - B_{12}) \\ \Delta_{12}^D Z_t = (1 - B_{12})^D \end{cases} \quad (4.55)$$

O modelo definido como *sazonal puro* acontece quando em observação eventual o sinal α é um ruído branco, a função de autocorrelação parcial (*fac*) do processo Z_t é zero para todos os "lags" não-sazonais, podendo satisfazer o modelo ARIMA(p, d, q), a igualdade na Equação (4.56), apresenta uma nova relação para uma nova dependência de coeficientes φ com o coeficiente ϕ que caracteriza a componente regressiva ϕ em um defasamento definido pelo índice integrador d , conforme apresentado na Equação (4.57),

$$\varphi(B)\alpha_t = \theta(B)a_t \quad (4.56)$$

$$\varphi(B) = (1 - B)^d \theta(B) \quad (4.57)$$

para um processo onde Z_t garante a igualdade da Equação (4.58), quando a função

a_t é um ruído branco. Para tal, apresenta-se um novo modelo no qual as características sazonais são aplicadas as autorregressivas de média móvel, e em que os fatores de potência (p, d, q) são incorporado aos valores $(P, D, Q)_{s=12}$ definindo um a nova ordem definido como SARIMA.

$$\theta(B)\Theta(B^{12})(1-B)^d(1-B^{12})^D Z_t = \theta(B)\Theta(B^{12})a_t \quad (4.58)$$

Outra forma a ser escrever a Equação é apresentada na Equação (4.59), com os deltas representando a defasagem tanto da parte autorregressiva quando do componente de sazonal.

$$\theta(B)\Theta(B^{12})\Delta^d\Delta^D Z_t = \theta(B)\Theta(B^{12})a_t \quad (4.59)$$

Em resumo a componentes deltas e relacionado a série temporal Z_t podem ser substituída pela função W conforme a Equação (4.60).

$$W_t = \Delta^d\Delta_{12}^D Z_t \quad (4.60)$$

4.2.4 Autorregressivo Integrado Média Móvel Sazonal *Fuzzy* .

A representação da série de energia elétrica de número convencionais reais(*crisp*) para um referente *fuzzy* e com saída novamente *crisp*, é a implementação do modelo de série temporal FSARIMA, (WANG, 1999).

As séries *fuzzy* são implementadas neste processo analítico, com as entradas de números *Crisp*, o qual está contido no universo de discurso U . Seus valores são definidos sob regras, fuzzyficação; neste caso representadas por triângulos, e saída, defuzzyficação, pelo método centroide, para uma resposta *crisp*, (ZADEH, 1965). As variáveis linguísticas que definem as regras geram, na função de pertinência φ_{A_i} , valores definidos no intervalo $[0,1]$, (WANG, 1999).

De acordo com (SADAEI et al., 2014), o desenvolvimento da série temporal $F(t, t-1) = F(t-1, t-2)$ é definida como invariante em t , caso contrario a entrada $F(t)$ será uma série de tempo variante distorcido, sendo $F(t-1)$ definida por A_i e $F(t)$ por A_j sendo definido uma Relação Lógica *Fuzzy* (RLF), onde A_i relaciona A_j para $i, j = 1, 2, 3, \dots, p$, sendo p um subintervalo, definindo A_i o lado direito e A_j o lado esquerdo da *RLF*, as relações entre regras podem ser agrupamento em um grupo Difuso Lógico Ordenado (FLG), colocando todos juntos no RHS da FLG, e de acordo com (EFENDI; ISMAIL; DERIS, 2015), podem ser escrito como $A_i \rightarrow A_j, A_i \rightarrow A_k, \dots, A_i \rightarrow A_p; i, j, k, p, \dots, n$ onde $n \leq T$, para todo T igual a trajetória temporal de acordo com (CARVALHO JR., 2016). A serie temporal difusa $F(t)$, que apresentam sazonalidade (FSARIMA) são des-

critos como uma relação de regras como deslocamento m , sendo $F(t + m) \rightarrow F(t)$, ou, $F(t) = f(t + m)$, sendo t um período sazonal, (TSENG; TZENG, 2002).

O valor que define o máximo valor da função de pertinência $\mu_{A_i}(x)$, relacionado a regra A_i , é um subconjunto do universo de discurso U , sendo definido por $Supp(A) = \{X \subset L : \mu_{A_i}(x) > 0\}$, sendo L um subconjunto difuso e X um conjunto compacto convexo, (BITAR et al., 2009).

O sistema de referência $\alpha - cut$ é um conjunto variante no intervalo $[0, 1]$ onde α representa o nível de referência para as regras $[A] = \{x \in L : \mu_A(x) \geq \alpha\}$, sendo $\alpha > 0$, e $[A]^0$ o encerramento do valor $Supp(A)$, (WANG, 1999).

A implementação da Função de Autocorrelação Estendida *Fuzzy* (AECF) com α como conjunto de corte, é aplicado a função sazonal $W_{i,p,q}^{\alpha-cut}$, sendo i o grau do integrador, p do regressivo e q da média móvel, (CARVALHO JR., 2016). A ativação dos conjuntos contidos no universo de discurso L , serão relacionados a cada intervalo *fuzzy*, sendo os valores desta função os elementos da série temporal *fuzzy* com $\alpha - cut$ gerados pela a série original $Z_i(t)$, onde $1 \leq i \leq m$ e $1 \leq i \leq T$, sendo m e T valores finais de cada regra *fuzzy* na Equação (4.61), onde $p = 0, 1, 2, \dots$, $q = 0, 1, 2, \dots$, $h = 0, 1, 2, \dots, r$, $b = 0, 1, 2, \dots$, para $\phi_p^{\alpha-cut}(\alpha, b)$ indica o operador com corte em especificado em α , (CARVALHO JR., 2016).

$$\begin{aligned} W_{i,p,q}^{\alpha-cut}(h, \alpha, b) &= Z_1^{\alpha-cut}(\alpha, b) - \dots \\ &\quad \phi_1^{\alpha-cut}(\alpha, b) Z_{i-1}^{\alpha-cut}(\alpha, b) - \dots \\ &\quad \phi_p^{\alpha-cut}(\alpha, b) Z_{i-p}^{\alpha-cut}(\alpha, b) - \dots \end{aligned} \quad (4.61)$$

4.3 Função de Autocorrelação Estendida.

A função de autocorrelação estendida (face) foi proposta por (TSAY; TIAO, 1984) para definir de forma única os valores de p e q para dimensionamento do modelo ARMA(p, q) estacionário ou não. Conforme (MORETTIN; TOLOI, 2006), as funções de autocorrelação e autocorrelação parcial não são bons mecanismos para uma determinação precisa e com eficiência para definir os mesmos parâmetros p e q ; em (CARVALHO JR., 2016) ela é utilizada para definir p e q em um sistema FSARIMA $(p, d, q)(P, D, Q)_{12}$. Para a Equação (4.62) esta define como modelo ARMA estacionário para ser dimensionado pela face.

$$\begin{aligned} \rho_j &= \phi_1 \rho_{j-1} + \dots + \phi_k \rho_{j-k} + \\ &\quad + \gamma_{za}(j) - \dots - \theta_1 \gamma_{za}(j-1) \end{aligned} \quad (4.62)$$

Como o índice j do processo ρ_j é definido como $j \geq 2$, é definida uma matriz que

determina os coeficientes $\phi_{(1)}^j$, $\phi_{(2)}^j$, $\phi_{(3)}^j$ como no exemplo para 3 coeficientes da Equação (4.63).

$$\begin{vmatrix} \rho_j & \rho_{j-1} & \rho_{j-2} \\ \rho_{j+1} & \rho_j & \rho_{j-1} \\ \rho_{j+2} & \rho_{j+1} & \rho_j \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \phi_1^{(j)} \\ \phi_2^{(j)} \\ \phi_3^{(j)} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \rho_{j+1} \\ \rho_{j+2} \\ \rho_{j+3} \end{vmatrix} \quad (4.63)$$

Define-se que para em qualquer posição de j na Equação (4.64), modelo sazonal, onde este deve ser maior ou igual ao regresso que possa zerar seu índice na Equação matricial conforme em a Equação (4.65), (CRYER; CHAN, 2008).

$$W_{k,t}^{(j)} = (1 - \phi_1^{(j)} B - \dots - \phi_k^{(j)} B^k) Z_t \quad (4.64)$$

a Equação (4.64) é redefinida para a Equação (4.65),

$$G_{(k)}^j \phi_{(k)}^{(j)} = P_{(k)}^j \quad (4.65)$$

Sendo definido $G_{(k)}^j$, $P_{(k)}^j$ no forma de matriz e os coeficientes $\phi_{(k)}^{(j)}$ devem ser transpostos conforme a Equação (4.65), o número de elementos $\rho_{k,j}$, na Equação (4.66), é definida como a função de autocorrelação estendida.

$$\rho_{k,j} = \frac{\phi_{(k)}^{*(j)} G_{(k+1)}^j \phi_{(k)}^{*(j)}}{\phi_{(k)}^{*(j)} G_{(k+1)}^j \phi_{(k)}^{*(j)}} \quad (4.66)$$

Primeira análise, em 12, $k = p$, o processo $W_{k,t}^{(j)}$, é um processo de média móvel MA (q).

$$\rho_{k,t} = \begin{cases} -\theta_q (1 + \theta_1^2 + \dots + \theta_q^2)^{-1} & , \quad j = q \\ 0 & , \quad j > p \end{cases} \quad (4.67)$$

Quando $k \geq p$, é um processo estacionário ARMA (p, q), demonstrado na Equação (4.68), (CRYER; CHAN, 2008).

$$\rho_{k,t} = \begin{cases} c & , \quad j = q + k - p \\ 0 & , \quad j > q + k - p \end{cases} \quad (4.68)$$

onde $-1 < c < 1$.

Para identificação de p e q no resultado gráfico do FACE é definido como a primeira sequência de zeros horizontal sem quebra de sequência e a diagonal em sequência de zeros

5 Modelo de Previsão Aplicado à Demanda de Energia Elétrica

A previsão é um processo aplicado nas áreas de planejamento e operação, no qual os dados utilizados apresentam características que os tornam aptos a serem usados como séries temporais; o histórico de dados os condicionam em uma sequência que possa ser transformada em informação. Neste contexto, apresentamos o planejamento das empresas em relação às suas decisões sobre a gestão de sua infraestrutura para ampliar e operar suas fontes e contratos de fornecimento de energia elétrica. O serviço de suprir seus usuários em suas necessidades operacionais e manter a qualidade deste serviço: são fatores que, em primeiro plano passam pela demanda, de como cumprir e não ter desperdício ou uma produção além da necessária, inserido nesta política. As Empresas de Energia Elétrica no mundo passaram a utilizar modelos autorregressivos de previsão para aumentar a eficiência e qualidade aplicado à produção, transmissão e distribuição de energia elétrica como apresentado em (CICOGNA et al., 2004), e com forte influência na compra de energia elétrica em leilões no Brasil, com o objetivo de atender em 100% dos usuários e com um mínimo de variação de erro. Este planejamento influencia a construção de novas fontes de energia, no processo de manutenção, a gestão do processo energético, na manutenção e gestão do processo energético.

Cada empresa concessionária de energia elétrica apresenta um perfil de atendimento no tocante a demanda de fontes de geração, transmissão e distribuição, de forma que a aquisição de energia influenciando o planejamento empresarial, e outro perfil, é de que forma estão apresentados os clientes, em função no atendimento de energia, a distribuição das classes de consumo, em relação aos municípios e localidades em geral, sendo que cada uma localidade também tem a suas particularidades, tais como o comportamento dos consumidores, influência externas como variação de temperatura, umidade, condição de migração, implantação de eventos especiais, dias úteis da semana, feriados e fins de semana, além de influências que podem ainda ter seus efeitos na demanda, conforme (AQUINO et al., 2016). As influências externas, para este caso, serão utilizadas as séries históricas, posto que, nelas estão as características externas, e praticamente de como este comportamento possa gerar dados futuros, com sazonalidades e tendências.

A seleção de um algoritmo para previsão de demanda de energia é de vital importância para as Empresas de Energia Elétrica, neste caso para distribuição, pois nele se apresentarão as características que influenciarão o planejamento, sendo que a observação à legislação brasileira deve ser ponto de referência a fim de buscar eficiência e economia, gerando modicidade tarifária e uma operação mais precisa segundo (GUIRELLI, 2006). Há vários métodos de previsão e pesquisas levam estes estudos a uma implementação do plano de decisão empresarial: modelos com base em sistemas lineares, como os autorregressivos de média móvel, sazonais, dentre outros; não lineares, como o de redes neurais *fuzzy*, algoritmo genético, etc; e modelos híbridos, utilizando ou não entradas externas

com suas variâncias.

Os dados a serem utilizados neste trabalho, são os dados históricos das séries temporais da demanda de energia elétrica da Eletrobras Distribuidora Rondônia, e tem sua referência nas séries históricas sem entrada exógenas, ficando somente o valor agregado para a variação do demanda relacionado aos dias úteis, feriados e fins de semana. Como referência este processo será comparado a outros processos como o ARMA, ARIMA, SARIMA, e os modelos híbridos, de acordo com (MOREIRA et al., 2011), também apresentam uma solução plausível, para este caso é definido como método aplicável o FSARIMA, referenciado pelo procedimento de identificação de erro RMSE, Raiz do Erro Médio Quadrático (Root Mean Square Error), MAPE, Média Percentual Absoluta do Erro (Mean Absolute Percentage Error) e MASE, Escala de Erro Médio Absoluto (Mean Absolute Scaled Error), e serão o suporte de comparação dos modelos para a análise e conclusões operacionais bem como a demonstração do grau satisfatório de relacionamento entre o sinal real e o estimado.

5.1 Análise e Tratamento de dados para Predição aplicado a Sistema de Energia Elétrica

A primeira fase do processo, o levantamento de dados para análise, deve refletir a real condição do consumo da empresa em relação à carga total de energia contratada, buscando sempre as correções de erros que possivelmente apareçam e completando faltas de energia elétrica que apresentadas comprometam a série temporal com um processo de recomposição de sinal destes dados. Segundo (RODRIGUES, 2002), o tratamento de dados deve conter as informações que não destoem da realidade buscando uma medida direta do ponto de vista do barramento geral. Para o estudo do fornecimento de energia elétrica, esta conexão para leitura do sistema varia de empresa para empresa uma vez que o porte e o perfil de distribuição também influenciam nas medidas de energia elétrica.

O tratamento dos dados deve obedecer as condições definidas pelo processo de predição, o levantamento do comportamento de como se apresenta as leituras e o relacionamento do consumo de energia elétrica em relação aos fatores de referência, os dados oriundos da Concessionária foram medidos de hora em hora, analisando-se as características de cada dia segundo a temperatura e eventos observados que definam estes comportamentos, o comportamento do usuário segundo o perfil deste em relação à contratação do serviço; os dias de características semelhantes, como domingos e feriados de acordo com o apresentado em correção dos dados que em falha, na medição conforme a Figura 5.1 distorceram o sinal real de consumo de carga possuem falhas na medida colocaram ausência ou sequência de zeros nas horas dos dias da semana, este fato é recuperado pela substituição do dia em evidência por um valor real, onde se define um valor mais aproxi-

mado da série temporal de energia elétrica real do sistema equalizando a predição. Para casos de feriados, aplicam-s também este comportamento, conforme os dias de sábado e domingo.

Figura 5.1 – Banco de Dados com falhas, medidas em zero, de Energia Elétrica, por hora, medidos pelos alimentadores na Subestação Porto Velho da Potência Ativa Consumida em Mega Watt(MW) e a Corrente Elétrica Consumida em Amper (A), Outubro de 2016.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	DATA	HORA	SUBESTAÇÃO PORTO VELHO									
2			AL-01	42,0	AL-02	43,2	AL2-03	8,9	AL2-04	34,4	AL2-05	10,8
3			1525,0		408,0		416,0		326,0		500,0	
4												
5			AMP	MW	AMP	MW	AMP	MW	AMP	MW	AMP	MW
6970	17/10/2016	5	192	4,1	256	5,5	120	2,6	186	4	184	4
6971	17/10/2016	6	176	3,8	216	4,6	128	2,8	162	3,5	160	3,4
6972	17/10/2016	7	160	3,4	192	4,1	144	3,1	152	3,3	142	3,1
6973	17/10/2016	8	180	3,9	192	4,1	168	3,6	180	3,9	142	3,1
6974	17/10/2016	9	195	4,2	224	4,8	210	4,5	192	4,1	152	3,3
6975	17/10/2016	10	200	4,3	224	4,8	216	4,6	194	4,2	154	3,3
6976	17/10/2016	11	210	4,5	236	5,1	190	4,1	200	4,3	176	3,8
6977	17/10/2016	12	215	4,6	244	5,2	184	4	206	4,4	180	3,9
6978	17/10/2016	13	224	4,8	256	5,5	176	3,8	206	4,4	180	3,9
6979	17/10/2016	14	264	5,7	320	6,9	216	4,6	218	4,7	196	4,2
6980	17/10/2016	15	256	5,5	328	7,1	224	4,8	218	4,7	188	4
6981	17/10/2016	16	256	5,5	312	6,7	232	5	210	4,5	186	4
6982	17/10/2016	17	232	5	312	6,7	192	4,1	196	4,2	180	3,9
6983	17/10/2016	18		0	0	0	152	3,3	202	4,3	196	4,2
6984	17/10/2016	19		0		0	160	3,4	232	5	220	4,7
6985	17/10/2016	20		0		0	168	3,6	248	5,3	226	4,9
6986	17/10/2016	21		0		0	168	3,6	246	5,3	234	5
6987	17/10/2016	22		0		0	176	3,8	248	5,3	234	5
6988	17/10/2016	23		0		0	176	3,8	246	5,3	234	5
6989	17/10/2016	24		0		0	172	3,7	242	5,2	234	5
6990	18/10/2016	1	272	5,8	336	7,2	136	2,9	218	4,7	217	4,7
6991	18/10/2016	2	272	5,8	336	7,2	136	2,9	218	4,7	214	4,6
6992	18/10/2016	3	256	5,5	312	6,7	136	2,9	206	4,4	204	4,4
6993	18/10/2016	4	248	5,3	312	6,7	136	2,9	206	4,4	202	4,3
6994	18/10/2016	5	232	5	296	6,4	136	2,9	202	4,3	196	4,2
6995	18/10/2016	6	224	4,8	288	6,2	136	2,9	200	4,3	196	4,2
6996	18/10/2016	7	200	4,3	280	6	132	2,8	194	4,2	176	3,8
6997	18/10/2016	8	192	4,1	272	5,8	224	4,8	182	3,9	158	3,4

Fonte: Adaptada Dados CERON.

O Perfil do Estado de Rondônia, com sua distribuição geopolítica, na qual cada município influencia a demanda devido às condições econômicas e de infraestrutura, é analisado como são constituídos os 53 municípios de Rondônia, em área rural ou urbana, governo, indústria, comércio e residências, no que tange ao percentual de carga que cada um consome em reação ao geral. A base de dados apresenta a informação consolidada em relação a parte técnica da distribuição, porém há dados ausentes, ou por falhas no fornecimento de energia ou por problemas de medição, devem ser tratados em completados de dados a fim de apresentarem uma condição satisfatória de análise de predição dentro do especificado na legislação.

A referência para dimensionamento é a Grandeza Física é a Potência Ativa *MW*, e examinados de hora em hora, segundo a medição do sistema no barramento geral de aquisição dos dados pela Consercionária de Energia Elétrica em Rondônia. A leitura do consumo de energia elétrica do Estado é efetivado pelo barramento do SIM - Sistema Interligado Nacional, porém conforme a Figura 5.2, porém, ficando de fora das medidas uma pequena parte não interligada no Estado e que não será computada, posto que as mesmas apresentam uma característica particular, possuindo seu próprio modelo de

Figura 5.2 – Banco de Dados demonstrando a Carga Total do consumo, por hora, de Energia Elétrica do Estado de Rondônia, Demanda da Subestação Porto Velho - Informação da Potência Ativa Consumida em Mega Watt(MW) e a Corrente Elétrica Consumida em Amper (A), Outubro de 2016.

	A	B	DP	DQ	DR	DS	DT	DU	DV	DW	DX
1		HORA	01	ROVOPVENTR-01				Carga Total da Empresa		Total PV+GJ+NM	
2	DATA		/N - G	votorantin - ITAP-TRINF				627,7		285,0	
3				10,2							
4			MVAr	MW	MVAr			MW	MVAr	MW	MVAr
7244	28/10/2016	15	0,03	0,35	0,05			395,81	131,84	155,10	70,69
7245	28/10/2016	16	0,03	0,52	0,18			415,16	135,60	164,12	68,83
7246	28/10/2016	17	0,03	0,51	0,16			408,53	134,78	162,26	67,63
7247	28/10/2016	18	0,03	0,49	0,18			392,56	131,07	158,08	66,21
7248	28/10/2016	19	0,03	0,37	0,09			361,54	120,07	149,50	62,71
7249	28/10/2016	20	0,03	0,38	0,10			360,52	105,79	154,24	61,73
7250	28/10/2016	21	0,03	0,38	0,10			381,18	107,74	166,46	62,70
7251	28/10/2016	22	0,03	0,29	0,02			377,02	105,42	167,32	62,46
7252	28/10/2016	23	0,03	0,39	0,11			395,90	111,30	171,53	62,80
7253	28/10/2016	24	0,03	0,36	0,08			399,74	112,04	175,28	62,79
7254	29/10/2016	1	0,03	1,39	0,37			394,50	108,67	177,69	60,79
7255	29/10/2016	2	0,03	4,22	1,17			388,36	105,55	178,66	56,13
7256	29/10/2016	3	0,03	4,18	1,16			376,10	102,06	173,88	54,78
7257	29/10/2016	4	0,03	4,15	1,15			363,53	99,50	168,64	53,09
7258	29/10/2016	5	0,03	4,05	1,10			353,94	97,27	163,44	51,47
7259	29/10/2016	6	0,03	4,06	1,14			347,70	98,94	160,62	52,97
7260	29/10/2016	7	0,03	4,05	1,15			340,19	98,32	156,30	53,19
7261	29/10/2016	8	0,03	3,99	1,12			321,84	101,11	141,98	56,70
7262	29/10/2016	9	0,03	4,01	1,13			339,43	109,96	142,18	59,19
7263	29/10/2016	10	0,03	4,12	1,21			367,65	122,14	151,90	64,32

Fonte: Adaptada Dados CERON.

predição; estas geradoras são as termoeletricas que atendem o sistema isolado do Estado de Rondônia, e as previsões se baseiam no consumo de energia óleo combustível.

Para uma amostra do processo, é utilizado o mês de outubro de 2016, a fim de analisar um período específico, com um comportamento característico de poucas falhas na medida comparada com outros períodos dos dados históricos, e em princípio do estudo a primeira aplicação de um modelo novo apresentado por (CARVALHO JR., 2016). Este modelo é comparado aos modelos de referência apresentados como controle e relacionados com o erro da predição em relação ao sinal real de referência do universo de discurso definido.

Como apresentado em (GUIRELLI, 2006), os dias devem ser identificados observando-se as características: os dados são separados de acordo com o calendário padrão de dias, sendo sábados e domingos, feriados e dias com influência de queda de potência; estes dias devem ser analisados de forma a conter o máximo de informação e a influência que gera a sua posição como medida histórica para o sistema de predição. Para definição futura, os eventos que propiciam aumento de carga devem fazer parte do planejamento a fim de no pico não haver defasagem do atendimento de no mínimo de 103% da demanda (BRASIL, 2004a), na observância da faixa de contratação dos clientes cativos a fornecedora, $PC \leq Energia\ total \leq 103\%PC$; para tal os dados em falhas serão completados conforme a observância dos bancos de dados.

A definição das séries a serem analisadas, formando os dados utilizados, são oriun-

dos do sistema de monitoramento de carga da Eletrobras distribuidora Rondônia; a medição é feita em todas as subestações com o detalhamento de medidas por circuito alimentador de cada subestação as quais são: onde são definidas por municípios ou localidades de acordo com a capacidade de carga. O sistema de energia esta em 52 municípios dois quais 12 localidades atendidas estão fora do eixo do Sistema Nacional, em caráter de atendimento isolado, ficando fora do controle de contratos oriundos de leilões; estes são feitos por atendimento privado ou estatal com energia térmica a óleo combustível, ficando os fornecedores o cargo da análise da faixa de operação de 100% a 103%. Os dados foram coletados de hora em hora na referência aos barramentos de medidas de Potência ativa P (MWhatt) e Corrente A (Amper), de acordo com uma amostra da planilha apresentada na figura em referência. O período de operação ou período definido para amostra é o mês de outubro de 2016, que apresenta poucas faltas sendo observados somente em alguns barramentos de certos municípios. Portanto, para uma escolha de simulação em dados reais é necessários o complemento do sinal em falta, ficando a cargo deste complemento a implementação do próprio preditor utilizando lógica *fuzzy* e autocorrelação estendida. A série é completada, nos casos de haver qualquer distúrbio, não influencia na predição gerando assim um procedimento ideal, uma vez que o sistema a ser definido é dependente do processo de P&D da concessionária de energia, onde se aguarda o processo de apresentação da modelagem e um sistema que atenda as necessidades ideais da Empresa.

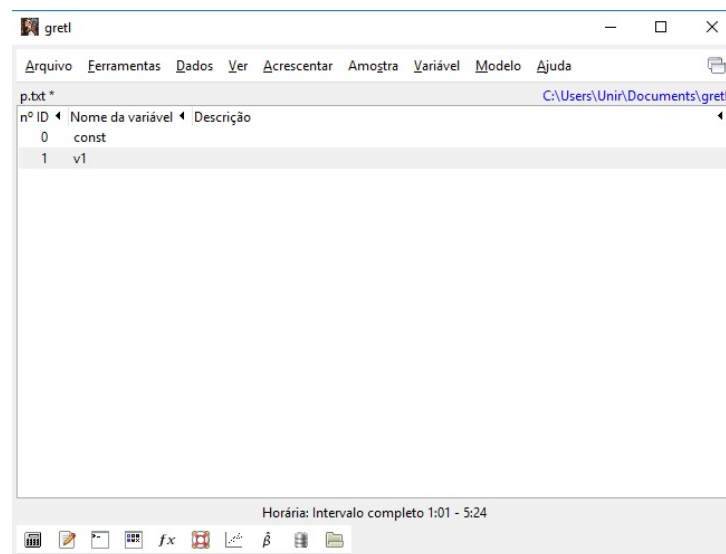
Após a definição operacional dos dados, de como serão lidos ou tratados, de forma a apresentar os dias úteis de cada semana com 5 dias, fins de semanas com a demonstração de sábado e domingo com 2 dias, durante os dias serão observados os feriados os quais distorcem os perfis no máximo da previsão assim como as faltas, são definidos a parte conforme a metodologia apresentada, segundo complemento de predição são as faltas que são também completados com os perfis no máximo de carga para predição; a observância das saídas de alguns alimentadores também são tratados da mesma forma, conforme em ANEXO, Tabela A.1.

A operação deste tratamento segue um perfil histórico de medidas totais para predição, pois não leva em conta as falhas e faltas no sistema, podendo ser justificado no processo operacional, buscando outra análise na qual as faltas influenciam no processo de qualidade de operação. O processo de para ser analisado é dividido em 4 semanas, contando os dias úteis (segunda feira, terça feira, quarta feira, quinta feira e sexta feira), fins de semana (sábado e domingo) dia não convencionais (feriados, eventos, dias em falta de energia e dias sem medidas).

Após o tratamento dos dados, obtém-se uma segunda formação, na qual se apresenta uma disposição a fim de representar os dias da semana que serão preditos definindo assim o modelo operacional. A partir destas informações, gráficos que representam o processo real serão direcionados para identificação do sinal estimado, através do processo de regressão e média móvel, onde serão utilizados os modelos ARMA, ARIMA e SARIMA

estes serão dimensionados pelo GRETTL, software livre, em conformidade com o manual de operações como exposto em (COTTRELL; LUCCHETTI, 2017). A Figura 5.3 apresenta a aquisição dos dados reais e neste são tratados de acordo com o dimensionamento do modelo a ser usado, definidos através da sequência de operação demonstrada abaixo conforme planilha de operação, gerando os dados de identificação e em sequência a validação de cada modelo.

Figura 5.3 – Tela de Comando para a Análise das Séries Temporais relacionado aos Modelos Operacionais - GRETTL.



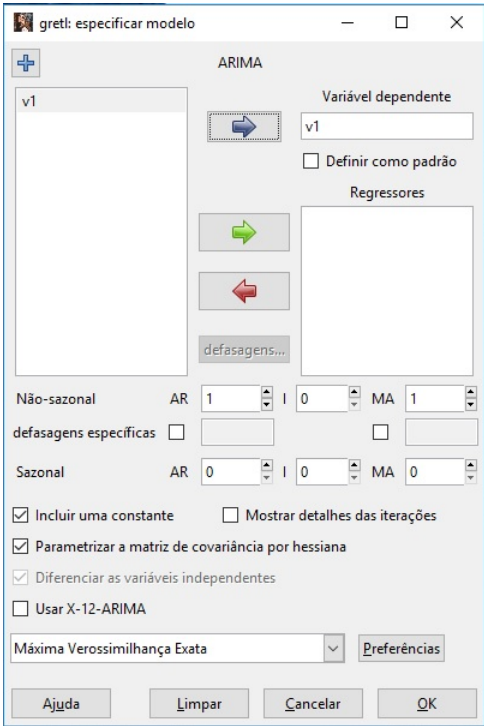
Fonte: GRETTL.

Os modelos gerados são obtidos como a aplicação do GRETTL, na qual a sequência de operação do software é obtida com a ativação do menu "*Modelo*", em sequência "*Série temporal*", e em seguida o especificador "ARIMA", conforme a Figura 5.4; neste "*front*", estão contidos os perfis que dimensionam as partes não sazonais definindo o AR (Auto Regressivo), a componente I (Integrado) e a MA (Média Móvel), e em conformidade a parte Sazonal apresenta o mesmo procedimento, os modelos e suas dimensões geram os novos dados para predição apresentados em tabelas, gráficos e perfis segundo a metodologia de cada projeto.

O perfil do modelo projetado é apresentado na Figura 5.5, na qual são definidos os coeficientes ϕ_i (ϕ_i) da parte autorregressiva e os θ_i (θ_i) da componentes de média móvel, o componente p-valor deve ser significativo, e para isso o modelo deve ser adequado até atingir estas referência, para o caso a 10% na coluna p-valor, e assim também se apresentam a parte sazonal para o modelo em definição.

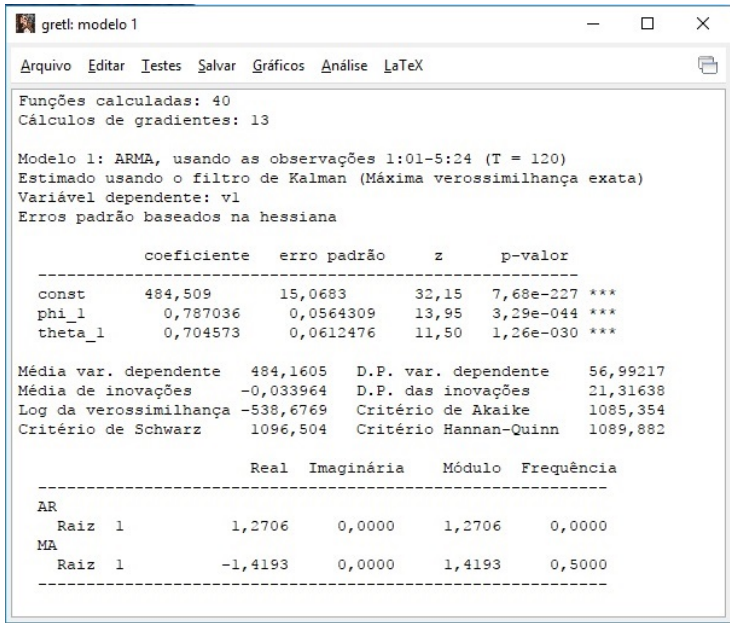
Em sequência, é efetuada a comparação do modelo definido "V1", e a parte real do sinal definindo, e a validação do modelo em continuidade a partir da previsão em área hachurada, este procedimento é baseado na Figura 5.6, o gráfico apresentado é do próprio

Figura 5.4 – Tela de Comando Aplicado a Dimensão dos Especificação dos Modelos Operacionais - GRETL.



Fonte: GRETL.

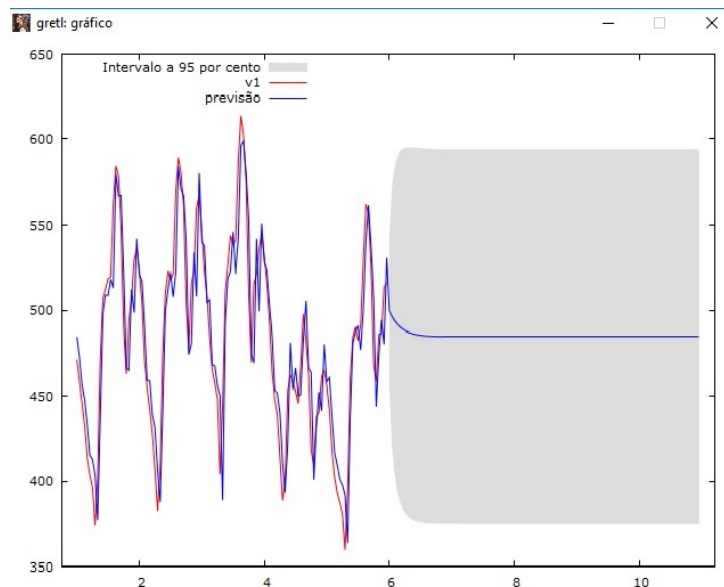
Figura 5.5 – Tela dos Dados Gerais do Modelo Operacionais Dimensionado - GRETL.



Fonte: GRETL.

software GRETL. todo este processo demonstra que é possível em um intervalo de 95%, definir um modelo que vá buscar a predição definida na legislação vigente.

Figura 5.6 – Representação de uma serie temporal com 5 dias úteis, relacionando Potencia Ativa em MW, eixo das ordenadas, com a referencia em dias, eixo das abcissas, com Relação da Validação do Modelo Operacional a Previsão dos 5 próximos dias (Área Sombreada), Outubro de 2016.



Fonte: GRETTL.

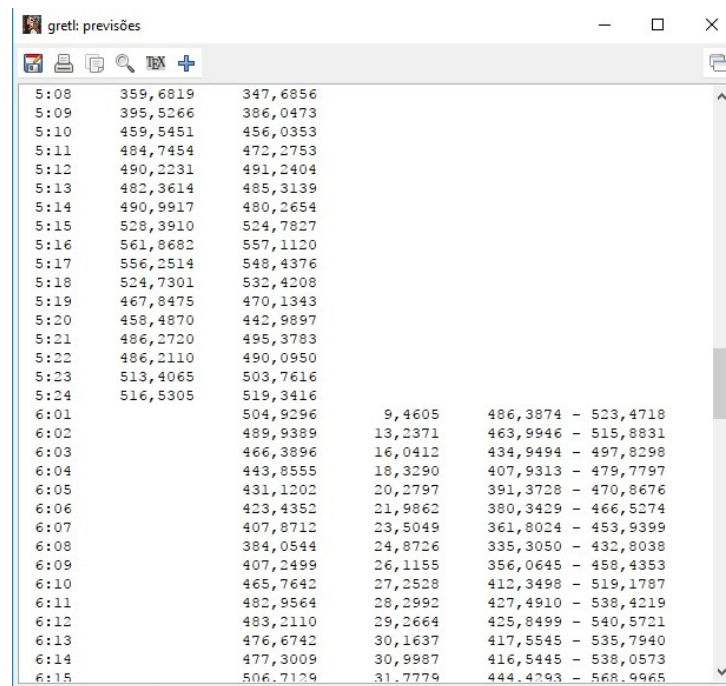
Em análise de predição, é necessária a definição do período, para o caso deste trabalho são em dias conforme a proposta a curto e médio prazo. Na Figura 5.7 observa-se na primeira coluna os dias a serem preditos na segunda o sinal real; e na terceira coluna o validador e em seguida o preditor com, na sequência de colunas, a diferença do estimado e sinal real e em sequência o mínimo e o máximo para que o sistema apresente 95% de assertividade quanto ao modelo.

Em continência do processo, o método será aplicado a todos os modelos para uma comparação de efetividade e ser satisfatório o modelo utilizando para a lógica *fuzzy*, e o dimensionamento dos processos sazonais autorregressivo, através do cálculo de autocorrelação estendida que é o escopo do modelo conforme (CARVALHO JR., 2016).

A comparação a ser feita tem como referência a projeção em curto prazo, para as projeções de 5 dias, conforme apresentado em (DINIZ, 2011), os modelos em relação ao sinal real expresso em outubro de 2016. Estas projeções serão a base de relação de eficiência dos modelos com relação a legislação.

A separação em semanas, a fim de observação somente dos dias produtivos, nesta apresentação são identificados os feriados, os quais distorcem em outro plano a sequência da predição, e em seguida a divisão em sábados e domingos, como um segundo grupo para predição. Os dados tratados serão implementados nos modelos ARMA, ARIMA e SARIMA, e dimensionado conforme cada modelo apresentado, utilizando as ferramentas de correlograma e periodograma conforme manual de operação (COTTRELL; LUCCHETTI,

Figura 5.7 – Resultado Numérico da Relação da Validação do Modelo Operacional com a Previsão dos Dados Gerais do Modelo Dimensionado.



5:08	359,6819	347,6856		
5:09	395,5266	386,0473		
5:10	459,5451	456,0353		
5:11	484,7454	472,2753		
5:12	490,2231	491,2404		
5:13	482,3614	485,3139		
5:14	490,9917	480,2654		
5:15	528,3910	524,7827		
5:16	561,8682	557,1120		
5:17	556,2514	548,4376		
5:18	524,7301	532,4208		
5:19	467,8475	470,1343		
5:20	458,4870	442,9897		
5:21	486,2720	495,3783		
5:22	486,2110	490,0950		
5:23	513,4065	503,7616		
5:24	516,5305	519,3416		
6:01	504,9296	9,4605	486,3874	- 523,4718
6:02	489,9389	13,2371	463,9946	- 515,8831
6:03	466,3896	16,0412	434,9494	- 497,8298
6:04	443,8555	18,3290	407,9313	- 479,7797
6:05	431,1202	20,2797	391,3728	- 470,8676
6:06	423,4352	21,9862	380,3429	- 466,5274
6:07	407,8712	23,5049	361,8024	- 453,9399
6:08	384,0544	24,8726	335,3050	- 432,8038
6:09	407,2499	26,1155	356,0645	- 458,4353
6:10	465,7642	27,2528	412,3498	- 519,1787
6:11	482,9564	28,2992	427,4910	- 538,4219
6:12	483,2110	29,2664	425,8499	- 540,5721
6:13	476,6742	30,1637	417,5545	- 535,7940
6:14	477,3009	30,9987	416,5445	- 538,0573
6:15	506,7129	31,7779	444,4293	- 568,9965

Fonte: GRETL.

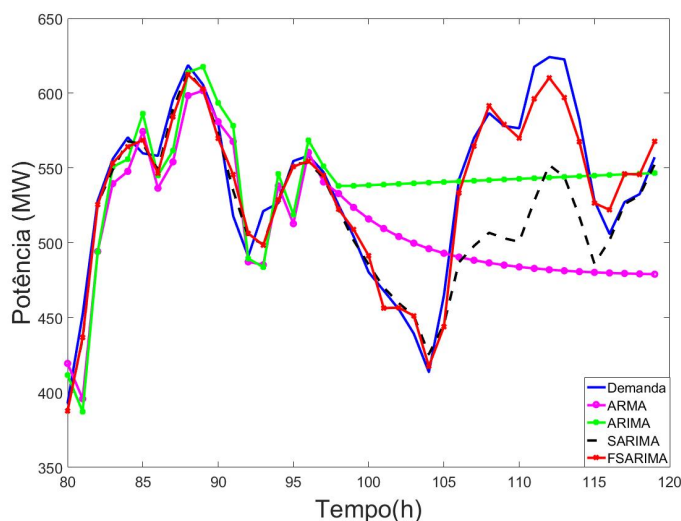
2017) usado para definir as dimensões dos modelos. Os modelos comparados devem ter sua validação conforme (AGUIRRE, 2015). O processo é demonstrado na Figura 5.8, que apresenta entre o tempo (horas), no intervalo de 80 a 96 horas, o acompanhamento assintótico dos modelos a demanda, e em seguida a validação para a predição, de 97 a 120 horas; somente o FSARIMA tem o comportamento similar os demais apresentam não conformidade quanto ao acompanhamento do sinal futuro.

5.2 Sistema *FUZZY* e Função de Autocorrelação Estendida Aplicado a Séries temporais.

Para o processo de fuzzyficação são definidos o numero de regras triangulares 'm' definido com o número ótimo de regras, sendo utilizada $m=7$, conforme exposto por (MILLER, 1994) e aplicado e (CARVALHO JR., 2016).

O processo de Identificação *Fuzzy* para modelos Autorregressivos Sazonais Mediante a Função de Autocorrelação Estendida é implementado as séries temporais de energia elétrica, e os passos para obtenção de resultados operacionais são utilizados em análise para o mês de outubro de 2016, visto que o mês em referência não possui variações significativas de quedas de tensão ou medidas em falta, no entanto, para pequenos casos é aplicada a predição do sinal recuperando seu valor mais preciso quanto a demanda real,

Figura 5.8 – Validação e Previsão dos Preditores da Série Temporal em Relação aos Modelos Operacionais.



Fonte: Dados Ceron - Tabela A.1 em Anexo.

o conceito de um sinal fuzzyfificado passa pela metodologia de séries temporais, visando a implementação de um sistema que apresente também o conhecimento do especialista, e colocando em um modelo sazonal que caracteriza a série temporal, cuja predição aconteça no intervalo utilizando aos dias úteis, observando as faltas e falhas de medidas; em seguida as séries temporais de curto prazo, representando o dia da semana, corrigidos aos possíveis valores reais, de base na observação dos valores passados de cada dia da semana semelhante, sem interferências, ou seja, a demanda com valores reais. O processo é dividido em 4 semanas a segunda a sexta feira, no qual as predições ocorrem a partir da segunda até a quarta semana do mês de outubro de 2016, observando-se os processos de 7 e 14 dias para a predição. Os passos são apresentados em sequência de 1º a 7º.

1º passo: Os dados utilizados são registros oriundos do Banco de Dados, ao qual são contabilizados os registros de Potência Ativa consumida por todos os municípios de Rondônia durante o mês de Outubro de 2016, no qual são identificados as demandas com relação aos dias úteis, sábado e domingo e feriados, as faltas de registro e não contabilização dos mesmos em aquisição pela Empresa. Os dados foram montados em blocos de 4 semana de Domingo a Sábado, em uma medição de 24 horas, hora a hora, conforme o ANEXO, Tabela A.1, Tabela A.2, Tabela A.3 e Tabela A.4.

2º passo: A Definição do Universo de discurso U , sendo este acrescentado no valor máximo e subtraído do valor mínimo da série temporal conforme a apresentado em (5.1), a dimensão dos dados utilizados em cada semana separadamente com suas características, utilizando somente a parte de dias úteis, com 120 horas de medida de potência elétrica ativa. Esta série temporal é preparada com um acréscimo do seu desvio padrão representado por σ (desvio padrão) conforme a equação (5.2).

$$U = [Z_{mim} - \sigma; Z_{max} + \sigma]. \quad (5.1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (Z_i - \hat{Z})^2}{n}} \quad (5.2)$$

3º passo: Partição do universo de discurso U em m regras *fuzzy* ou termo linguística, definido de acordo com o especialista, para o caso deste trabalho foi definido $m = 7$ e operacionalizada por (CARVALHO JR., 2016), o comprimento de cada regra é definido por l , e é definida pela equação (5.3), as regras *fuzzy* $A_j, j = 1, \dots, m$, são da forma triangular, sendo que as faixas de operação serão definidos por $u_i = (a_i; b_i; c_i) i=1, 2, 3, \dots, n$, sendo n o numero de intervalos que formam a base das regras A_j , sendo definido como extremidade esquerda, centro e direita da base do triângulo. Em definição com a maioria dos processos utilizados em uma faixa operacional de m é viável a operação do sistema entre 5 e 9 regras, segundo (MILLER, 1994) é esta a capacidade de um ser humano definir regras para classificação de conjunto *fuzzy* sem que haja prejuízo quanto a capacidade de memória do sistema de seleção.

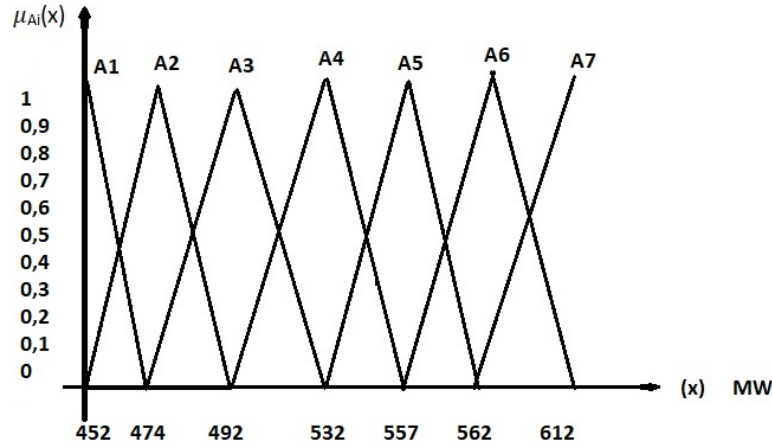
$$l = \frac{[Z_{max} + \sigma] - [Z_{mim} - \sigma]}{m} \quad (5.3)$$

4º passo: Definição dos conjuntos *fuzzy* A_i , a partir dos intervalos *fuzzy*, através do intervalo U do 2º passo construir os intervalos $u1(a1; b1)$ para as regras, sendo estas como exemplo, a regra $A1$ e $u1(b1; c1)$ sendo as demais no formado $u_i = (a_i; b_i; c_i)$.

5º passo: Construção dos números *fuzzyficados* conforme os conjuntos *fuzzy* definidos anteriormente, para as séries temporais de dados históricos obedecendo as regras de *fuzzyficação* segundo (YATES; GOODMAN, 2016). A Figura 5.9, em seu eixo de ordenadas é apresentado a função de pertinência com referência de valores no o intervalo entre 0 e 1, de forma decimal, e no eixo das abcissas os valores de energia em MW, para definir os intervalos das Regras A_i , representa a distribuição das regras que será aplicada a série temporal histórica gerando uma nova série temporal *fuzzyficada*, onde cada regra $A_i, i = 1, 2, 3, \dots, n$, representa um intervalo de valores relacionados a potência ativa do sistema.

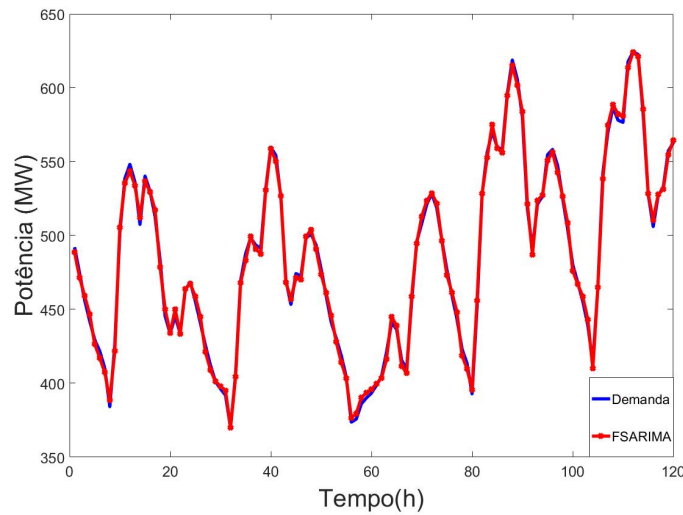
A relação entre os sinais é apresentada de forma gráfica para a representação da comparação do modelo em relação ao sinal real. A Figura 5.10 representa o sinal de comparação entre a série Real e a fuzzyficada, onde é definida por ser o período de 5 dias úteis da semana, definidas em horas contínuas de uma em uma hora, com início em 0 e final em 120 horas, relacionado ao valor de potência de cada hora consumida, fundamentação da demanda por séries temporal histórica.

Figura 5.9 – Representação das 7 Regras do Sistema *Fuzzy* que representam a serie temporal *fuzz* para os valores de energia elétrica de 5 dias úteis, e as referências da Função de pertinência das $\mu_A(x)$ no intervalo entre 0 e 1, e (x) os valores da Demanda em MW.



Fonte: Autoria própria.

Figura 5.10 – Relação entre a Série Temporal de Energia Elétrica da Demanda e sua Série Temporal Fuzzificada, para Validação do Modelo - Tabela A.1 em Anexo.

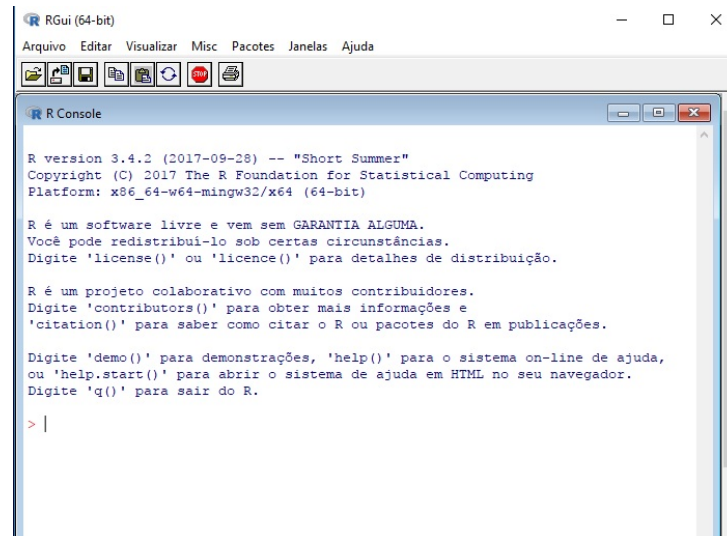


Fonte: Autoria própria.

Aplicar a série histórica remodelada, a *defuzzyficação* dos dados pelo método centroide e aplicar a função de autocorrelação estendida *fuzzy* para definição do modelo, utilizando a função $W_{i,k,j}^{DF_z}$. Os dados que definiram a parte ARMA é definido pelo *software* R, sendo apropriado pois, além de ser uma linguagem de programação, também é um ambiente de desenvolvimento integrado para cálculos estatísticos e gráficos de

acordo com (CRYER; CHAN, 2008), e conforme demonstrada na Figura 5.11.

Figura 5.11 – Tela inicial do software R, Para Geração da Função de Autocorrelação Estendida, para o dimensionamento do modelo FSARIMA.



Fonte: Fonte adaptada do *Software R*.

A definição do perfil da autocorrelação sobre as séries temporais *fuzzy* é definida pelo *Software* livre R (Projeto de Estatística Computacional). O programa através do pacote TSA, com o comando $eacf(w)$, conforme demonstrado no pseudo código, gera a função de autocorrelação estendida de uma série temporal w , onde dimensionar o FSA-RIMA, em seus parâmetros p e q , seguindo os procedimentos para definição de acordo com os passos operacionais. A nova série temporal histórica é processada pelo *software* R, para determinação da ordem do modelo ARMA que vai compor a estrutura do modelo FSARIMA. A implementação do procedimento operacional apresentado para determinação do modelo é definido, conforme demonstrado a seguir. Portanto, este procedimento garante a ativação do pacote "TSA", que contém a função de autocorrelação estendida e a definição do número de *lag's* para dimensionamento da série temporal preditiva, de forma gráfica.

O pseudo código do programa que gera a função EACF é dado por:

```
banco = read.csv2(file.choose()) %teclar "Enter", selecionar o arquivo  
que contém a base de dados: série temporal.  
(banco) %teclar "Enter"  
(w, type = "l")% teclar "Enter"  
require('TSA') %teclar "Enter"  
(w) %teclar "Enter"  
(eacf(w)) %teclar "Enter"  
(w, main='Autocorrelations', wlab="", wlim=c(-1, 1), ci.col = "black")
```

```

%teclar "Enter"
require('Pacf')
(y, main='Autocorrelations', ylab='', ylim=c(-1, 1), ci.col = "black")
%teclar "Enter"
=armasubsets(y=w, nar=1, nma=1, w.name='test', ar.method='ols')
%teclar "Enter"
plot(res) %teclar "Enter"

```

Figura 5.12 – Função de Autocorrelação Estendida Gerada a Partir do Software R , pacote TSA e comando (feac), para Dimensão de AR e MA do Modelo FSARIMA.

AR/MA	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o
1	x	x	o	o	o	o	o	x	x	o	o	o	o	o
2	x	o	o	o	o	x	o	o	o	o	o	o	o	o
3	x	o	o	o	o	x	o	o	o	o	o	o	o	o
4	x	o	o	x	o	x	o	o	o	o	o	o	o	o
5	x	o	x	x	o	x	x	o	o	o	o	o	o	o
6	o	x	x	x	o	o	x	x	o	o	o	o	o	o
7	x	x	o	x	o	o	x	x	o	o	o	o	o	o

Fonte: Software R.

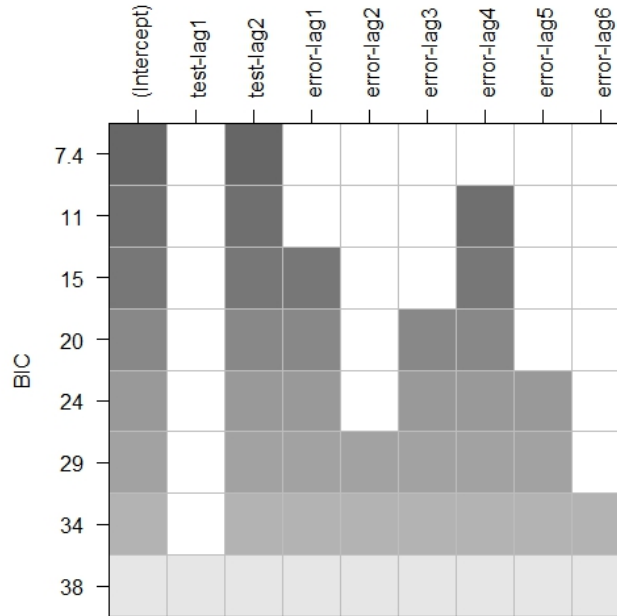
A Figura 5.13 representa o Critério de Informação Bayesiano (BIC), que graficamente demonstra os parâmetros, isto é, termo independente (intercepto) e coeficientes do modelo estimado, que necessariamente devem ser mantidos no modelo. Portanto, o teste BIC corrobora com a determinação da ordem do modelo pela função EACF, que é definido neste processo conforme a apresentado na Figura 5.13, representa o referencial $s=36$, no *test - lag1*, o número de defasagem em relação a definição da parte sazonal do modelo $FSARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_{s=36}$, e os demais valores serão definidos conforme o dimensionamento do modelo utilizando a função da autocorrelação estendida.

6º passo: Após o dimensionamento do preditor é gerado a previsão da série temporal estimada pelo método escolhido definido no passo 5.

7º passo: O processo de medição para uma relação de eficiência do modelo dimensionado, primeiramente para a validação e em segundo para previsão. Para a validação do Medidas de Acurácia comparar os resultados identificando na forma gráfica e de tabela, fazer a análise com erro MAPE, MASE e RMSE.

Para uma medição mais exata das previsões, é efetuada uma diferença entre o valor da série temporal histórica com a série estimada pelo modelo, par a par de $i = 1, 2, \dots, n$, em observância do tamanho da série T , onde o resíduo é $e_i = Z_i - \hat{Z}_i$, relaciona as duas séries temporais. Para tal utiliza-se o erro percentual absoluto (MAPE), que implica este resíduo e o relaciona a um valor da série temporal histórica em referência, sendo uma média percentual definida com a divisão do valor pelo número n de observações utilizadas

Figura 5.13 – Critério de Informação Bayesiano (BIC), com os coeficientes estimados que devem ser mantidos no modelo.



Fonte: Fonte: Pacote TSA - *Software R*.

conforme a Equação (5.4), sendo indicado para comparação de séries temporais distintas, e como em (CARVALHO JR., 2016), também é adotado neste trabalho, a predição como uma série temporal distinta; portanto, a comparação é feita para determinação do referencial de erro.

$$MAPE = \frac{100}{T} \sum_{i=1}^n \frac{|Z_i - \hat{Z}_i|}{Z_i} \quad (5.4)$$

A medida de acurácia definida como Escala de Erro Médio Absoluto (MASE), conforme a Equação (5.5), segundo (HYNDMAN; KOEHLER, 2006) é aplicada em soluções de medidas de erro em comparar séries temporais sem influências externas com processo de previsão de séries *fuzzy*, sendo uma relação de erro entre a série original em diferença da estimada, com o processo de erro médio somente no sinal original, não tendo influência do sinal de predição na segunda parte, e como citado em (CARVALHO JR., 2016), geralmente são adotados em previsões *fuzzy*. Para que os erros (resíduos) gerados pelo modelo de previsão ajustado sejam um ruído branco, tal como, se faz necessário estes devem ser identicamente distribuídos segundo uma função densidade de probabilidade normal com média zero e variância constante, apresentando uma relação de erro confiável, pois não tem influência de interferência externa definidos no cenário da variável em observação.

$$MASE = meam \left(\left| q_i = \frac{Z_i - \hat{Z}_i}{\frac{1}{n-1} \sum_{i=2}^n |Z_i - Z_{i-1}|} \right| \right) \quad (5.5)$$

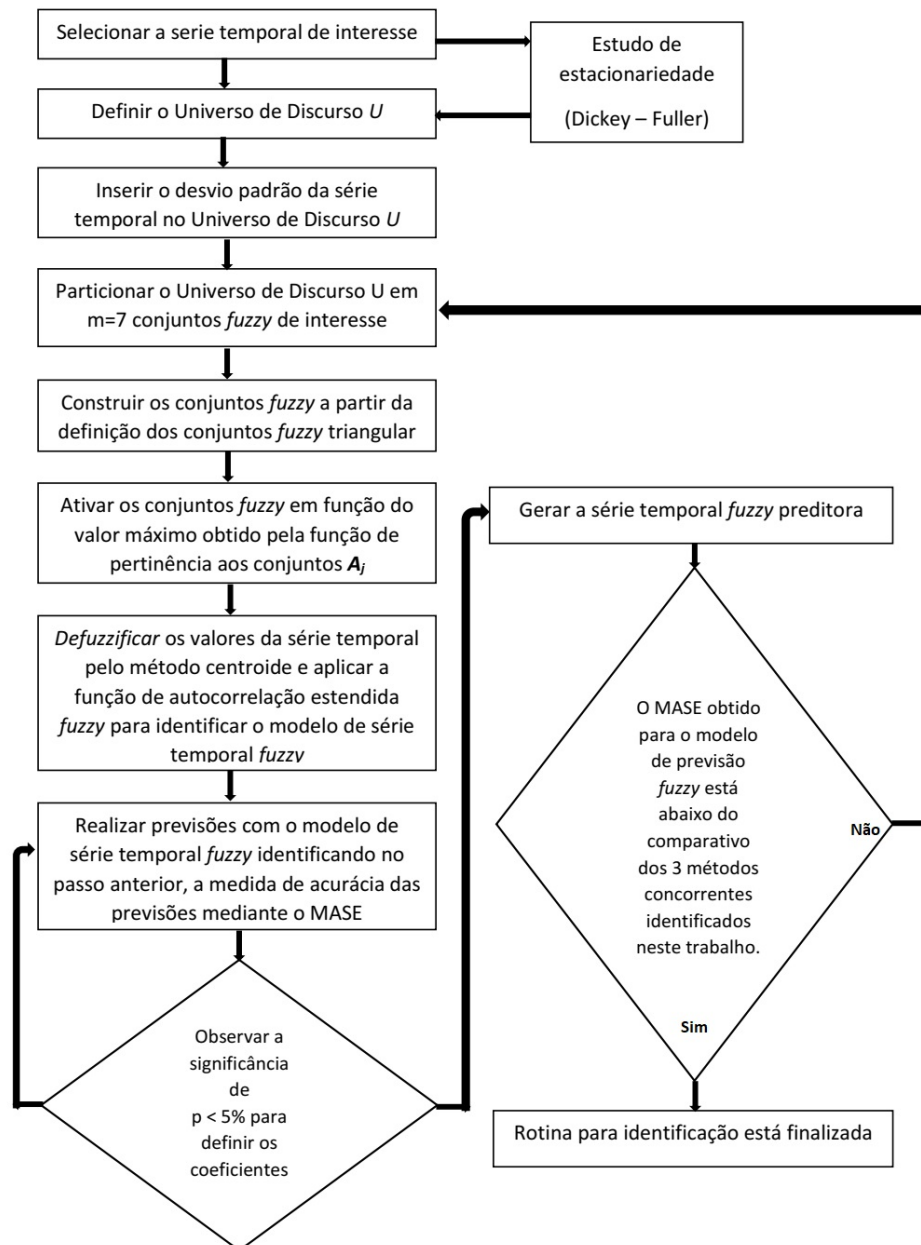
Uma outra medida de acurácia que será utilizada neste trabalho é a Raiz do Erro Médio Quadrático (RMSE) apresentado na Equação (5.6), que é a diferença quadrática média dos sinais reais com o estimado visando a determinar um erro que em torno de uma média represente uma medida de erro onde no instante i esta relação seja um valor de dimensão semelhante ao das séries em questão conforme (CAMPOS; JESUS; MENDES, 2007) e (MOREIRA et al., 2011).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i - \hat{Z}_i)^2} \quad (5.6)$$

Os valores retornados pelos erros de previsão serão o fator de comparação entre os modelos aplicados as predições dos modelos convencionais e o operacionalizados neste trabalho.

O fluxograma para representar a rotina que define a série temporal *fuzzy* com seu comportamento sazonal, tanto na parte de completamento de dados faltosos, seu comportamento em referência a validação do sinal que representa a série de energia elétrica, bem como a predição é observado na Figura 5.14.

Figura 5.14 – Fluxograma para rotina de geração da série temporal FSARIMA, proposta neste trabalho para simulação de série temporal para previsão de demanda de energia elétrica em Rondônia - Outubro de 2016.



Fonte: Adaptada de (CARVALHO JR., 2016)

6 Simulação e Análise do Processo: Resultados e Discussões

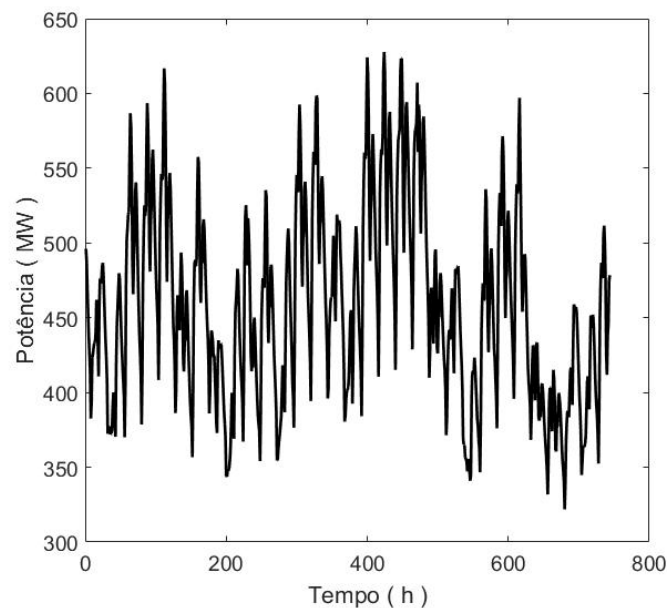
O perfil histórico das séries temporais, sobre o consumo de energia elétrica em análise, é fator preponderante para aplicação de modelos que, em metodologia aplicada, possam apresentar um desenvolvimento assintótico descrevendo matematicamente uma representação comportamental desta série. Para as séries temporais de energia elétrica utilizada por este trabalho, observa-se um comportamento sazonal no qual se encontra incluso o comportamento sobre a variação de temperatura e umidade, bem como a variação de consumo quanto ao comportamento dos clientes da operadora. Para este, é relevante o perfil definido pelo consumo, no qual, por meio de aplicação de modelos preditivos, possam ser comparados à proposta de aplicação do modelo de Identificação *Fuzzy* e Autorregressivo Integradores de Média Móvel Sazonais com Função de Autocorrelação Estendida. A base de dados baseia-se no consumo de 2012 a 2016, e em análise para predição de demanda aplicados ao mês de outubro de 2016, obtendo um modelo de predição com validação e previsão de demanda, para 5 (cinco) dias, os resultados obtidos são comparados através de análise de erro entre os modelos e o sinal real de energia elétrica da Concessionária.

6.1 Base de Dados da Eletrobras Distribuidora Rondônia

A base de dados a ser utilizada para estudo e análise foi obtida através da autorização da Presidência da Eletrobras Distribuidora Rondônia, conforme o Anexo A, mediante solicitação acadêmica da Universidade federal de Rondônia através do Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica. Tal base tem como referência os anos de 2012 a abril de 2017, sendo este relacionados a uma aquisição de uma em uma hora, definido a todos os dias dos anos em questão, seu detalhamento passa pela relação geral de consumo representado todo o Estado de Rondônia com relação a fornecimento de energia elétrica, em seguida separado por municípios, Alimentadores e Subestações, identificando o consumo de Corrente Elétrica (Amper), Tensão de operação do sistema, Potência Ativa em *MW* (Mega Watt). Os alimentadores e transformadores são identificados em cada município e a planilha do perfil de consumo é apresentada em capital e interior. Em determinadas datas e horas há falhas de aquisição dos dados, como faltas de informação ou sequência de zeros, tornando-se uma fonte de informação a ser completada, para que estas faltas não sejam fator fundamental para que o processo de definição de demanda proposta por este trabalho não se operacionalize, em tempo os dados serão completados pelas medidas anteriores e de referências conforme o dia da semana sob condições do histórico da série temporal de energia elétrica que representa as medidas de consumo de Empresa. Todo o processo de predição de demanda está definido a um tempo referenciado de 30 dias, 4

semanas, 20 dias úteis, 4 sábados e 4 domingos, e alguns feriados: nacionais, dia 12 e 15 de outubro, respectivamente quarta-feira e sábado; municipais, em Porto Velho dia 02 de outubro, sábado, e em Ariquemes no dia 04 de outubro, terça-feira - tais municípios são importantes na participação do consumo de energia elétrica de Rondônia. Para o mês de Outubro de 2016, a Figura 6.1, possui um comportamento de uma série sazonal, o tempo está em horas sendo que a cada 24 horas, observa-se o comportamento de um dia completo, sendo o mês é representado na faixa de aproximadamente 720 horas, e cada relação de consumo é apresentada em forma de Potência Ativa em *MW* com um limite de entre 640 *MW* e no mínimo de aproximadamente de 320 *MW*. O processo de identificação dos dados em dias úteis é definido em 4 semanas, no qual é apresentada uma faixa temporal de 120 horas, os sábados e domingos, bem como os feriados serão tratados de forma a interferir no processo de predição de forma isolada, uma vez que a análise pode ser feita devido ao perfil de cada dia não útil.

Figura 6.1 – Perfil da Demanda de Energia Elétrica em Rondônia, com relação da Potência consumida em Mega Watt (*MW*) e o Tempo em horas (*h*) - Mês de Outubro de 2016.

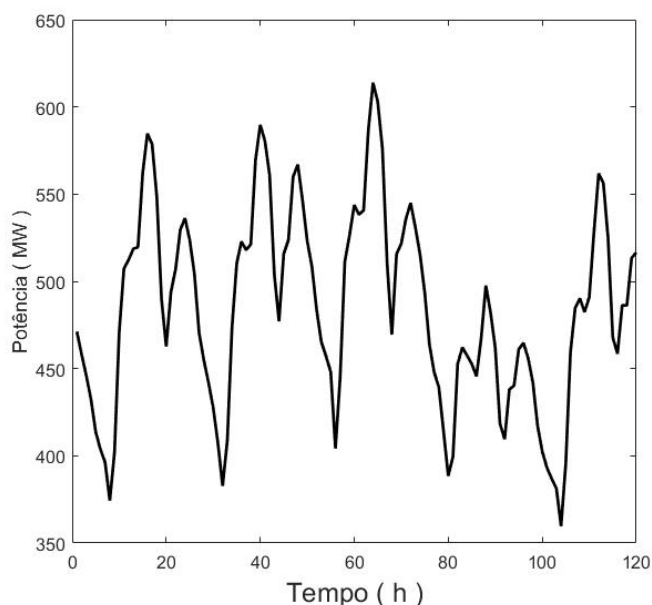


Fonte: Adaptada: Dados CERON.

A representação da primeira semana a Figura 6.2 tem em seu comportamento um pequeno processo de falta de informação definido no banco de dados, e entre 72 horas e 96 horas existe uma acentuada falta na medida do consumo de energia; porém, isso não significa que é um dia atípico, mas sim porque há uma sequência de ausência de informações no banco de dados da subestação AREAL, no qual seus alimentadores registraram 0 de consumo de energia, não sendo informado se por falha do sistema ou na aquisição de dados., da subestação AREAL, onde seus alimentadores registraram 0 de

consumo de energia não sendo informado se por falha do sistema ou falha na aquisição dos dados. O consumo máximo é de aproximadamente de 620 MW, o mínimo de 350 MW, conforme apresentado antes o pico do da potência ocorre dentro de cada 24 horas, que representam os dias da semana de segunda a sexta-feira: neste período não houve feriado e nem observação de ocorrências comerciais, ficando somente as falha no registro dos dados conforme apresentado.

Figura 6.2 – Perfil da Demanda de Energia Elétrica em Rondônia - 1ª Semana do Mês de Outubro de 2016.

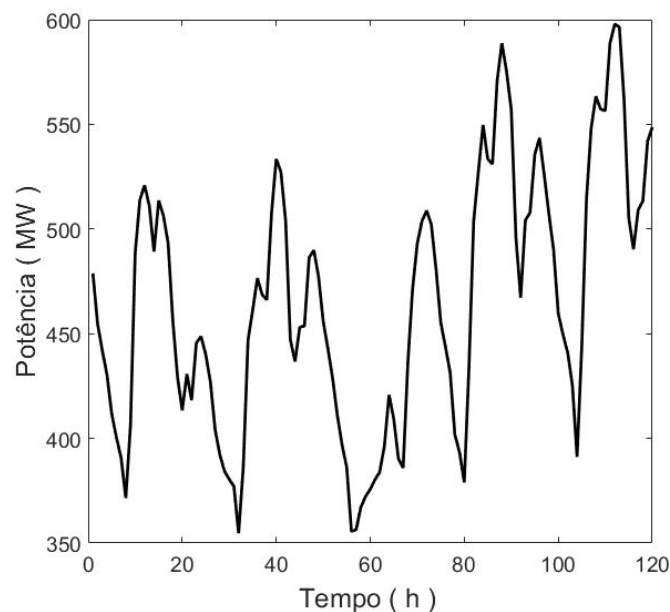


Fonte: Adaptada: Dados CERON.

A Figura 6.3, representa a segunda semana do mês de Outubro de 2016, por meio dos dados e informações de datas, esta registrado e influenciando a demanda de um feriado ocorrido em Ji-Paraná. Os alimentadores da subestação Areal, Areal 2 e Centro em Porto Velho; município de Guajará-Mirim, Itapuã, Pimenta Bueno, Cacocal e Ji-Paraná, Ariquemes 1 e 2, tiveram falhas nas medidas dos alimentadores, o que comprometeu a demanda real, ficando abaixo do esperado para as horas de 02 a 72, sendo de segunda a quarta um comportamento com distúrbio.

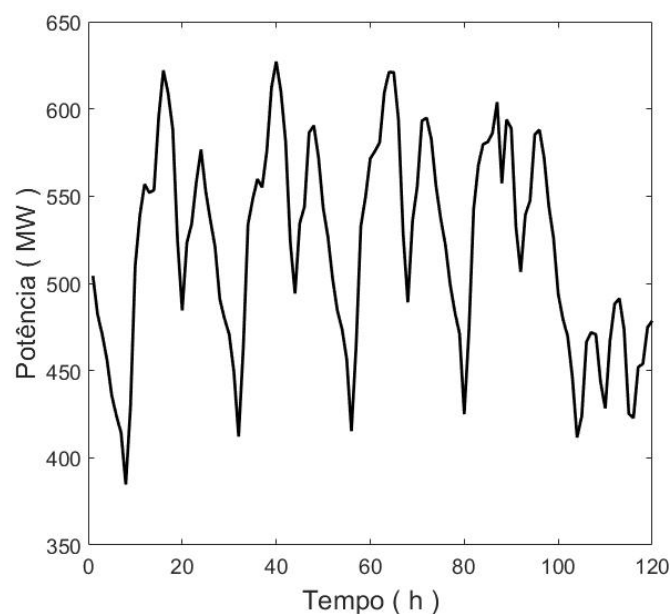
Para a Figura 6.4, no dia 20 de outubro, uma pequena descontinuidade de medida é observada em toda a Capital Porto Velho, as subestações de Areal, Areal 34,5 KV, Centro, Porto Velho e Tiradentes apresentaram uma medida de falta, não se observando outro problema como feriado. bservaram-se poucas horas e horário de pico para o dia 21 de outubro (faixa de 96 a 120 horas), e em toda capital é registrada sequência de 0 leituras, comprometendo a observação da demandas. Também se observa esta semana foi a menos afetada por distúrbios, tendo um quadro de medida aproximadamente real ou ideal sem interferências que compromettesse a demanda.

Figura 6.3 – Perfil da Demanda de Energia Elétrica em Rondônia - 2ª Semana do Mês de Outubro de 2016.



Fonte: Adaptada: Dados CERON.

Figura 6.4 – Perfil da Demanda de Energia Elétrica em Rondônia - 3ª Semana do Mês de Outubro de 2016.

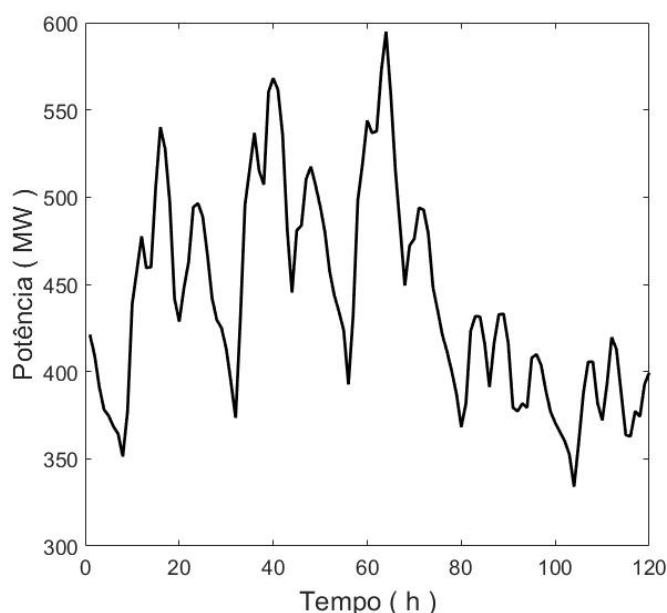


Fonte: Adaptada: Dados CERON.

Conforme observado na 4ª semana demonstrado pela Figura 6.4, o registro de sequência de falta de informação para complemento do banco de dados é caracterizado a diminuição da potência real. Pelo menos 50 % dos alimentadores da Subestação Areal

apresentaram medida de consumo zero (0), 2 barramentos da subestação Centro registraram consumo zero (0), a Subestação Areal de 34,5 KV, não registrou a medida de 2 alimentadores de consumo médio de 129 KW e 58 KW, e os municípios de Guajará Mirim, Nova Mutum, Itapuã, Pimenta Bueno, Cacoal, Jí-Paraná, Ariquemes 1 e 2, apresentaram medidas zero (0),72 a 120 horas, ou seja quinta e sexta-feira, comprometendo mais uma vez a medida da real da demanda. Em pelo menos 60 % todas as medidas foram comprometidas, e os todos os dados perdidos não apresentam uma possível recuperação, e comprometem a série histórica de energia.

Figura 6.5 – Perfil da Demanda de Energia Elétrica em Rondônia - 4ª Semana do Mês de Outubro de 2016.



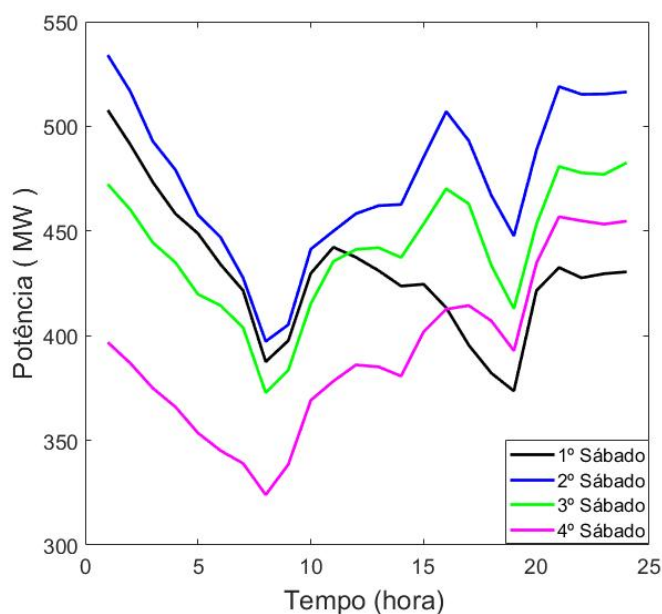
Fonte: Adaptada: Dados CERON.

Os dados apresentados, são os 4 sábados representados na Figura 6.6, conforme demonstrado.

Estes apresentam o mesmo perfil de consumo e uma diminuição na demanda de forma natural uma vez que não há atividade de Governo, comercial ou industrial profunda, ficando a cargo da atividade residencial atividade residencial o principal consumo, e mesmo assim, observa-se um pico às proximidades de 16 horas; todavia, fica registrado somente em seu maior volume os valores no período noturno de 0 horas aproximadamente e um início as 20 horas, podendo ser a demanda o valor de pico desta observação conforme (CERON, 2016).

Os domingos, representado na Figura 6.7, apresentam o perfil mais influente puramente residencial, observando-se o mesmo processo de carga noturna do quadro definidos pelos sábados: ou seja, a previsão da demanda se dará pelo pico do consumo, ficando padrão a previsão da demanda para estes dias, caso não haja interferência significativa

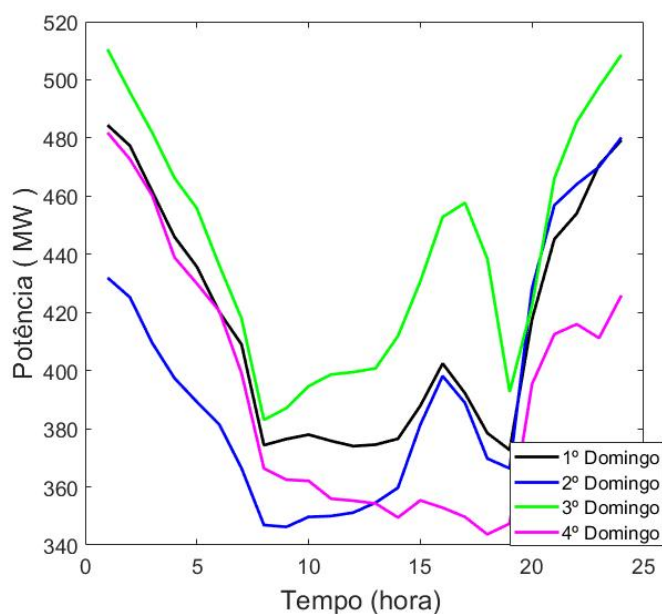
Figura 6.6 – Perfil da Demanda de Energia Elétrica em Rondônia - Sábados do Mês de Outubro de 2016.



Fonte: Adaptada: Dados CERON.

que modifique seu perfil, pois a série temporal histórica é bem definida, observando-se uma baixa de carga entre as 6 horas até aproximadamente as 20 horas.

Figura 6.7 – Perfil da Demanda de Energia Elétrica em Rondônia - Domingos do Mês de Outubro de 2016.



Fonte: Adaptada: Dados CERON.

6.2 Dimensionamento dos Modelos

A metodologia a ser implementada para previsão da demanda de consumo de energia elétrica é apresentada no Capítulo 5, em desenvolvimento do método Sistema *Fuzzy* e Autocorrelação Estendida são aplicados em um banco de dados oriundo da Empresa Eletrobras Distribuidora Rondônia, e conforme apresentado no item 6.1 deste capítulo. O Método de Identificação *Fuzzy* a ser utilizado para definir predição de série temporal histórica, como apresentado em (CARVALHO JR., 2016), é o *FSARIMA* e o processo é desenvolvido conforme a sequência das semanas: a primeira semana prediz a segunda semana e assim sucessivamente até o fechamento do mês de outubro de 2017, tanto para uma semana de 5 dias ou duas semanas de 5 dias. Quanto aos processo sobre predição de sábado e domingo, utilizaremos de forma simples somente a definição do pico de consumo do perfil. O processo de predição será comparado com os modelos já sedimentados como o ARMA ARIMA, SARIMA, conforme (HAMILTON, 1994).

Inicialmente são separados os dados de cada semana para a 1ª semana o banco de dados do Anexo Tabela A.1, os dias úteis são dispostos em forma sequencial de hora em hora, perfazendo um total de 120 horas na semana, aplicamos os modelos e obtivemos para validação e predição os valores de:

ARMA(2, 2)

ARIMA(1, 1, 2)

SARIMA(1, 0, 0)(0, 1, 1)_{S=12}

FSARIMA(1, 0, 0)(1, 1, 0)_{S=36}

Os dados tratados para a 2ª Semana são definidos na no ANEXO Tabela A.2, da mesma forma que na primeira sequencial de 1 a 120 horas, neste são definidos os modelos:

ARMA(3, 3)

ARIMA(0, 1, 1)

SARIMA(1, 0, 1)(0, 1, 1)_{S=12}

FSARIMA(1, 0, 0)(1, 1, 0)_{S=36}

Os dados tratados para a 3ª Semana são definidos na no ANEXO Tabela A.3, da mesma forma que na sequencial de 1 a 120 horas, neste são definidos os modelos:

ARMA(1, 1)

ARIMA(1, 1, 2)

SARIMA(1, 0, 0)(0, 1, 1)_{S=12}

FSARIMA(1, 0, 0)(1, 1, 0)_{S=36}

Os dados tratados para a 4ª Semana são definidos na no ANEXO Tabela A.4, da mesma forma que na sequencial de 1 a 120 horas, neste são definidos os modelos:

ARMA(1, 1)

ARIMA(1, 1, 2)

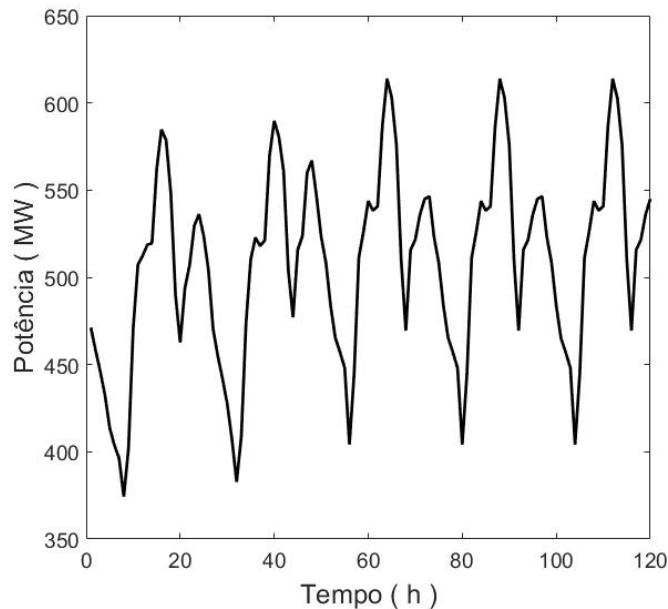
SARIMA(1, 0, 0)(0, 1, 1)_{S=12}

$FSARIMA(1, 0, 0)(1, 1, 0)_{S=36}$

Os perfis apresentados com observância dos dados em falta para cada semana, conforme apresentado a predição os as semana subsequentes, para a análise da comparação foram complementados com um próprio modelo $FSARIMA$, para completar as sequências de zero ou falta de informação apresentados no bancos de dados, conforme descrito em 6.1; a observação do perfil de cada dia individualmente somente é observado no próprio mês de outubro de 2016.

Para a sequência das figuras representando as semanas corrigidas para comparação na predição, conforme apresentado nas Figuras 6.8, 6.9, 6.10 e 6.11, são mantidos os sequencial de demanda no entanto, cada uma apresenta característica singular.

Figura 6.8 – Perfil da Demanda de Energia Elétrica em Rondônia - 1ª Semana ajustada do Mês de Outubro de 2016.



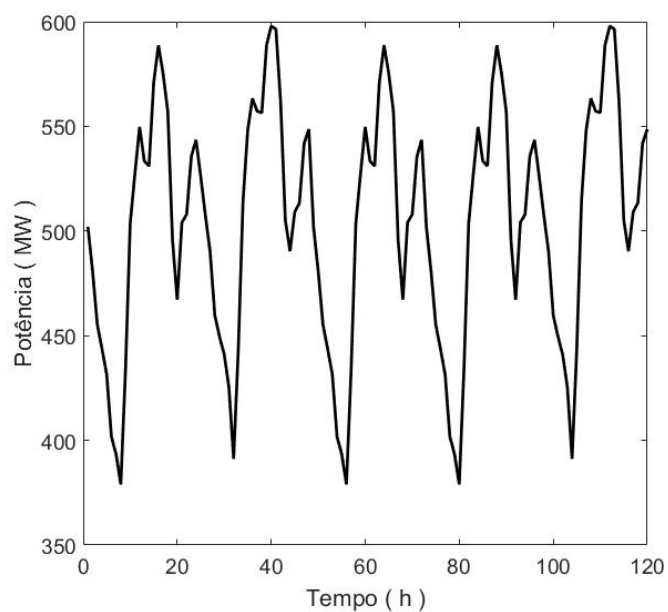
Fonte: Adaptada: Dados CERON.

Os dados da Figura 6.9 apresentam na sequência de 1 a 72 horas. Uma distorção, o processo de predição é utilizado da forma que foi projetado no $FSARIMA$ e demais modelos a serem comparados.

O perfil apresentado na Figura 6.10 é o mais regular, mas tende a uma acomodação e apresenta um valor de pico para cada dia da semana mais perene.

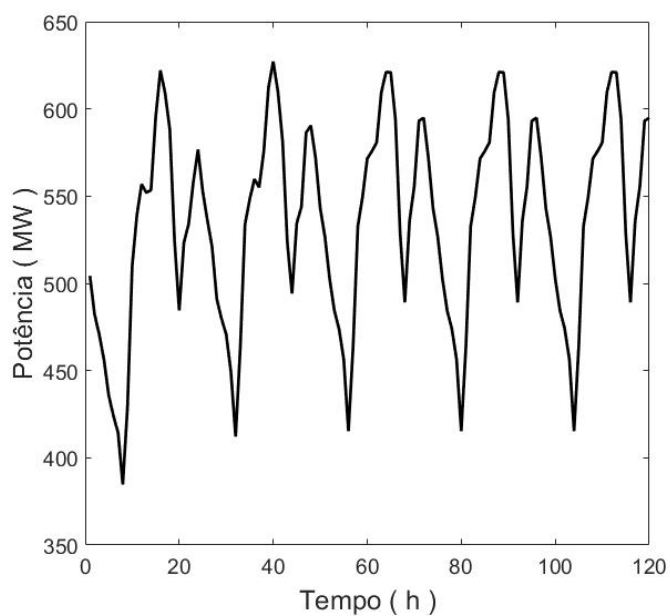
O perfil apresentado na Figura 6.11 é semelhante aos demais e operam a faixa de consumo de máximo e mínimo de Potência em MW na demanda do Estado de Rondônia.

Figura 6.9 – Perfil da Demanda de Energia Elétrica em Rondônia - 2ª Semana ajustada do Mês de Outubro de 2016.



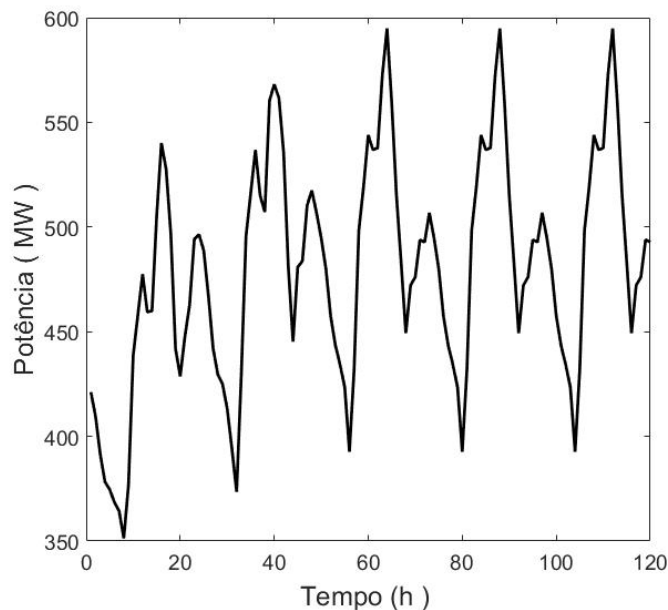
Fonte: Adaptada: Dados CERON.

Figura 6.10 – Perfil da Demanda de Energia Elétrica em Rondônia - 3ª Semana ajustada do Mês de Outubro de 2016.



Fonte: Adaptada: Dados CERON.

Figura 6.11 – Perfil da Demanda de Energia Elétrica em Rondônia - 4ª Semana ajustada do Mês de Outubro de 2016.



Fonte: Adaptada: Dados CERON.

6.3 Análise Comparativa dos Modelo Operacionais.

A série temporal *fuzzy* obtida é definida através do método centroide, para a saída dos sistemas com valores *crisp* conforme (WANG, 1999). Para o dimensionamento do modelo FSARIMA, ao se utilizar do *software* R, através do pacote TSA, no que se refere a função de autocorrelação estendida, o comando (`eacf(w)`) em que "*w*" é a série temporal *fuzzy*, e "`eacf(w)`" o comando do programa R utilizado para definir a dimensão da parte sazonal de "*w*", e os valores dos modelos, projeção, intervalo de mínimo e máximo, validação e predição, apresentados neste artigo pelo *software* Gretl (*software* livre).

A Figura 6.12 mostra uma simulação no *software* R, definindo o valor AR e MA, do FSARIMA, a parte sazonal, através do periodograma, o deslocamento da série sazonal (CRYER; CHAN, 2008).

Os valores de probabilidade, estatisticamente diferente de zero, ao nível de significância de 5%. O modelo FSARIMA ajustado conforme (POLLOCK, 1993). Conforme a tabela 1, apresenta-se a relação entre as regras de predição.

A relação do sinal *fuzzy*ficado e o sinal real da segunda semana apresenta boa aderência assintótica, e o modelo definido na Figura 5.10 é o $FSARIMA(2, 1, 1)(1, 0, 1)_{s=36}$.

Os modelos de referência e a série real apresentam um resultado semelhante, incluindo o FSARIMA para definição dos modelos, e validação conforme (AGUIRRE, 2015) representa o 1º processo para a predição da demanda. Na Figura 6.13, todos os modelos

Tabela 6.1 – Série temporal defuzzificada da demanda da Potência Elétrica de Rondônia
- Mês de Outubro de 2016, as regras ativas, relações *fuzzy* lógicas simples.

Tempo (Hora)	Potência (MW)	Regra Ativa	Relacionamento Lógica <i>Fuzzy</i>
1	492,1008	A4	A4
2	474,4336	A4	A4 $\rightarrow$ A3
3	456,3421	A3	A3 $\rightarrow$ A3
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
118	532,6151	A5	A4 $\rightarrow$ A5
119	557,288	A5	A5 $\rightarrow$ A5
120	562,7148	A6	A5 $\rightarrow$ A6

Fonte: Proprio Autor.

Figura 6.12 – Dimensionamento das ordens de P do AR e Q da MA através de Função de Autocorrelação Estendida, relacionado a série temporal da demanda energia elétrica de Rondônia.

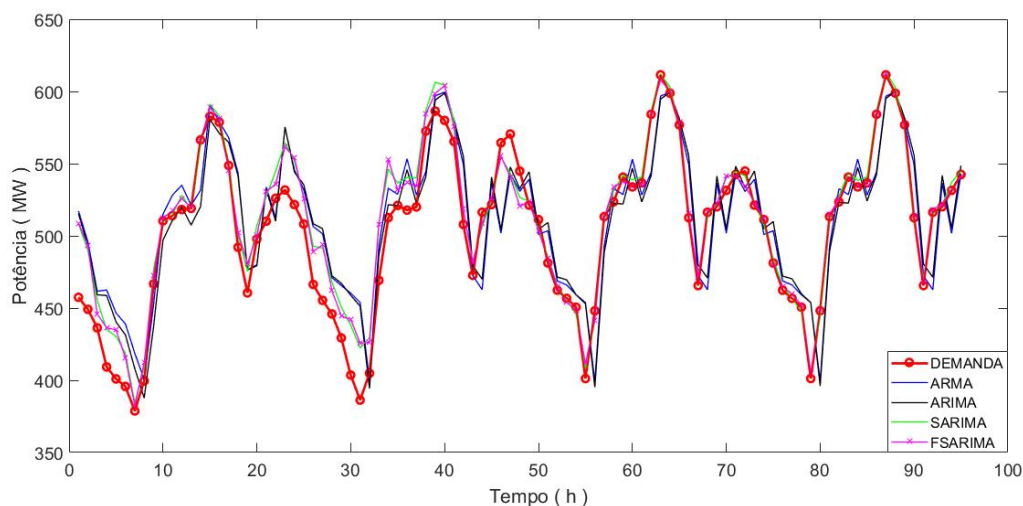
AR/MA	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o
1	x	x	o	o	o	o	o	x	x	o	o	o	o	o
2	x	o	o	o	o	x	o	o	o	o	o	o	o	o
3	x	o	o	o	o	x	o	o	o	o	o	o	o	o
4	x	o	o	x	o	x	o	o	o	o	o	o	o	o
5	x	o	x	x	o	x	x	o	o	o	o	o	o	o
6	o	x	x	x	o	o	x	x	o	o	o	o	o	o
7	x	x	o	x	o	o	x	x	o	o	o	o	o	o

Fonte: Pacote TSA - Software R.

possuem um comportamento assintótico ao sinal original do consumo de Energia Elétrica durante o primeiro período de validação. Todavia, na Tabela 6.2, observamos que são aproximados os valores de erro ficando o FSARIMA, com o MASE de 3,0253, o MAPE com 2,0539 e o RMSE com 10,1406. Ademais, em relação ao SARIMA, verifica-se uma variação nas casas decimais a menor, e em comparação com os modelos ARMA e ARIMA possuem uma relação de aproximadamente metade do valor em referência as três formas para a medição de erro, demonstrando o grau de aplicabilidade e uma conclusão satisfatória relacionado a primeira semana de testes em relação aos demais valores.

Com relação a segunda semana, os modelos em referência baseados no perfil da série temporal real apresentam um resultado em observação a Figura 6.14, com deslocamento em todas as partes que caracterizam a descendência da potência em relação as horas relacionadas. Esta diferença ocasiona um aumento em todos os erros utilizados para mapeamento; tal elevação é demonstrada na Tabela 6.14, e todos os modelos foram afetados neste caso. Em relação ao modelo FSARIMA, com o MASE de 3,3944, o MAPE

Figura 6.13 – Gráfico comparativo entre os modelos em operação sobre as séries temporais da demanda de energia elétrica de Rondônia - 1ª semana do mês de Outubro de 2016.



Fonte: Próprio Autor.

Tabela 6.2 – Comparativo dos processos de erro relacionado resultados dos modelos operacionais da série temporal da demanda de energia elétrica de Rondônia em referência ao sinal real - 1ª semana do mês de Outubro de 2016.

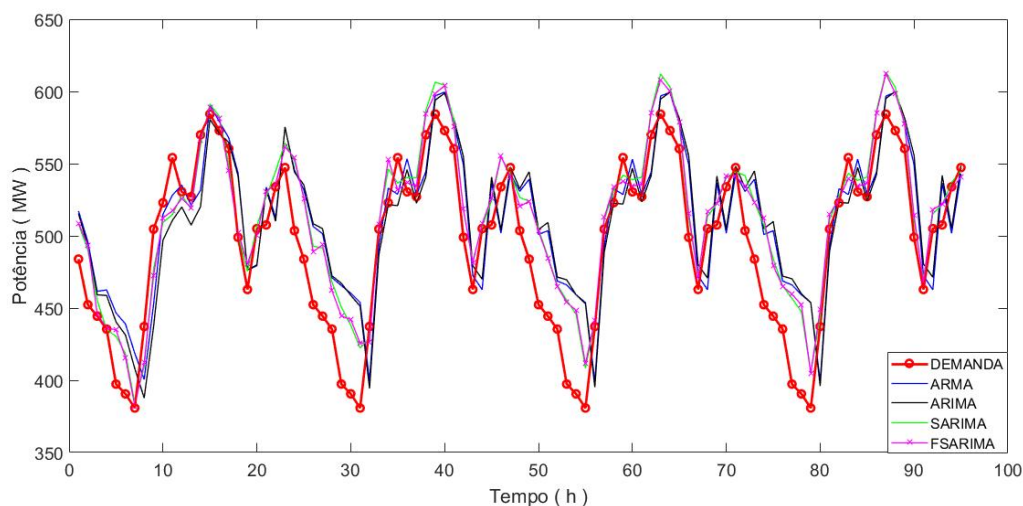
Modelos	RMSE	MAPE	MASE
ARMA	22,9676	4,5812	6,3164
ARIMA	23,4345	4,6650	5,6629
SARIMA	10,8977	2,1926	3,0724
FSARIMA	10,1406	2,0539	3,0253

Fonte: Próprio Autor.

com 4,2958 e o RMSE com 20,8360, em relação ao SARIMA apresenta uma variação nas casas decimais a menor, e em comparação com os modelos ARMA e ARIMA a relação de aproximadamente metade não se aplica, ficando agora uma relação de 2/3 aproximadamente em referência primeira forma de RMSE e o MPE. Porém em referência ao MASE ficam aproximados como diferença nas casas decimais com exceção do modelo ARIMA.

Para este processo as séries foram todas corrigidas das faltas, a terceira semana ficou com o melhor desempenho para a análise, e seguindo a lógica para as duas primeiras semanas continua o FSARIMA como o mais satisfatório dos modelos em observação. Em todos os processos verifica-se a validação conforme (AGUIRRE, 2015), representando o 1ª passo para a predição da demanda. A Figura 6.15 estão apresentados todos os modelos com comportamento assintótico mais refinado em referência sinal original, e observado também em relação a Figura 6.14.

Figura 6.14 – Gráfico comparativo entre os modelos em operação sobre as séries temporais da demanda de energia elétrica de Rondônia - 2ª semana do mês de Outubro de 2016.



Fonte: Próprio Autor.

Tabela 6.3 – Comparativo dos processos de erro relacionados resultados dos modelos operacionais da série temporal da demanda de energia elétrica de Rondônia em referência ao sinal real - 2ª semana do mês de Outubro de 2016.

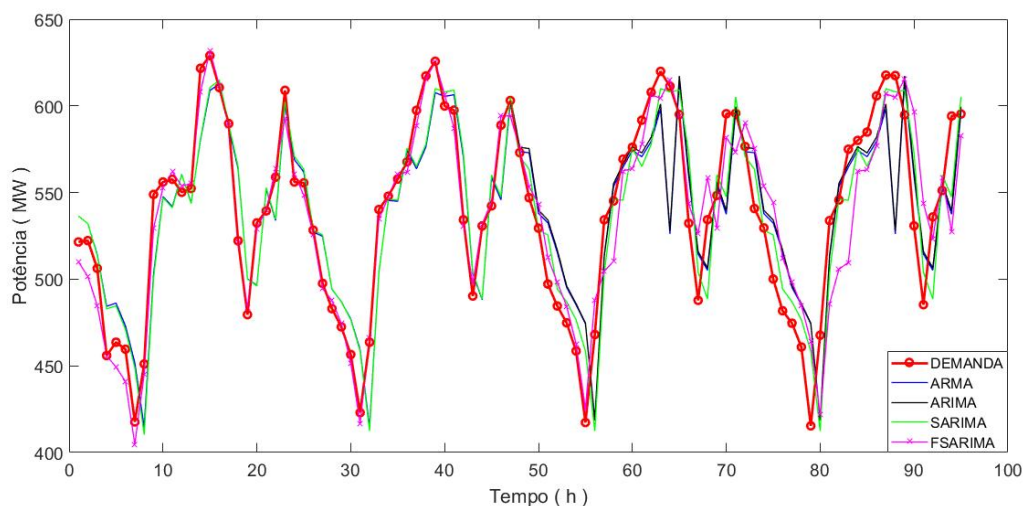
Modelos	RMSE	MAPE	MASE
ARMA	31,2258	6,4824	3,9850
ARIMA	32,6205	6,7481	4,2520
SARIMA	21,0040	4,3157	3,5024
FSARIMA	20,8360	4,2958	3,3944

Fonte: Próprio Autor.

Em observância a Tabela 6.4, os números aproximados nos erros relacionais ficando o FSARIMA, com o MASE de 2,4446, o MAPE com 2,6914 e o RMSE com 14,7573, comparado aos resultados desses modelos, apresentando uma variação nas casas decimais a menor para o MASE; em comparação com os modelos SARIMA, ARMA e ARIMA, registra-se uma relação de aproximadamente 2/3 do valor em referência às três formas para a medição de erro baseado no MAPE, e uma relação de igualdade entre os valores, da medida RMSE, para o ARMA, ARIMA e SARIMA na casa de duas dezenas e para o FSARIMA na casa de uma dezena com uma relação significativa em relação aos três primeiros. Continua-se demonstrando o grau aplicabilidade do modelo.

A quarta semana a ser analisada, bem como a terceira semana, apresentaram um melhor resultado na recomposição dos dados em falta. A recuperação da série apresenta defasamento menos acentuado entre o modelo FSARIMA e o sinal real e continua sendo o

Figura 6.15 – Gráfico comparativo entre os modelos em operação sobre as séries temporais da demanda de energia elétrica de Rondônia - 3ª semana do mês de Outubro de 2016.



Fonte: Próprio Autor.

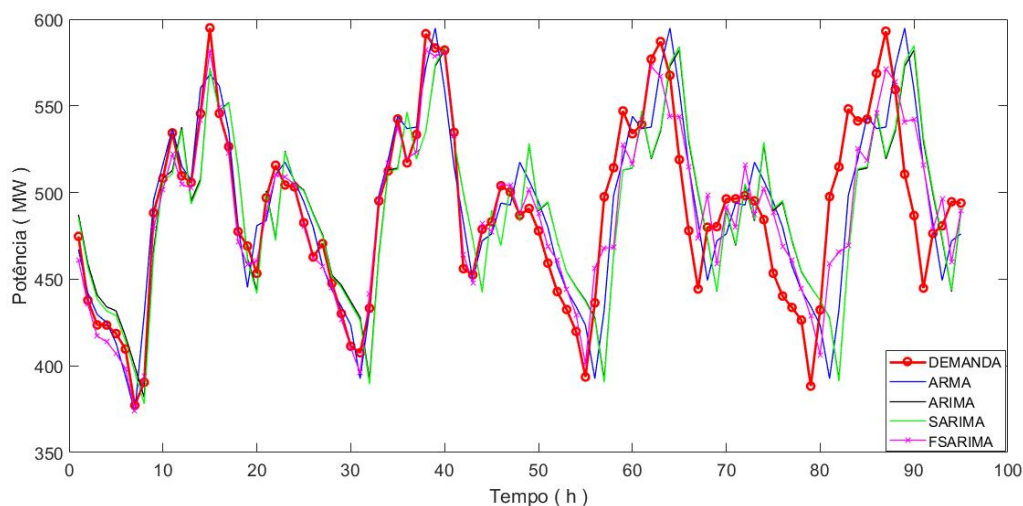
Tabela 6.4 – Comparativo dos processos de erro relacionado resultados dos modelos operacionais da série temporal da demanda de energia elétrica de Rondônia em referência ao sinal real - 3ª semana do mês de Outubro de 2016.

Modelos	RMSE	MAPE	MASE
ARMA	22,9262	4,2020	2,5550
ARIMA	23,1348	4,2452	2,6143
SARIMA	20,5824	3,7850	2,5278
FSARIMA	14,7573	2,6914	2,4446

Fonte: Próprio Autor.

mais satisfatório dos modelos em observação. A Figura 6.16 demonstra uma leve diferença entre ao período de horas na faixa de 72 a 96 horas, porém todos os modelos com comportamento assintótico em referência sinal original e observado também em relação a Figura 6.15. Em observância a Tabela 6.5, em conformidade com os demais dados apresentados o FSARIMA, com o MASE de 3,3205, o MAPE com 3,8388 e o RMSE com 14,3195, comparado aos resultados dos modelos, apresenta-se uma variação nas casas decimais a menor para o MASE. Em comparação com os modelos SARIMA, ARMA e ARIMA demonstra uma relação de aproximadamente 2/3 do valor em referência ao RMSE, e uma demonstração nos dados de o menor erro para o MAPE, porém não tão acentuado em relação a Tabela 6.4. Dessa forma, para o processo de definição dos modelos e validação o FSARIMA continua com o melhor desempenho.

Figura 6.16 – Gráfico comparativo entre os modelos em operação sobre as séries temporais da demanda de energia elétrica de Rondônia - 4ª semana do mês de Outubro de 2016.



Fonte: Próprio Autor.

Tabela 6.5 – Comparativo dos processos de erro relacionados resultados dos modelos operacionais da série temporal da demanda de energia elétrica de Rondônia em referência ao sinal real - 4ª semana do mês de Outubro de 2016.

Modelos	RMSE	MAPE	MASE
ARMA	20,6764	5,0840	4,9868
ARIMA	28,5674	5,6266	3,9495
SARIMA	28,6440	5,6377	3,7279
FSARIMA	14,3195	3,8388	3,3205

Fonte: Próprio Autor.

6.4 Modelos Operacionais Aplicados a Predição da Demanda

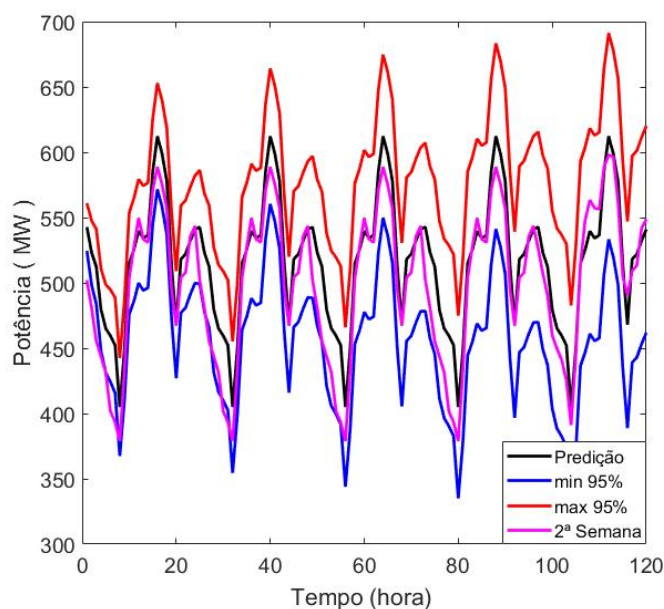
O processo de previsão está relacionado aos modelos desenvolvidos neste trabalho e validados no item anterior, com relação as possibilidades de produção de sinais temporais sazonais estimados, FSARIMA, ARMA, ARIMA e SARIMA, que em consonância aos sinais reais, serão comparados como preditores para a demanda de energia do Estado de Rondônia a curto e médio prazo. Os modelos serão apresentados para a segunda, terceira e quarta semana, para o caso de 5 dias úteis estimados; em sequência para os 5 úteis subsequentes, concluindo como uma previsão de duas semanas; os sábados e domingos serão projetados separadamente, posto que, seu perfil de consumo não caracteriza o mesmo processo sazonal dos dias úteis que definem o consumo do Estado de Rondônia.

6.4.1 Modelo de Predição Fuzzy e Autorregressivos Sazonais e Autocorrelação Estendida (FSARIMA).

O modelo em referência é definido pela sequência dos dados que constituem a série temporal histórica do consumo de energia elétrica: seus dados são *fuzzyficados* com a definição das variáveis linguísticas através de um especialista. Os dados são tratados de acordo com o número de regras que operacionalizam o processo de *fuzzyficação*; neste caso é tratado o modelo para gerar a série temporal preditiva. Tais modelos são definidos tendo a Função de Auto Correlação Estendida (EAFc), identificando o processo Autorregressivo (AR) e Média Móvel (MA) para definição da função de simulação da série preditora.

O processo de predição aplicado a Segunda Semana demonstra uma projeção do sinal de Predição com valores acima ao do sinal corrigido, conforme apresentado no Figura 6.17, ou seja, uma predição para aplicação de mais de 100 % do atendimentos observados no pico de cada faixa de hora registrada com o seu equivalente de consumo de potência.

Figura 6.17 – Relação do sinal real com a previsão demanda de energia elétrica com o modelo FSARIMA para a 2ª semana do mês de Outubro de 2016, com as faixas de probabilidade de 95%.



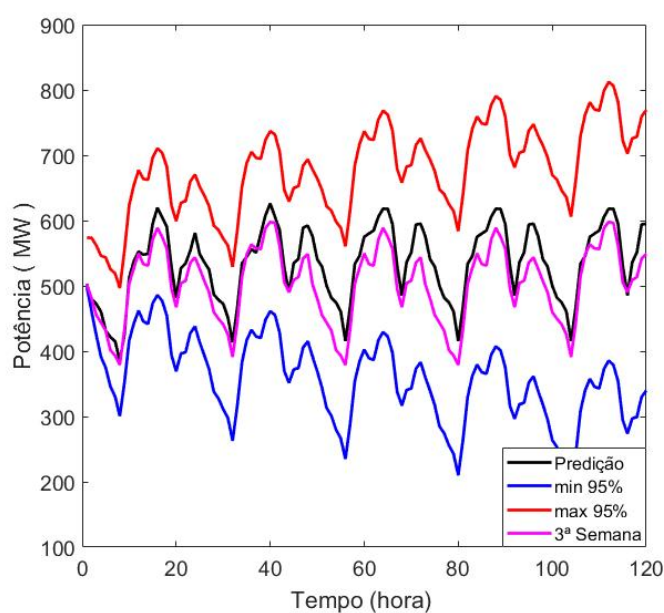
Fonte: Próprio Autor.

Em continuidade, a demanda e a predição são assintóticos e erro observados de relação aos dois obedecem a faixa de percentual probabilística de 95% de probabilidade de ocorrência. O valor máximo para predição para cada dia de 24 horas definido, para a faixa de operação de 120 horas, apresenta 5 valores máximos de 610 MW, a cada dia, porém o valor real corrigido é a cada pico: 590 MW para o primeiro pico e segundo pico;

595 MW para o terceiro e quarto pico, 600 MW para o ultimo pico, com 103,2786 % de medida na demanda predita, para o primeiro e segundo pico, 102,459% de medida na demanda predita para os dois picos subsequentes, e 101,6393 % para a quinta medida, 102,6229% de valor média na demanda predita.

O processo de predição aplicado a Terceira Semana demonstra uma projeção do sinal de Predição com valores acima ao do sinal corrigido, conforme apresentado no Figura 6.18. A legislação vigente sobre o valor de em contratos deve ser no mínimo um predição para aplicação de mais de 100% do atendimentos observados no pico de cada faixa de hora registrada com o seu equivalente de consumo de potência. Em continuidade a demanda e a predição são assintóticos e erro observados dos dois sinais, obedecem a faixa de percentual probabilístico de 95% de probabilidade de ocorrência. O valor máximo para predição para cada dia de 24 horas definido, para a faixa de operação de 120 horas, apresenta 5 valores máximos de 610 MW para o primeiro dia, 615 MW para o segundo dia, 612 MW para o terceiro, o quarto e o quinto dia; o valor real corrigido é a cada pico: 602 MW para todos os dias, do primeiro ao quinto dia, com 103,3114% de medida na demanda predita, para o primeiro, 102,1138% de medida na demanda predita para o segundo dia, 101,6393% para a terceiro e quarto dia e 101,9607% para o quinto dia, 101,7305% de valor média na demanda predita .

Figura 6.18 – Relação do sinal real com a previsão demanda de energia elétrica com o modelo FSARIMA para a 3ª semana do mês de Outubro de 2016, com as faixas de probabilidade de 95%.

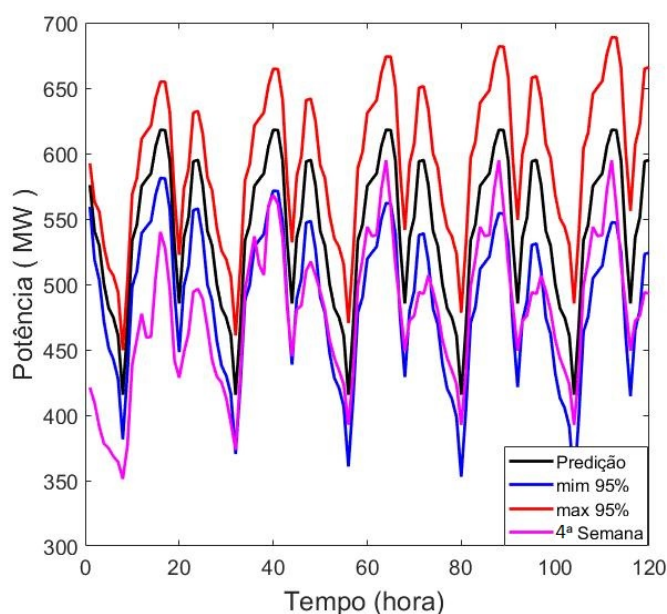


Fonte: Próprio Autor.

O processo de predição aplicado a Quarta Semana demonstra uma projeção do sinal de Predição com valores acima ao do sinal corrigido, conforme apresentado no Figura 6.19.

É apresentada uma previsão para aplicação de mais de 100% do atendimentos, observados no pico de cada faixa de hora registrada com o seu equivalente de consumo de potência. Em continuidade a demanda e a previsão são assintóticos e erro observado de relação ao sinal real, os dois obedecem a faixa de percentual probabilístico de 95%. O valor máximo para previsão para cada dia de 24 horas definido, para a faixa de operação de 120 horas, apresenta 5 valores máximos de 612 MW para cada dia. porém, o valor real corrigido é a cada pico, 540 MW para o primeiro pico; 560 MW para o segundo; 595MW para o terceiro; e o quarto e quinto dia de pico com 595MW. Também é registrado na medida da demanda predita para os dias para o primeiro pico de 113,3333%; para o segundo dia 109,2857%; 103,7288% para a terceira medida; e com 102,8571% para a quarta e quinta medida, com 106,4124% de atendimento de valor médio na demanda predita. .

Figura 6.19 – Relação do sinal real com a previsão demanda de energia elétrica com o modelo FSARIMA para a 4ª semana do mês de Outubro de 2016, com as faixas de probabilidade de 95%.



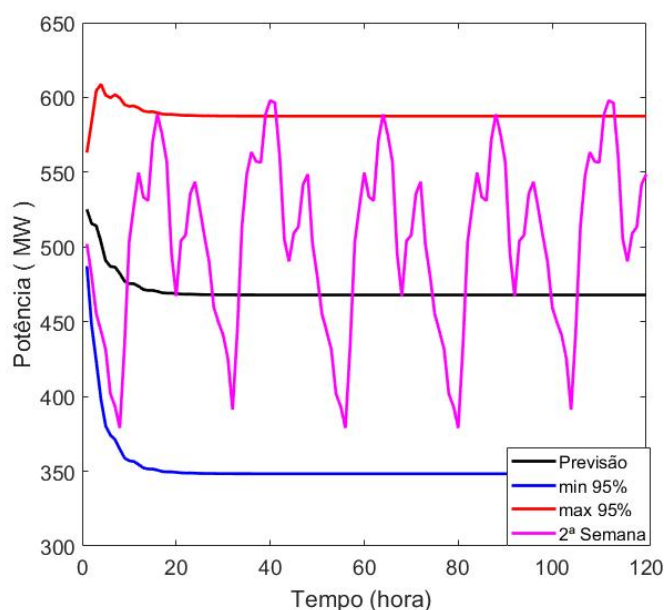
Fonte: Próprio Autor.

6.4.2 Modelo Autorregressivos Média Móvel (ARMA).

A aplicação do sistema para a previsão na Segunda Semana, demonstra uma projeção do sinal de previsão com valores medianos e ficando abaixo do sinal corrigido, conforme apresentado no Figura 6.20; ou seja uma previsão abaixo dos 100% do atendimento mínimo. Todavia, observa-se que mesmo em sequência de máximo de 95%, há dois picos do valor de sinal real, compreendendo o período de 24 e 48 horas, terça-feira, e de 96 a

120 horas, sexta-feira, o pico de cada faixa de hora registrada com o seu equivalente de consumo de potência, em continuidade a demanda e a previsão não são assintóticos e erro observados de relação, estão fora da faixa de percentual probabilístico de 95%. O valor máximo para previsão para cada dia de 24 horas definido, para a faixa de operação de 120 horas, apresenta um valores contínuo de 475 MW, ou seja não há pico nas projeções, em continuidade observa-se o primeiro pico da semana real de 592 MW, para o segundo dia 600 MW, sendo que há um defasamento de 24,6315% nos dias de segunda, quarta e quinta-feira, observando os períodos de 24 horas para cada dia, e de um defasamento de 26,3115% para terça e sexta-feira, tendo um atendimento defasado de 25,3035% valor média na demanda predita.

Figura 6.20 – Relação do sinal real com a previsão demanda de energia elétrica com o modelo ARMA para a 2ª semana do mês de Outubro de 2016, com as faixas de probabilidade de 95%.

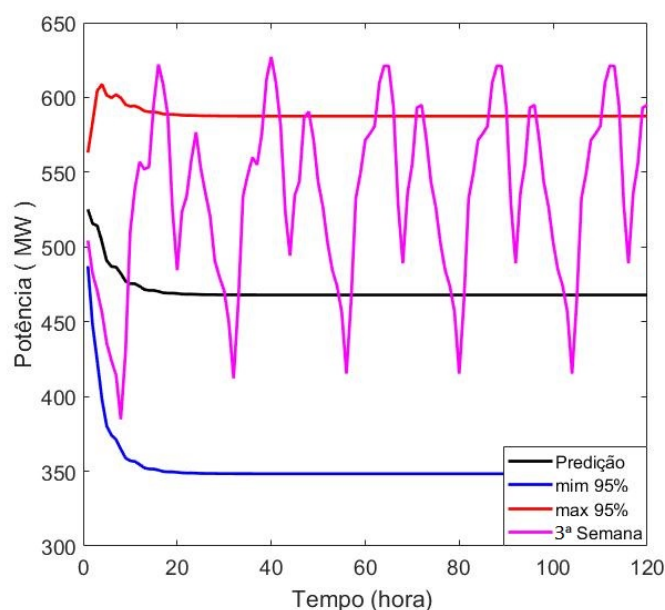


Fonte: Próprio Autor.

A aplicação do sistema para a previsão para a Terceira Semana, demonstra uma projeção do sinal de Predição com valores medianos e ficando a baixo do sinal corrigido, assim como na Segunda Semana, conforme apresentado no Figura 6.21, sendo caracterizado uma predição abaixo dos 100% do atendimento mínimo, e também observados que seus valores máximo de 95%. Ficam todos abaixo da dos picos da demanda real da semana em referência, compreendendo o período de 0 a 120 horas. Em continuidade, a demanda e a previsão não são assintóticos e erro observados de relação, estão fora da faixa de percentual probabilístico de 95%. O valor máximo para previsão para cada dia de 24 horas dia e para a faixa de operação de 120 horas, apresenta um valores contínuo de 475 MW, ou seja não há pico nas projeções. Em continuidade, observa-se o primeiro pico da semana

real de 610 MW; para o segundo, 615MW; 612 MW para o terceiro, quarto e quinto dia útil da semana, sendo que há defasamento de 24,6315% nos dias de segunda, quarta e quinta-feira, observando os períodos de 24 horas para cada dia, e de um defasamento de 28,421% para segunda-feira, de 29,4777% para terça-feira e de 28,8842% de quarta a sexta-feira, tendo um atendimento defasado de 28,8856% valor média na demanda predita.

Figura 6.21 – Relação do sinal real com a previsão demanda de energia elétrica com o modelo ARMA para a 3ª semana do mês de Outubro de 2016, com as faixas de probabilidade de 95%.

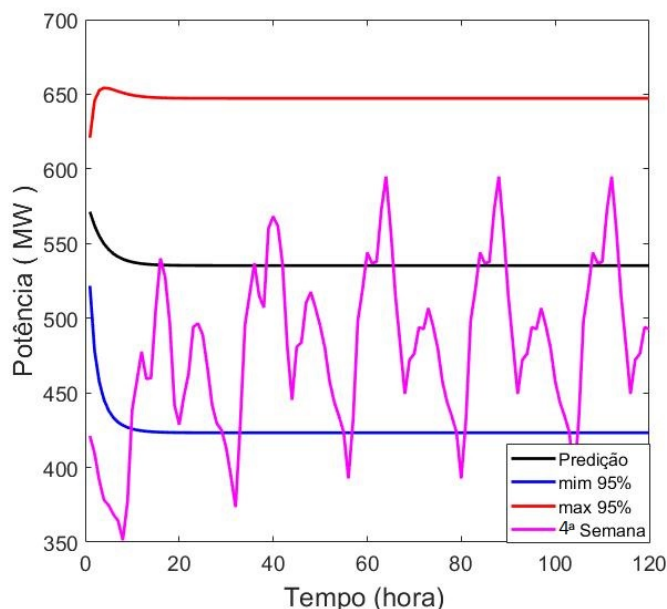


Fonte: Próprio Autor.

O processo de predição aplicado a Quarta Semana demonstra uma projeção do sinal de Predição com valores abaixo da demanda real do consumo de energia elétrica, em relação ao sinal real corrigido, conforme apresentado na Figura 6.22, ou seja, uma predição que não atende o mínimo de 100% do atendimento conforme a legislação, observados no pico de cada faixa de hora registrada com o seu equivalente de consumo de potência.

Continuando na Figura 6.22, a demanda e a predição não são assintóticos e erro observados de relação, o preditor obedece a faixa de percentual probabilístico de 95%; entretanto o valor máximo para predição para cada dia de 24 horas definido, para a faixa de operação de 120 horas, apresenta valores contínuos de 538 MW. O valor real corrigido, no entanto, é cada pico, sendo 540 MW para o primeiro, na segunda-feira; 560 MW no segundo pico para a terça-feira; 590 MW para o terceiro pico na quarta-feira; e para quinta e sexta-feira, os últimos dois picos observados são de 595 MW. As defasagens são apresentadas em sequência para cada relação de pico em demanda projetada: respectivamente, de 0,3717%; 4,0892%; de 9,6654% para os três primeiros picos, e 10,5947% para os últimos dois valores cada, sendo um valor de defasagem média de 7,0631%.

Figura 6.22 – Relação do sinal real com a previsão demanda de energia elétrica com o modelo ARMA para a 4ª semana do mês de Outubro de 2016, com as faixas de probabilidade de 95%.



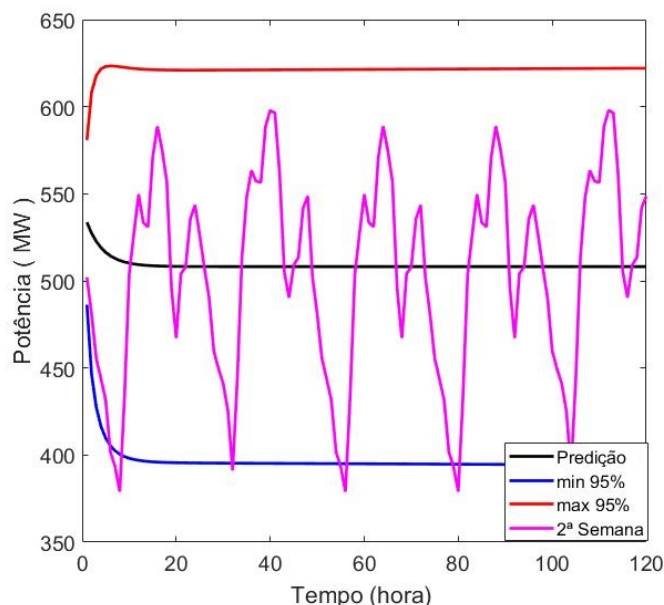
Fonte: Próprio Autor.

6.4.3 Modelo Autorregressivos Integrador Média Móvel (ARIMA)

Conforme apresentado na Figura 6.23, a aplicação do sistema para a predição na Segunda Semana, demonstra uma projeção do sinal de predição com valores medianos, ficando abaixo do sinal corrigido em relação aos picos, ou seja, uma predição abaixo dos 100% do atendimento mínimo, porém estes valores observados, que mesmo em sequência de máximo de 95%, possuem um valor máximo para previsão em cada dia de 24 horas definido para a faixa de operação de 120 horas apresenta um valores contínuo de 510 MW, ou seja, não há pico nas projeções. Observa-se para o primeiro pico, de terça, quarta e quinta feira, o valor da semana real de 592 MW; para o segundo e sexto dia, a potência de 600MW, sendo que há um defasamento de 17,6470% nos dias de segunda, quarta e quinta-feira, observando os períodos de 24 horas para cada dia, e de um defasamento de 16,0784% para terça e sexta-feira, tendo um atendimento médio defasado de 17,0958% em relação a demanda predita.

A Terceira Semana, demonstra uma projeção do sinal de Predição com valores medianos, demonstrando valor abaixo do sinal corrigido, assim como na Segunda Semana, conforme apresentado no Figura 6.24, sendo caracterizado uma predição abaixo dos 100% do atendimento mínimo, e também observados que seus valores máximo de 95%. Ou seja, ficam todos abaixo dos picos da demanda real da semana em referência, compreendendo o período de 0 a 120 horas, a predição é um sinal contínuo e a previsão não é assintótico,

Figura 6.23 – Relação do sinal real com a previsão demanda de energia elétrica com o modelo ARIMA para a 2ª semana do mês de Outubro de 2016, com as faixas de probabilidade de 95%.



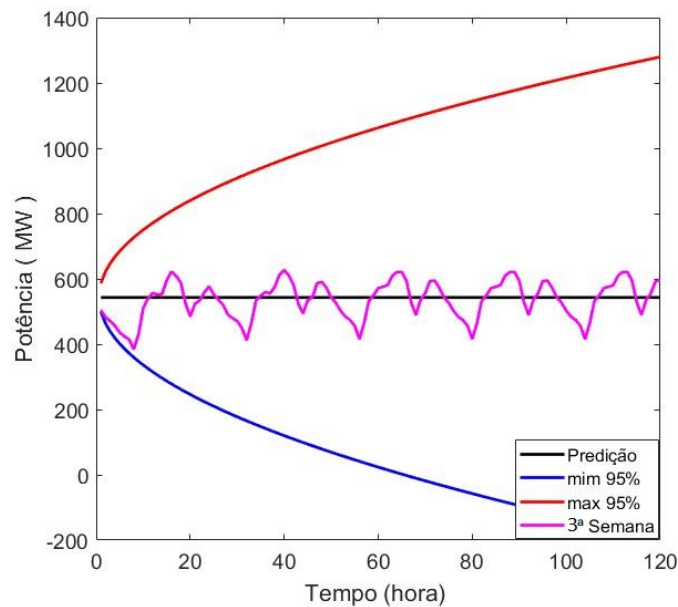
Fonte: Próprio Autor.

e o erro observado de relação, estão fora da faixa de percentual probabilístico de 95%, e apresenta um valores contínuo de 547 MW, ou seja não há pico nas projeções, em continuidade observa-se o primeiro pico da semana real de 610 MW, para o segundo dia 615 MW, 612 MW para o terceiro, quarto e quinto dia útil da semana, e sendo que há um defasamento de 24,6315% nos dias de segunda, quarta e quinta-feira, observando os períodos de 24 horas para cada dia, e de um defasamento de 28,421% para segunda-feira, de 29,4777% para terça-feira e de 28,8842% de quarta a sexta-feira, tendo um atendimento defasado de 28,8856% valor média na demanda predita.

A predição aplicado a Quarta Semana, demonstra uma projeção do sinal de Predição com valores abaixo da demanda real em pico do consumo de energia elétrica, em relação ao sinal real corrigido, conforme apresentado no Figura 6.25, ou seja uma predição que não atende o mínimo de 100% do atendimento conforme a legislação, observados no pico de cada faixa de hora registrada com o seu equivalente de consumo de potência.

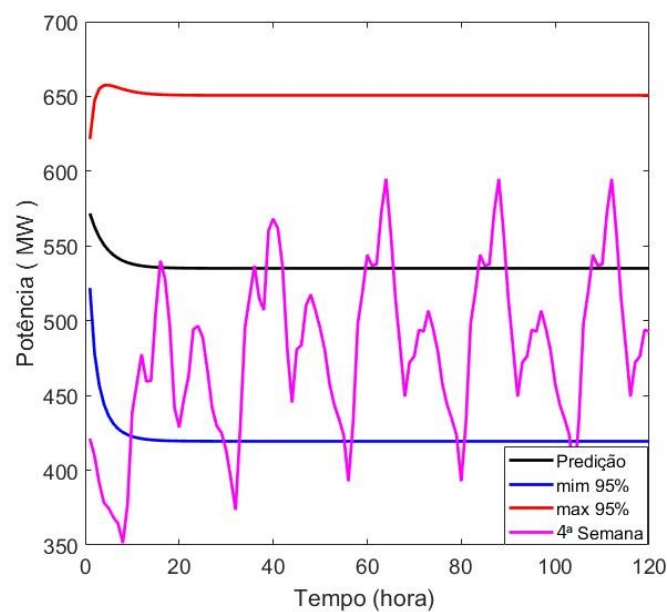
A demanda e a predição não são assintóticos e não apresenta uma regularidade na convergência da faixa do preditor, entretanto ficam dentro da faixa de percentual probabilístico de 95%; no entanto, não é aplicado a esta operação devido a esta inconsistência, a predição apresenta um valor contínuo de 538 MW e o valor da série real corrigido é a cada pico, sendo: 540 MW para o primeiro pico, na segunda-feira; 560 MW para o segundo pico, na terça-feira; 590 MW para o terceiro pico, na quarta-feira; e para quinta e sexta-feira, os dois últimos picos, são observados 595 MW. As defasagens são apresenta-

Figura 6.24 – Relação do sinal real com a previsão demanda de energia elétrica com o modelo ARIMA para a 3ª semana do mês de Outubro de 2016, com as faixas de probabilidade de 95%.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 6.25 – Relação do sinal real com a previsão demanda de energia elétrica com o modelo ARIMA para a 4ª semana do mês de Outubro de 2016, com as faixas de probabilidade de 95%.



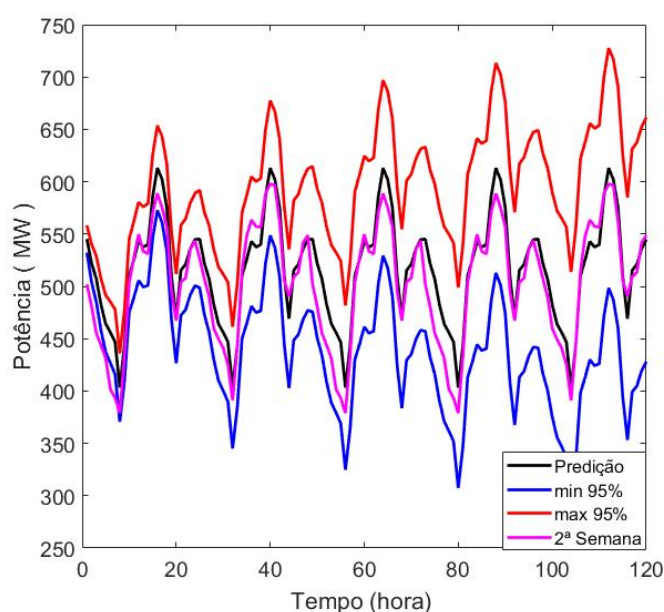
Fonte: Próprio Autor.

das em sequência para cada relação de pico em demanda projetada de, respectivamente: 0,3717%; 4,0892%; 9,6654%; e para os últimos dois os valores de 10,5947% cada, havendo um valor de 7,0631%.

6.4.4 Modelo Autorregressivos Integrador Média Móvel (SARIMA)

Conforme o procedimento em continuidade, a Segunda Semana demonstra um sinal de Predição com valores acima do sinal corrigido, conforme apresentado no Figura 6.26, ou seja, uma predição para aplicação de mais de 100% do atendimento, valores observados no pico de cada faixa de hora registrada com o seu equivalente de consumo de potência. Em continuidade, a demanda e a predição são assintóticos e erro observado de relação, os dois obedecem a faixa de percentual probabilístico de 95%. O valor máximo para predição para cada dia de 24 horas definido, para a faixa de operação de 120 horas, apresenta 5 valores máximos de 617 MW, a cada dia; todavia, o valor real corrigido é a cada pico, como já dito anteriormente, sendo de: 590 MW pra o primeiro, quarto e quinto pico; 595 MW para o terceiro; e 600MW para o sexto pico. Registra-se também 104,5762% de medida na demanda predita para o primeiro, quarto e quinto pico; 103,6974% para os dois picos subsequentes; e 102,8333% para a quinta medida, tendo-se um valor média na demanda predita de 103,8761%. de valor média na demanda predita.

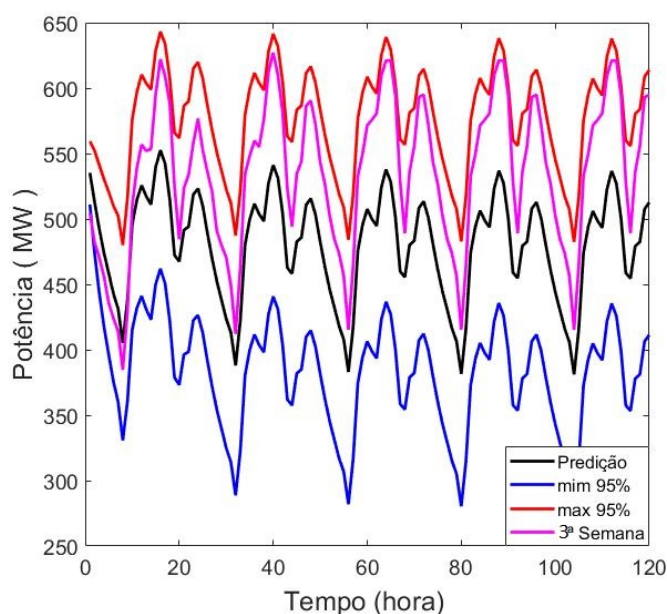
Figura 6.26 – Relação do sinal real com a previsão demanda de energia elétrica com o modelo SARIMA para a 2ª semana do mês de Outubro de 2016, com as faixas de probabilidade de 95%.



Fonte: Próprio Autor.

O processo de predição aplicado à Terceira Semana demonstra uma projeção do sinal de Predição com valores acima ao do sinal corrigido, conforme apresentado no Figura 6.18. Apresenta-se uma previsão para aplicação abaixo de 100% do atendimento registrado com o seu equivalente de consumo de potência, em continuidade a demanda e a predição são assintóticos e erro observados de relação, os dois obedecem a faixa de percentual probabilístico de 95%. O valor máximo para predição para cada dia de 24 horas definido para a faixa de operação de 120 horas apresenta 5 valores máximos de 610 MW para o primeiro dia; 615 MW para o segundo pico; e para o terceiro ao quinto pico de 612 MW. Em relação aos sinais de predição em defasagem, registra-se: 550 MW para a primeira predição; 547 MW para a segunda; e 546 MW para o terceiro, quarto e quinto dia. Além disso, o valor de defasagem para o primeiro pico é de 9,8360%; 11,0569% para o segundo dia; e 10,7843% para terceiro, com com 10,6491% atendimento de valor média na demanda predita.

Figura 6.27 – Relação do sinal real com a previsão demanda de energia elétrica com o modelo SARIMA para a 3ª semana do mês de Outubro de 2016, com as faixas de probabilidade de 95%.

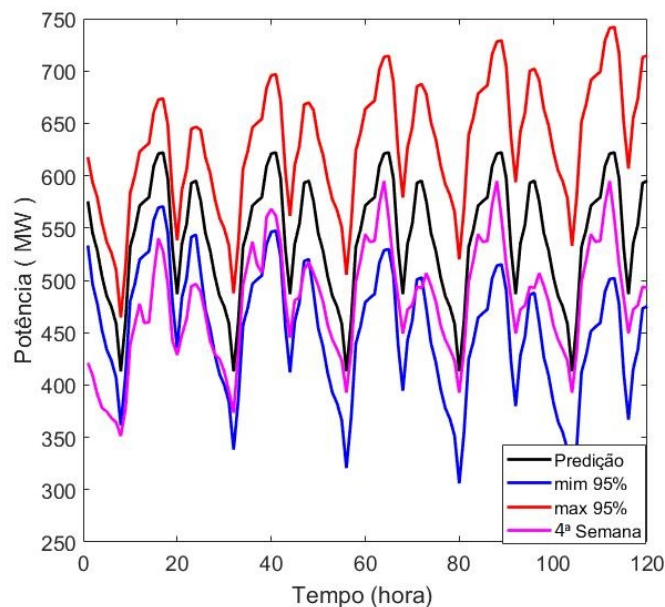


Fonte: Próprio Autor.

O processo de predição aplicado a Quarta Semana demonstra uma projeção do sinal de Predição com valores acima ao do sinal corrigido, conforme apresentado no Figura 6.19, apresentando uma predição para aplicação de mais de 100% do atendimentos observados no pico de cada faixa de hora registrada com o seu equivalente de consumo de potência, em continuidade a demanda e a predição são assintóticos e erro observados de relação, os dois obedecem a faixa de percentual probabilístico de 95%. O valor máximo para predição para cada dia de 24 horas definido, para a faixa de operação de 120 horas, apresenta 5

valores máximos de 617 MW a cada dia. Todavia, o valor real corrigido, como sabemos, é a cada pico, sendo de 610 MW para o primeiro; 615 WM para o segundo; e 612 MW do terceiro ao quinto. Também o valor 110,1785% de medida na demanda predita para os primeiros picos; 114,2529% para o segundo dia; 110,1785% para a terceira medida; 104,572% e 103,6974% para a quarta e para a quinta, expondo os valores de previsão.

Figura 6.28 – Relação do sinal real com a previsão demanda de energia elétrica com o modelo SARIMA para a 4ª semana do mês de Outubro de 2016, com as faixas de probabilidade de 95%.



Fonte: Próprio Autor.

6.5 Análise dos Resultados e Discussões

Com relação aos resultados apresentados como resumo dos dados definidos pelos modelos ARMA, ARIMA, SARIMA e FSARIMA dimensionado pela função de correlação estendida, apresenta uma referência satisfatória do atendimento da legislação, sendo efetuado contratações na faixa de 100% a 103%, não sendo repassadas as tarifas aos clientes nessa faixa: as acima de 103% não pode ser repassado o aumento de tarifa; e abaixo de 100% o repasse da tarifa é integral, sendo esse repasse integral do custo de compra da demanda contratada de energia elétrica. elétrica, (BRASIL, 2004a), como já citado no capítulo 3. A Tabela 6.6, demonstra que primeiramente há uma defasagem entre os modelos ARMA e ARIMA no sentido de atenderem a legislação citada, posto que não atuam no processo de predição para o atendimento mínimo de 100% da demanda a contratar; porém, na análise de definição do modelo e com validação demonstram-se aptas a participarem

de tal processo de gestão, conforme os dados dos métodos de medição de erro RMSE, MAPE e MASE. Em contrapartida o modelo SARIMA apresenta-se como o principal referência com um comportamento assintótico a todos as apresentações de séries temporais históricas do sistema em questão. O modelo que serve de estudo básico a este trabalho é a aplicação do Sistema *Fuzzy* a séries temporais sazonais com dimensionamento através da função de autocorrelação estendida FSARIMA.

Tabela 6.6 – Relação percentual de predição dos modelos operacionais com seus valores de pico com os valores de pico do sinal real em referência aos dias das semanas - Mês de Outubro de 2016.

	Segunda Feira	Terça Feira	Quarta Feira	Quinta Feira	Sexta Feira
2ª Semana					
FSARIMA	103,2786%	103,2786%	102,4590%	102,4590%	101,6393%
ARMA	124,6315%	126,3115%	124,6315%	124,6315%	126,3115%
ARIMA	117,6470%	116,0784%	117,6470%	117,6470%	116,0784%
SARIMA	104,5762%	103,6974%	103,6974%	104,5762%	104,5762%
3ª Semana					
FSARIMA	103,3114%	102,1138%	101,6393%	101,9607%	101,9607%
ARMA	124,6315%	129,4777%	124,6315%	124,6315%	128,8842%
ARIMA	124,6315%	129,4777%	128,8842%	128,8842%	128,8842%
SARIMA	-9,8360%	-11,0569%	-10,7843%	-10,7843%	-10,7843%
4ª Semana					
FSARIMA	113,3333%	109,2857%	103,7288%	102,8571%	102,8571%
ARMA	100,3717%	104,0892%	109,6654%	110,5947%	110,5947%
ARIMA	100,3717%	104,0892%	109,6654%	110,5947%	110,5947%
SARIMA	114,2529%	110,1785%	104,5720%	103,6974%	103,6974%

Fonte: Próprio Autor.

Em primeira análise, os dados são dispostos em sequência a serem analisados como séries temporais históricas, conforme os dados em anexo. Com o desenvolvimento do processo, a primeira previsão ocorre na 2ª Semana, tendo como base a primeira semana de outubro de 2016, quando o banco de dados disponibiliza as horas, datas, locais e consumo de energia elétrica fornecida pela Eletrobras Distribuição Rondônia. Para a primeira relação de predição de demanda o FSARIMA, apresenta-se com uma faixa de resultados satisfatórios em relação a legislação vigente e, em contrapartida acompanhando a este o SARIMA, referência, também acompanha este perfil; observa-se, entretanto, que o SARIMA ultrapassa os outros em relação à legislação, pois este atende melhor. Para a 3ª Semana, o único que de forma assintótica atende a legislação dentro dos 103% é o FSARIMA, e os demais não apresentam o teto mínimo de atendimento de demanda de 100%. Para a 4ª Semana, observa-se que o FSARIMA e o SARIMA, destoam nas duas primeiras medidas das séries curtas de demanda extrapolando mais de 10% do valor permitido para o controle no processo de predição, devido ao fato de que neste período não

foram recuperadas as informações sobre as faltas e falhas de medidas ocorridos, voltando às medidas normais a partir de então.

Assim, e em análise os valores demonstrados na Tabela 6.6, apresenta o FSARIMA como um modelo satisfatório com referência ao modelo sedimentado como o SARIMA, sendo que os demais para este processo de previsão, não atendem aos procedimentos de gestão definidos pela Legislação brasileira.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1 Conclusão

Como apresentado, o planejamento para distribuição passa por um processo de análise e predição de demanda para atender a legislação sobre a diminuição do erro na contratação de energia elétrica a curto prazo. O método utilizado neste trabalho considerou um modelo de série temporal sazonal que reproduziu de maneira muito próxima o sinal real dos valores de energia elétrica coletados, e com desempenho satisfatório baseado nas relações de comparação, dentro das características da demanda de energia elétrica do Estado de Rondônia. Em primeiro plano, a necessidade empresarial que afeta a produção e distribuição de energia elétrica não foge às necessidades do Estado de Rondônia, sendo uma oportunidade e fonte de pesquisa a ser adotado para o desenvolvimento tanto dos modelos de preditores de curto prazo, quanto ao desenvolvimento regional, no qual a tecnologia entra de forma marcante como norteadora de gestão.

A empresa que atende de forma a suprir as necessidades do Estado em relação a infraestrutura de distribuição de energia elétrica tem por forma de gestão seu controle através de sua composição operacional de gestão e de prestador de serviço, controlando suas necessidades de perfil empresarial e de consumo aos clientes do Estado de Rondônia. Na aplicação da fundamentação teórica sobre o assunto apresentou-se resultados satisfatórios em consonância com a legislação vigente no Brasil, bem como os desenvolvidos nos estudos internacionais. Neste processo, é trazido o mesmo fundamento das necessidades internas por Região, como a Sul, Sudeste, Nordeste, Centro-Oeste e Norte, bem como aos seus Estados aplicam-se a pesquisa sobre o assunto e suas fundamentações.

Para o estudo deste trabalho, todos os métodos foram fundamentados e apresentados como suporte à aplicação dos modelos, os quais, quando utilizados referenciaram o modelo como procedimento de base para este estudo. Em análise, nos dados da empresa Eletrobras Distribuição Rondônia, fornece por autorização de seu presidente, a utilização dos bancos de dados conforme definidos em sua posição temporal para desenvolvimento de informações a serem utilizadas para gestão. Para o processo de análise foram comparados quatro modelos sendo três sedimentados para este processo, e o quarto foi implementado para análise e aplicação como preditor de energia elétrica. A discussão apresentou este modelo, como um modelo válido para aplicação no Estado de Rondônia, quanto ao processo de predição de energia elétrica de forma a atender as necessidades conforme os resultados apresentados.

7.2 Recomendações para Trabalhos Futuros

Como trabalhos Futuros, sugere-se a implementação em outros processos de predição, como em localidades não atendidas no Estado de Rondônia; processo de sazonalidade de rios da Região Norte para fins de análise e implementação de pequenas hidrelétricas; estudos de séries temporais no processo de produção de energia elétrica por sistema fotovoltaicos, em complemento as áreas não atendidas no Estado de Rondônia; utilização do modelo híbrido, FSARIMA combinado a Função de Autocorrelação Estendida e Redes Neurais.

ANEXOS

Anexo A – Tabelas de dados de energia elétrica de Rondônia, por hora, em dias da semana, Outubro de 2016 - Relatório de dados Ceron2016

Tabela A.1 – Valores em MW, da potência medida na demanda, a cada uma hora, a cada dia da semana para a 1ª semana do mês de Outubro de 2016.

Hora	Sábado	Domingo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado
1	496,0506	486,7280	475,7116	526,3982	547,6841	535,4687	456,0477	508,3937
2	488,3506	476,9773	459,3783	499,8618	525,4797	514,1200	437,5123	491,6838
3	471,1732	461,6019	442,1295	474,9522	504,5247	490,6591	420,2791	473,5865
4	455,0516	446,4033	429,0695	454,6066	485,1135	467,2224	406,2042	458,7058
5	438,8247	433,3577	417,6705	437,4049	469,1437	444,5594	393,1419	446,4035
6	426,6517	422,6168	407,9003	426,0824	457,7722	434,7209	384,0445	436,2952
7	414,6885	407,5295	397,7147	411,7979	444,7140	417,9200	376,9685	420,3712
8	382,5789	372,4052	370,0721	378,6279	408,3261	386,1810	356,7630	386,0496
9	393,4395	375,2393	405,5731	413,3722	440,5297	402,0330	396,6667	399,9904
10	423,5439	377,4703	475,3747	477,9998	508,3248	451,1584	461,4524	431,9909
11	425,7891	374,3679	503,0188	506,8815	529,9693	465,0651	485,7185	441,5175
12	430,1989	371,9796	509,7442	525,1192	546,1319	458,4094	488,6268	438,8138
13	433,0565	372,6309	518,9232	518,0155	542,2833	451,2508	484,3578	433,4872
14	433,7555	375,3983	520,6176	522,8735	544,1024	441,5883	489,0765	423,5304
15	440,2092	390,2667	557,7184	565,5429	589,5802	471,5886	532,4757	424,8550
16	462,0280	400,1175	586,7755	593,5266	616,7917	493,6149	557,5596	411,1946
17	454,6682	393,6253	577,8755	580,5493	606,2315	484,2363	553,2759	397,4710
18	432,3736	378,2724	548,7810	556,7339	573,8137	464,7644	527,7782	379,7004
19	410,8057	370,3793	488,3637	499,4816	506,8611	421,0639	472,2311	372,9012
20	457,0801	419,7931	465,7646	480,8120	473,9558	414,0527	459,9072	420,3386
21	476,1036	445,3096	490,8554	514,7340	514,6183	433,5540	486,5221	434,9682
22	472,9462	456,3791	502,7869	526,2728	523,2211	435,7212	486,4909	429,2300
23	475,1303	468,3064	533,9105	555,9784	540,3259	463,6918	511,2340	431,7903
24	483,7570	479,7679	540,5569	562,4687	546,8597	468,4425	515,8173	432,8388

Tabela A.2 – Valores em MW, da potência medida na demanda, a cada uma hora, a cada dia da semana para a 2ª semana do mês de Outubro de 2016.

Hora	Sábado	Domingo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado
1	508,3937	431,9501	477,6438	437,6318	476,7962	499,6968	530,1775	535,2917
2	491,6838	422,6804	458,4475	422,7611	459,8444	478,7738	507,5286	515,5265
3	473,5865	411,0981	440,1986	408,1195	441,4162	459,2387	485,7594	495,3745
4	458,7058	398,7317	425,8442	395,6692	424,2306	442,7686	464,1504	477,3884
5	446,4035	387,0134	413,2646	384,2873	412,8202	426,9806	451,4685	460,2687
6	436,2952	379,2616	404,9508	378,5927	401,3555	406,0775	438,8318	446,5435
7	420,3712	369,1229	393,6047	373,8910	387,0357	397,0814	421,5194	428,6975
8	386,0496	344,1786	367,1324	354,1530	354,5854	376,4532	394,2485	396,0266
9	399,9904	343,6112	409,7555	387,6665	355,0545	429,2979	442,6387	402,7260
10	431,9909	347,0472	484,4781	447,6837	362,7002	501,9904	517,4889	438,9413
11	441,5175	347,3714	517,1793	465,7519	367,9296	531,1887	544,3432	450,9720
12	438,8138	348,7863	525,2991	476,4463	372,0611	545,5592	561,0512	460,7750
13	433,4872	353,4245	513,1191	471,8292	378,2974	535,3479	553,0442	463,6346
14	423,5304	360,9947	484,9315	469,9828	383,6380	533,8267	552,2374	464,0002
15	424,8550	379,1727	516,6004	507,5583	400,4386	572,1585	592,4731	486,1537
16	411,1946	399,8115	506,0997	535,3736	418,2229	592,5731	598,4843	504,8986
17	397,4710	386,5921	488,9040	531,1339	411,7754	578,2752	597,6564	495,6790
18	379,7004	372,0174	460,4115	502,3198	392,9361	552,8099	558,5223	466,3791
19	372,9012	369,0817	424,8879	447,8996	386,7242	491,3754	504,2504	447,5650
20	420,3386	426,5939	414,1572	433,0190	432,1235	470,7558	485,9465	490,7387
21	434,9682	454,5454	426,2556	456,3860	473,4736	502,7022	510,0867	518,9798
22	429,2300	461,8416	416,7067	457,1190	488,4690	508,3283	516,3486	513,5978
23	431,7903	470,4365	445,5260	482,5853	502,1775	536,5843	539,9522	513,7680
24	432,8388	482,7883	450,1371	485,5216	509,6844	541,0059	544,6677	515,1983

Tabela A.3 – Valores em MW, da potência medida na demanda, a cada uma hora, a cada dia da semana para a 3ª semana do mês de Outubro de 2016.

Hora	Sábado	Domingo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado
1	535,2917	513,0666	505,0864	557,1330	569,5550	578,0276	569,3762	472,8871
2	515,5265	493,6849	485,0014	536,0283	546,1347	559,5476	547,4304	458,7800
3	495,3745	482,2193	468,0955	516,3716	522,9322	537,4513	521,8896	445,5120
4	477,3884	466,9376	452,2279	495,2118	504,1355	517,4915	497,8572	432,8291
5	460,2687	453,1543	439,5312	481,7308	488,1413	502,2198	481,2042	421,8485
6	446,5435	438,7583	427,6690	468,3063	473,0823	486,9088	466,9373	414,9848
7	428,6975	415,4401	413,7886	447,5323	452,5331	468,9510	445,9544	401,9752
8	396,0266	380,5043	384,1192	410,5665	415,1668	428,8224	409,8493	371,4313
9	402,7260	384,7255	433,7757	459,0053	460,0141	471,5568	427,4350	383,1929
10	438,9413	395,4234	508,2082	532,8357	531,0868	545,4794	462,7365	416,3202
11	450,9720	400,9044	540,5407	552,4406	553,9347	567,0141	470,0592	433,3893
12	460,7750	401,9054	560,4545	562,5278	569,1882	575,3958	468,3463	440,7033
13	463,6346	403,3655	556,3553	559,0370	572,1185	576,5936	444,4699	441,9516
14	464,0002	411,4342	557,6987	572,1262	576,3455	582,1244	432,6730	435,4253
15	486,1537	431,5366	594,9490	616,7071	613,9655	607,2190	463,3524	454,7843
16	504,8986	450,5678	624,1035	627,6970	623,4923	560,8268	492,5549	469,7012
17	495,6790	455,1716	613,3446	614,3234	623,3818	592,6094	495,7396	460,9268
18	466,3791	441,0377	584,6393	576,9063	592,9498	585,6028	472,6629	431,5873
19	447,5650	392,5234	520,6340	518,9905	525,0356	530,3597	429,1297	412,7785
20	490,7387	419,9803	488,0855	498,2501	493,4634	506,2676	426,1312	454,7063
21	518,9798	466,7976	519,1377	533,6098	535,8144	541,0226	449,2771	482,6637
22	513,5978	484,2424	532,7197	547,2320	559,4728	551,4905	450,5402	479,8927
23	513,7680	496,1363	561,2914	582,4974	591,5255	581,0699	474,4550	479,0736
24	515,1983	511,2052	572,8536	587,7112	594,1566	584,5186	479,9061	483,9763

Tabela A.4 – Valores em MW, da potência medida na demanda, a cada uma hora, a cada dia da semana para a 4ª semana do mês de Outubro de 2016.

Hora	Sábado	Domingo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado
1	472,8871	484,5279	416,8894	485,4544	510,8592	474,3224	402,0460	394,4958
2	458,7800	473,7720	405,7416	465,8653	493,8049	452,6978	393,0146	388,3610
3	445,5120	457,3850	394,8174	445,9815	475,3138	436,0714	380,7773	376,0993
4	432,8291	441,4964	382,3482	428,1982	460,4427	416,4680	371,8375	363,5345
5	421,8485	428,8904	377,6259	421,7720	447,9687	407,1987	364,0659	353,9353
6	414,9848	417,8476	368,7548	408,7364	435,1999	399,9997	356,8009	347,7044
7	401,9752	401,3676	362,6004	396,7320	419,7618	391,4403	347,8167	340,1938
8	371,4313	368,9819	346,6356	376,0544	395,7676	368,2763	331,7779	321,8392
9	383,1929	365,1713	380,6377	428,4216	431,9866	386,4761	356,1124	339,4271
10	416,3202	364,7121	441,6174	495,1879	499,2016	419,5235	392,3240	367,6457
11	433,3893	356,4367	460,8510	520,5316	522,9191	431,5484	403,1122	380,6251
12	440,7033	355,3933	473,0889	533,4954	539,2847	430,9658	403,2254	387,8426
13	441,9516	353,9770	461,6613	519,6133	533,5359	411,0005	386,5789	387,1856
14	435,4253	347,1841	461,9757	511,3580	534,1714	394,7303	374,0286	383,3296
15	454,7843	355,5592	509,4533	560,0694	576,8645	411,9219	395,8147	399,4144
16	469,7012	351,8133	535,9709	571,4210	597,0839	432,9702	415,1560	414,5727
17	460,9268	347,4205	528,1833	561,9641	558,3555	433,3914	408,5293	416,7404
18	431,5873	340,9761	496,8569	532,7459	519,6619	411,5591	392,5608	406,4541
19	412,7785	344,7198	445,8873	476,1311	478,2061	383,6307	361,5359	391,7124
20	454,7063	396,2615	426,8984	449,8199	453,9401	381,1083	360,5248	432,1402
21	482,6637	412,6282	452,3549	476,1745	468,9401	386,3430	381,1825	458,9389
22	479,8927	414,5362	463,6288	479,2319	471,8997	383,5869	377,0160	457,3841
23	479,0736	411,9305	493,0707	514,9522	492,5977	404,7134	395,8957	455,9002
24	483,9763	423,3791	496,3698	521,5678	490,9291	406,0987	399,7444	457,2488

REFERÊNCIAS

- AGUIRRE, L. A. **Introdução à identificação de sistemas—Técnicas lineares e não-lineares Teoria e Aplicação**. 4. ed. [S.l.]: Editora UFMG, 2015.
- AQUINO, R. et al. Previsão de carga horária em médio prazo utilizando redes neurais com foco na previsão dos feriados. In: **VII CBRN—Congresso Brasileiro de Redes Neurais, ISSN**. [S.l.: s.n.], 2016. v. 8589.
- BARROS, M.; MELLO, M. F. d.; SOUZA, R. C. Aquisição de energia no mercado cativo brasileiro: simulações dos efeitos da regulação sobre o risco das distribuidoras. **Pesquisa Operacional, SciELO Brasil**, v. 29, n. 2, p. 303–322, 2009.
- BITAR, S. D. et al. Expansion of isolated electrical systems in the amazon: An approach using fuzzy multi-objective mathematical programming. **Energy Policy, Elsevier**, v. 37, n. 10, p. 3899–3905, 2009.
- BRAGA, C. et al. Fatores determinantes do nível de divulgação ambiental no setor de energia elétrica no brasil. **Advances in Scientific and Applied Accounting**, v. 4, n. 2, p. 230–262, 2011.
- BRASIL. Lei n 5.523, de 4 de novembro de 1968.: Autoriza o poder executivo a constituir as sociedades de economia mista - centrais elétricas de roraima s.a. cer e centrais elétricas de rondônia s.a. - ceron. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 1968.
- _____. Decreto no 2.335, de 6 de outubro de 1997: Constitui a agência nacional de energia elétrica - aneel, autarquia sob regime especial, aprova sua estrutura regimental e o quadro demonstrativo dos cargos em comissão e funções de confiança e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 1996.
- _____. Lei n 9.427, de 26 de dezembro de 1996: Institui a agência nacional de energia elétrica - aneel, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 1996.
- _____. Lei n 9.478, de 6 de agosto de 1997: Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o conselho nacional de política energética e a agência nacional do petróleo e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 1997.
- _____. Decreto n 5.163 de 30 de junho.: Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2004.
- _____. Decreto n 5184, de 16 de agosto de 2004: Cria a empresa de pesquisa energética - epe, aprova seu estatuto social e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2004.

_____. Lei n 10.847, de 15 de março de 2004: Autoriza a criação da empresa de pesquisa energética - epe e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2004.

_____. Lei no 10.848, de 15 de março de 2004.: Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as leis nos 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2004.

_____. Lei n 10.438 de 26 de abril de 2002: Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o programa de incentivo às fontes alternativas de energia elétrica proinfa. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, v. 141, p. 2, 2005.

_____. Decreto n 7.058 de 29 de dezembro de 2009: Dá nova redação ao art. 96 do decreto no 93.872, de 23 de dezembro de 1986, que dispõe sobre a unificação dos recursos de caixa do tesouro nacional. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2009.

_____. Decreto no 7.805, de 14 de setembro de 2012.: Regulamenta a medida provisória no 579, de 11 de setembro de 2012, que dispõe sobre as concessões de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, sobre a redução dos encargos setoriais, sobre a modicidade tarifária, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2012.

_____. Decreto n 8.401, de 4 de fevereiro de 2015: Dispõe sobre a criação da conta centralizadora dos recursos de bandeiras tarifárias e altera o decreto n 4.550, de 27 de dezembro de 2002, e o decreto n 5.177, de 12 de agosto de 2004. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2015.

_____. **Acesso ao sitio em 16 de junho de 2017**. 2017. Disponível em: <http://www.ons.org.br/integracao_sin/acesso_conexao_rede.aspx>.

BRILLINGER, D. R. **Time series: data analysis and theory**. [S.l.]: SIAM, 2001.

CAMPOS, R. J. **Previsão de séries temporais com aplicações a séries de consumo de energia elétrica**. Tese (Doutorado) — Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

CAMPOS, R. J.; JESUS, T. A.; MENDES, E. Uma abordagem fuzzy para a previsão de curto-prazo do consumo de energia elétrica. In: **XXX Congresso Nacional de Matemática Aplicada - CNMAC**. [S.l.: s.n.], 2007.

CARVALHO JR., J. **Métodos de identificação fuzzy para modelos autoregressivos sazonais mediante a função de autocorrelação estendida**. Tese (Doutorado) — UFPA - Universidade Federal do Pará, 2016.

Carvalho Jr., J.; Costa Jr., C. Identification method for fuzzy forecasting models of time series. **Applied Soft Computing**, Elsevier, v. 50, p. 166–182, 2017.

CERON, S. Relatório de gestão 2015: Art. 70 da constituição federal. normativa tcu n 63/2010. normativa tcu n 146/147/2015 . portaria tcu n 321/2015. **MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA CENTRAIS ELETRICAS BRASILEIRAS - ELETROBRAS CENTRAIS ELÉTRICAS DE RONDÔNIA S.A**, 2016.

CHAVEZ, S. G.; BERNAT, J. X.; COALLA, H. L. Forecasting of energy production and consumption in asturias (northern spain). **Energy**, Elsevier, v. 24, n. 3, p. 183–198, 1999.

CICOGNA, M. A. et al. Sistema de suporte à decisão para o planejamento e a programação da operação de sistemas de energia elétrica. **SN**, [sn], 2004.

COTTRELL, A.; LUCCHETTI, R. Gretl user's guide. **Wake Forest University**, 2017. Department of Economics.

CRYER, J. D.; CHAN, K. S. **Time Series Analysis, With Applications in R**. [S.l.]: Springer, 2008.

DANNI. **Aspectos temporo-espaciais da temperatura e da umidade relativa de Porto Alegre–RS em janeiro de 1982: uma contribuição ao estudo do clima urbano**. São Paulo, 1987. 129f. Tese (Doutorado) — Dissertação (Mestrado em Geografia)-Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 1987.

DINIZ, C. F. D. Sistema de previsão de consumo de energia elétrica em curto prazo em função da variável temperatura utilizando redes neurais. **Universidade Federal de Pernambuco**, Universidade Federal de Pernambuco, 2011.

EFENDI, R.; ISMAIL, Z.; DERIS, M. M. A new linguistic out-sample approach of fuzzy time series for daily forecasting of malaysian electricity load demand. **Applied Soft Computing**, Elsevier, v. 28, p. 422–430, 2015.

ELETROBRAS. Memória da eletricidade no brasil: acessado em 8 de julho de 2017. **www.memoriadaeletricidade.com.br**, 1987.

FOGLIATTO, F. et al. Previsão de demanda por energia elétrica—método e aplicação. **Revista Produção Online**, v. 5, n. 4, 2005.

GOMES, L. d. S. F. **A demanda por energia elétrica residencial no Brasil: 1999-2006: uma estimativa das elasticidades-preço e renda por meio de painel**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2010.

GROSS, G.; GALIANA, F. D. Short term load forecasting. **Proceedings of the IEEE**, 2004.

- GUIRELLI, C. R. **Previsão da carga de curto prazo de áreas elétricas através de técnicas de inteligência artificial**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2006.
- HAMILTON, J. D. **Time series analysis**. [S.l.]: Princeton university press Princeton, 1994. v. 2.
- HUAYLLAS, T. E. D. C.; RAMOS, D. S. Electric power forecasting methodologies of some south american countries: A comparative analysis. **IEEE Latin America Transactions**, IEEE, v. 8, n. 5, p. 519–525, 2010.
- HYNDMAN, R. J.; KOEHLER, A. B. Another look at measures of forecast accuracy. **International Journal of Forecasting**, v. 22, n. 679–688, 2006.
- IRFFI, G. et al. Previsão da demanda por energia elétrica para classes de consumo na região nordeste, usando ols dinâmico e mudança de regime. **Economia Aplicada**, SciELO Brasil, v. 13, n. 1, p. 69–98, 2009.
- KUCUKALI, S.; BARIS, K. Turkey's short term gross annual electricity demand forecast by fuzzy logic approach. **Energy Policy**, Elsevier, v. 38, n. 5, p. 2438–2445, 2010.
- LAGO NETO, J. C. **Modelo de Previsão Fuzzy: Uma Alternativa Metodológica Para Sistemas Eletricamente Isolados na Amazônia**. Tese (Doutorado), 2011.
- MAPAS, d. B. Mapas do brasil: Acessado em 2017-08-22. **Geopolitico**, 2017. Disponível em: <<http://www.guiageo.com/rondonia.htm>>.
- MATTOS, R. S. d. et al. Integração de modelos econométrico e de insumo-produto para previsões de longo prazo da demanda de energia no brasil. **Estudos Econômicos (São Paulo)**, SciELO Brasil, v. 38, n. 4, p. 675–699, 2008.
- MILLER, G. A. The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. **Psychological review**, American Psychological Association, v. 101, n. 2, p. 343, 1994.
- MOREIRA, M. O. et al. Modelo baseado em combinação de previsores para previsão de séries temporais de carga elétrica. **Revista GEINTEC-Gestão, Inovação e Tecnologias**, v. 1, n. 2, p. 20–31, 2011.
- MORETTIN, P.; TOLOI, C. **Análise de Séries Temporais**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.
- NOWICKA-ZAGRAJEK, J.; WERON, R. Modeling electricity loads in california: Arma models with hyperbolic noise. **Signal Processing**, Elsevier, v. 82, n. 12, p. 1903–1915, 2002.
- OLIVEIRA, M. O. et al. Análise do efeito de variáveis climáticas sobre a evolução da demanda de energia elétrica. In: **XVIII Congresso Brasileiro de Automática—CBA**. [S.l.: s.n.], 2008.

- PANDIAN, S. C. et al. Fuzzy approach for short term load forecasting. **Electric Power Systems Research**, Elsevier, v. 76, n. 6, p. 541–548, 2006.
- PEROBELLI, F. F. C. **Um modelo para gerenciamento de riscos em instituições não financeiras: aplicação ao setor de distribuição de energia elétrica no Brasil**. Tese (Doutorado), 2004.
- PESSANHA, J. F. M.; JUSTINO, T. C. Um modelo para previsão de carga de curto-prazo. **SEGeT2013**, 2013.
- POLLOCK, D. **A SHORT COURSE OF TIME-SERIES ANALYSIS AND FORECASTING**. [S.l.]: At The Institute of Advanced Studies, 1993. At The Institute of Advanced Studies, Vien-na from March 22nd to April.
- ROCHA, C. A. et al. Sistema de suporte à decisão para predição de cargas e modelagem de dependência em sistemas elétricos de potência. In: **Anais do XXVI Congresso da SBC**. [S.l.: s.n.], 2007.
- RODRIGUES, D. **Previsão de fornecimento de energia elétrica: Um estudo de caso do ponto de vista do barramento**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil, Belo Horizonte, Julho 2002.
- RODRIGUES, L. C.; SILVA, P.; LINDEN, R. Séries temporais no consumo de energia elétrica no estado do rio de janeiro. **Revista Visões**, v. 2, 2007.
- SADAEI, H. et al. Short-term load forecasting using a hybrid model with a refined exponentially weighted fuzzy time series and an improved harmony search, int. j. electr. power energy syst. **Int. J. Electr. Power Energy Syst**, v. 62, 2014.
- SIQUEIRA, M. L.; JÚNIOR, H. H. C.; CASTELAR, C. I. A demanda por energia elétrica no nordeste brasileiro após o racionamento de 2001-2002: previsões de longo prazo. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea)**, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2006.
- SOUZA, G. P. Previsão do consumo industrial de energia elétrica no estado de santa catarina: uma aplicação da combinação de previsões entre modelos univariados e de regressão dinâmica. **Anais do Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, Florianópolis, SC, 2005.
- TIDRE, P. V. V.; BIASE, N. G. G.; SILVA, M. I. de S. Utilização dos modelos de séries temporais na previsão do consumo mensal de energia elétrica da região norte do brasil. **Matemática e Estatística em Foco**, v. 1, n. 1, p. 57–66, 2013.
- TSAY, R. S.; TIAO, G. C. Consistent estimates of autoregressive parameters and extended sample autocorrelation function for stationary and nonstationary arma models. **Journal of the American Statistical Association**, Taylor & Francis Group, v. 79, n. 385, p. 84–96, 1984.

TSENG, F.-M.; TZENG, G.-H. A fuzzy seasonal arima model for forecasting. **Fuzzy Sets and Systems**, Elsevier, v. 126, n. 3, p. 367–376, 2002.

WANG, L.-X. **A course in fuzzy systems**. [S.l.]: Prentice-Hall press, USA, 1999.

YATES; GOODMAN. **Probabilidade e Processos Estocásticos**. [S.l.]: LTC, 2016. ISBN 978-8521632481.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and control**, Elsevier, v. 8, n. 3, p. 338–353, 1965.