



Cristina Vidigal Cabral de Miranda

**PREVISÃO DE DADOS DE ALTA FREQUÊNCIA PARA
CARGA ELÉTRICA USANDO HOLT-WINTERS COM DOIS
CICLOS**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica: Métodos de Apoio à Decisão.

Orientador: Prof. Reinaldo Castro Souza

Rio de Janeiro
Março de 2007



Cristina Vidigal Cabral de Miranda

**PREVISÃO DE DADOS DE ALTA FREQUÊNCIA PARA
CARGA ELÉTRICA USANDO HOLT-WINTERS COM DOIS
CICLOS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Dr. Reinaldo Castro Souza

Orientador

Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

Profa. Dra. Marley Maria B. Rebuszi Vellasco

Departamento de Engenharia Elétrica - PUC-Rio

Dr. Plutarcho Maravilha Lourenço

CEPEL

Dr. Juan Guillermo Lazo Lazo

Departamento de Engenharia Elétrica - PUC-Rio

Profa. Dr. Mônica Barros

Departamento de Engenharia Elétrica - PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico

Rio de Janeiro, 22 de março de 2007

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

Cristina Vidigal Cabral de Miranda

Graduou-se em Ciências Econômicas na Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) em 2003. Especializou-se em Métodos Estatísticos Computacionais na UFJF em 2004.

Ficha Catalográfica

Miranda, Cristina Vidigal Cabral de

Previsão de dados de alta-freqüência para carga elétrica usando Holt-Winters com dois ciclos / Cristina Vidigal Cabral de Miranda ; orientador: Reinaldo Castro Souza. – 2007.

114 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)– Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Previsão para dados de alta freqüência. 3. Método de Holt-Winters com dois ciclos. 4. Feriado. 5. Temperatura. I. Souza, Reinaldo Castro. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

Este trabalho é dedicado aos meus pais,
João e Rosângela, pelo apoio e confiança.

Agradecimentos

Ao meu orientador, Prof. Reinaldo Castro Souza, pela ajuda e pela confiança.

A Ana Paiva e ao Alexandre Zanini por terem me apoiado deste o momento em que cheguei aqui.

A todos os professores com os quais tive aula, pelos seus ensinamentos. À profa. Mônica Barros, por todos os ensinamentos durante esse trabalho.

Aos meus pais, por todo amor, carinho e pela força nos momentos de dificuldade.

À minha irmã Fernanda, pelo apoio, carinho e ajuda.

Ao Eduardo por estar sempre ao meu lado.

À minha família, por sempre torcer por mim.

A todos os amigos que conheci aqui e que sempre me deram força.

Resumo

Miranda, Cristina Vidigal Cabral de; Souza, Reinaldo Castro. **Previsão de Dados de Alta Frequência para Carga Elétrica usando Holt-Winters com Dois Ciclos.** Rio de Janeiro, 2007. 112p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A previsão para dados de alta frequência é fundamental para a segurança e confiabilidade da operação do sistema elétrico. Os métodos de amortecimento exponencial, em particular o método de Holt-Winters e suas variações, são apropriados para este contexto devido à sua alta adaptabilidade e robustez. Este trabalho visa à previsão a cada quinze minutos para sete dias à frente, isto é, 672 passos à frente, para dados de energia elétrica de uma concessionária da região sudeste do Brasil. Para tanto, será utilizado o método de Holt-Winters com dois ciclos, que foi proposto recentemente por J. Taylor. Além disso, será incluído o tratamento de feriados e a influência da temperatura, que serão aplicadas de forma exógena ao modelo.

Palavras-chave

Previsão para dados de alta frequência, Método de Holt-Winters com dois ciclos, feriado, temperatura.

Abstract

Miranda, Cristina Vidigal Cabral de; Souza, Reinaldo Castro (Advisor). **Forecasting High Frequency Load Data Using A Double Cycle Holt Winters Approach**. Rio de Janeiro, 2007. 112p. Master Dissertation – Electrical Engineering Department, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The forecast for high frequency data is fundamental for the safety and reliability of the electric power system operation. The methods of exponential smoothing, particularly the Holt-Winters approach and its variations, are appropriate for this type of data due to its highly adaptability and robustness. This work seeks to produce forecasts, every fifteen minutes, for a time horizon of seven days ahead, that is, 672 steps of fifteen minutes ahead, for a brazilian load series of an important distribution utility located in the southeast region of the country. It is considered the two-cycle version of the Holt-Winters approach as proposed recently by J. Taylor, including some improvements, such as, the treatment of bank holidays and the influence of temperature, acting as exogenous inputs.

Keywords

Load forecast for high frequency data, double seasonal exponential smoothing methods, bank holidays, temperature

SUMÁRIO

1	Introdução	14
2.	Revisão Bibliográfica	18
2.1.	Introdução	18
2.1.1.	Série Temporal	18
2.1.2.	Processo Estocástico	20
2.1.3.	Previsão de Séries Temporais	21
2.2.	Método Ingênuo (NAÍVE)	23
2.3.	Média Móvel	24
2.4.	Métodos de Amortecimento Exponencial	25
2.4.1.	Métodos de Amortecimento de Brown	26
2.4.2.	Métodos de Amortecimento de Holt	27
2.4.3.	Métodos de Amortecimento de Holt-Winters	28
2.5.	Método de Amortecimento Direto	30
2.6.	Modelo de Box & Jenkins	33
2.6.1.	Modelos Box & Jenkins com Sazonalidade: SARIMA	34
2.7.	Modelo de Decomposição de Gupta	35
2.7.1.	Modelo para a Carga Padrão	36
2.7.2.	Modelo para as variáveis climáticas	37
2.8.	Regressão Dinâmica	38
2.9.	Redes Neurais	40
2.10.	Lógica Fuzzy	43
3.	MODELO PROPOSTO	45
3.1.	A Extensão do Modelo de Holt-Winters Padrão	45
3.1.1.	Holt-Winters com Dois Ciclos	46
3.2.	Inicialização dos parâmetros	48

3.3. Estimação das Constantes de Amortecimento	52
3.4. Tratamento de Feriado	53
3.5. Influência da Temperatura	62
4. Aplicação do Modelo e Resultados	72
4.1. Uso do Holt-Winters com dois ciclos	77
4.2. Aplicação dos fatores de correção para feriado	87
4.2.1. Resultado dos fatores de correção para feriado	95
4.3. Aplicação do fator de correção para temperatura	98
5. Conclusão	102
5.1. Sugestões	103
6. Referências Bibliográficas	105
Anexo A. Algoritmo Genético	108
A.1. Representação	111
A.2. Codificação e Decodificação	111
A.3. Inicialização da População	111
A.4. Avaliação	112
A.5. Operadores Genéticos	112
A.6. Parâmetros da Evolução	113

Lista de Figuras

Figura 2.01 – Exemplo da componente tendência e sazonalidade	28
Figura 2.02 - Geração de uma série temporal	33
Figura 2.03 - Análise de uma série temporal	33
Figura 2.04 - Modelo de um neurônio artificial	41
Figura 2.05 - Sistema de Lógica Fuzzy	43
Figura 3.01 – Curva de demanda elétrica a cada quinze minutos de 1 maio/2006 (segunda-feira) a 31 de maio/2006 (quarta-feira)	45
Figura 3.02 – Demanda de carga elétrica em uma semana que ocorreu um feriado e em uma semana onde não houve feriado	54
Figura 3.03 – Feriado de Carnaval (ocorreu dia 08/02)	55
Figura 3.04 – Feriado do Natal	55
Figura 3.05 – Feriado do Ano Novo	56
Figura 3.06 – Exemplo da Influência da Temperatura sob o Consumo na Espanha	64
Figura 3.07 – Exemplo da Influência da Temperatura sob o Consumo no Brasil	65
Figura 3.08 – Modelo da curva de impacto da temperatura no consumo de energia elétrica	69
Figura 4.01 – Carga a cada quinze minutos de todo o histórico	72
Figura 4.02 – Carga a cada quinze minutos de um trimestre	73
Figura 4.03 – Carga a cada quinze minutos de um mês	73
Figura 4.04 – Carga a cada quinze minutos de uma semana	74
Figura 4.05 – Carga a cada quinze minutos de um dia	74
Figura 4.06 – Temperatura Máxima e Mínima diária de todo o histórico	75
Figura 4.07 – Fatores sazonais iniciais para o mês de fevereiro de 2006	78

Figura 4.08 – Demanda prevista e realizada para 1 a 7 de fevereiro de 2006	78
Figura 4.09 – Média dos MAPEs diários	79
Figura 4.10 – Média dos MAPEs horários	79
Figura 4.11 – APE da previsão usando Holt-Winters com 2 ciclos x da previsão usando modelo NAIVE	80
Figura 4.12 – Fatores sazonais iniciais para o mês de abril de 2006	80
Figura 4.13 – Demanda prevista e realizada para 1 a 7 de abril de 2006	81
Figura 4.14 – Média dos MAPEs diários	81
Figura 4.15 – Média dos MAPEs horários	82
Figura 4.16 – APE da previsão usando Holt-Winters com 2 ciclos x da previsão usando modelo NAIVE	82
Figura 4.17 – Fatores sazonais iniciais para o mês de julho de 2005	83
Figura 4.18 – Demanda prevista e realizada para 15 a 21 de julho de 2005	83
Figura 4.19 – Média dos MAPEs diários	84
Figura 4.20 – Média dos MAPEs horários	84
Figura 4.21 – APE da previsão usando Holt-Winters com 2 ciclos x da previsão usando modelo NAIVE	84
Figura 4.22 – Fatores sazonais iniciais para o mês de setembro de 2005	85
Figura 4.23 – Demanda prevista e realizada para 1 a 7 de setembro de 2005	85
Figura 4.24 – Média dos MAPEs diários	86
Figura 4.25 – Média dos MAPEs horários	86
Figura 4.26 – APE da previsão usando Holt-Winters com 2 ciclos x APE da previsão usando modelo NAIVE	87
Figura 4.27 – Feriado em uma segunda-feira	88
Figura 4.28 – Feriado em uma terça-feira	88
Figura 4.29 – Feriado em uma quarta-feira	89

Figura 4.30 – Feriado em uma quinta-feira	89
Figura 4.31 – Feriado em uma sexta-feira	90
Figura 4.32 – Feriado em um sábado	90
Figura 4.33 – Feriado de Carnaval	91
Figura 4.34 – Feriado de Natal em um domingo	91
Figura 4.35 – Feriado de Natal em um sábado	92
Figura 4.36 – Feriado de Natal em uma quarta-feira	92
Figura 4.37 – Feriado de Natal em uma quinta-feira	93
Figura 4.38 – Feriado de Ano Novo em um domingo	93
Figura 4.39 – Feriado de Ano Novo em um sábado	94
Figura 4.40 – Feriado de Ano Novo em uma quarta-feira	94
Figura 4.41 – Feriado de Ano Novo em uma quinta-feira	95
Figura 4.42 – Previsão sem e com correção do feriado - 7 de setembro	96
Figura 4.43 – Previsão sem e com correção do dia antes do feriado – 6 de setembro	96
Figura 4.44 – Previsão sem e com correção do dia após do feriado – 8 de setembro	97
Figura 4.45 - Previsão sem e com correção do feriado – 14 de abril	97
Figura 4.46 - Previsão sem e com correção do dia após o feriado – 15 de abril	98
Figura A.01- Estrutura básica de um algoritmo genético	110
Figura A.02 – Crossover de um ponto	112
Figura A.03 - Mutação	113

Lista de Tabelas

Tabela 4.01 – Resultados da aplicação da regra para temperatura máxima para fevereiro 2006	99
Tabela 4.02 – Resultados da aplicação da regra para temperatura mínima para fevereiro 2006	99
Tabela 4.03 – Resultados da aplicação da regra para temperatura máxima para setembro 2005	100
Tabela 4.04 – Resultados da aplicação da regra para temperatura mínima para setembro 2005	100
Tabela 4.05 – Resultados da aplicação da regra para temperatura mínima para abril 2006	100
Tabela 4.06 – Resultados da aplicação da regra para temperatura máxima para maio 2005	101
Tabela 4.07 – Resultados da aplicação da regra para temperatura mínima para maio 2005	101