



ERICK ROMÁRIO DE PAULA

**ANÁLISE CONDICIONADA DA DEMANDA
DE ENERGIA ELÉTRICA:
APLICAÇÃO A UM CASO REAL**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica da PUC/RJ como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica: Sistemas de Energia.

Orientador: Reinaldo Castro Souza

**Rio de Janeiro
Março de 2006**



Erick Romário de Paula

**Análise Condicionada da Demanda de Energia
Elétrica: Aplicação a um Caso Real**

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

Prof. Reinaldo Castro Souza
Orientador

Departamento de Engenharia Elétrica - PUC-Rio

Prof Ricardo Tanscheit

Departamento de Engenharia Elétrica - PUC-Rio

Prof. Roberto Schaeffer

UFRJ

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro
Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 28 de março de 2006

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

Erick Romário de Paula

Graduou-se em Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) em 2002. Trabalhou por 7 anos na área acadêmica como professor de diversos cursos pré-universitários e professor substituto do Departamento de Estatística da Universidade Federal de Juiz de Fora. É Engenheiro Eletricista da Eletronuclear SA.

Ficha Catalográfica

Paula, Erick Romário de

Análise Condicionada da Demanda: Aplicação a um Caso Real / Erick Romário de Paula; orientador: Reinaldo Castro Souza. – Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Engenharia Elétrica, 2006.

87 f. il.; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia Elétrica – Teses. 2. Análise de Demanda Condicionada 3. Consumo de Eletricidade 4. Regressão 5. Regressão Robusta 6. Estimadores Robustos I. Souza, Reinaldo Castro. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

Este trabalho é inteiramente dedicado aos meus pais, grandes responsáveis por eu chegar até aqui.

Agradecimentos

Aos meus pais, Aparecida e Lauro por terem dedicado e sacrificado suas vidas por mim e meus irmãos.

A Deus por orientar e iluminar meu caminho.

Aos meus irmãos pelo incentivo.

Aos meus amigos de Juiz de Fora também pelo grande incentivo.

Ao meu orientador, professor doutor Reinaldo Souza Castro, ao qual sem dúvida devo muito pelo grande auxílio durante todo o curso e realização da dissertação.

À PUC-Rio pela concessão da bolsa de estudos, sem a qual a realização deste trabalho seria muito difícil.

Aos colegas do Departamento de Engenharia Elétrica, especialmente ao Alexandre Zanini pelos seus esclarecimentos as minhas dúvidas e ao Bruno Dore por seus auxílios.

A Ana e Flávio, colaboradores do professor Reinaldo, por sua pronta disponibilidade a ajudar.

Aos colegas do NEC-PUC, Carlos, Vanderley, Wesley, Sebastião, Cristiano, Bruno, Ricardo, Edilton.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica, em especial à Alcina por sua presteza.

A Ampla Energia e Serviços SA, por disponibilizar os dados utilizados neste trabalho.

Aos professores doutores que participaram da Comissão Examinadora.

A todos vocês meu mais sincero e verdadeiro obrigado.

Resumo

Paula, Erick Romário de. **Análise Condicionada da Demanda de Energia Elétrica: Aplicação a um Caso Real**. Rio de Janeiro, 87p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Este trabalho tem como objetivo avaliar o uso da técnica Análise Condicionada da Demanda, que é uma metodologia que quebra o consumo de energia elétrica (neste trabalho do setor residencial) em suas partes por equipamento e por uso final, via Regressão Robusta em contrapartida à utilização da regressão clássica, na estimação do consumo de energia elétrica por uso final do setor residencial. Para isto foram realizadas análises via regressão linear múltipla e também análises via regressão robusta (estimadores robustos). Serão realizadas as duas análises para efeito de comparação entre o método clássico MQO – Mínimos Quadrados Ordinários, que não é o ideal, pois os dados violam os pressupostos para utilização desta técnica, e o método robusto, menos sensível a desvios de pressupostos

Palavras chave:

Análise de Demanda Condicionada, Consumo de Eletricidade, Regressão, Regressão Robusta, Estimadores Robustos.

Abstract

Paula, Erick Romário de. **Electrical Energy Conditional Demand Analysis using Robust Regression: Application to a Real Case.** Rio de Janeiro, 87p. Master Dissertation – Electrical Engineering Department, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This work has the purpose of evaluating the use of the technique Conditional Demand Analysis - CDA, which is a methodology that segregates the consumption of electric energy (on this work about the residential sector) in its parts per equipment and per final use through the Robust Regression, in counterpart of using the classic regression, in the estimation of the electric energy consumption for final use on the residential sector. For this purpose analyses will be made using the multiple linear regression and also analyses using the robust regression (robust estimators). The two analyses will be made for comparing the classic method Squared Minimums Usual – MQO, which is not the ideal one because the data violates the requirements for using this kind of method, and the robust method, less sensible to detours of the requirements.

Keywords:

Condition Demanda Analysis, Electricity Consumption, Regression, Robust Regression, Robust Estimators.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA	12
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	14
1.3 JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TRABALHO	15
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2 REGRESSÃO	18
2.1 REGRESSÃO LINEAR	19
2.1.1 O MODELO DE REGRESSÃO LINEAR	19
2.1.2 OS PRESSUPOSTOS DO MODELO DE REGRESSÃO	21
LINEAR	
2.2 O MÉTODO DE MÍNIMOS QUADRADOS ORDINÁRIOS	22
2.3 REGRESSÃO ROBUSTA	26
2.3.1 OUTLIERS	27
2.3.2 EQUIVARIÂNCIA	28
2.3.3 PONTO DE RUPTURA	29
2.3.4 FUNÇÃO DE INFLUÊNCIA	32
2.3.5 POSIÇÃO GERAL PARA REGRESSÃO	32
2.3.6 PRINCIPAIS ESTIMADORES ROBUSTOS	33
2.3.6.1 ESTIMADORES L_1	33
2.3.6.2. M-ESTIMADORES	34
2.3.6.3 GM-ESTIMADORES	34
2.3.6.4 ESTIMADORES LMS E LTS	35
2.3.6.5 MM-ESTIMADORES	36
3 ANÁLISE DE DEMANDA CONDICIONADA	37
3.1 INTRODUÇÃO	37
3.2 DESCRIÇÃO TEÓRICA DA CDA	39
3.3 UTILIZAÇÕES DE CDA NO MUNDO	41

4 ANÁLISE DOS DADOS	43
4.1 BANCO DE DADOS	43
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA	44
4.3 SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS	47
4.4 REGRESSÃO LINEAR – MQO	50
4.4.1 RESULTADOS DO MODELO	50
4.4.2 VALIDAÇÃO DOS PRESSUPOSTOS DO MODELO DE REGRESSÃO LINEAR	52
4.5 REGRESSÃO ROBUSTA	58
4.6 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS MQO X RR	60
4.7 CONSUMO PERCENTUAL POR EQUIPAMENTO	61
5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	63
5.1 CONCLUSÕES	63
5.2 TRABALHOS FUTUROS	65
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
ANEXOS	71

Lista de Figuras

Figura 1.1.1 – Área de concessão da Ampla Energia e Serviços AS	13
Figura 1.3.1 – Consumo Energético no Brasil por Setor	15
Figura 1.3.2 – Consumo de Energia Elétrica por uso Final	16
Figura 2.1.1.1 – Exemplo de Regressão Linear Simples	20
Figura 2.1.2.1 – Distribuição dos Resíduos	21
Figura 2.2.1 – Resíduos na regressão linear	23
Figura 2.3.3.1 – Ponto de alavanca	31
Figura 4.4.2.1 – Gráfico resíduos <i>versus</i> Yajustado.	53
Figura 4.4.2.2 – Gráfico resíduos <i>versus</i> observações.	53
Figura 4.4.2.3 – Gráfico de Probabilidade Normal	54
Figura 4.5.1 – Gráfico resíduos <i>versus</i> Yajustado (regressão robusta).	59
Figura 4.7.1 – Consumo de Energia Elétrica por uso Final	62

Lista de Tabelas

Tabela 4.2.1 – número de pesquisados por fase (onda)	44
Tabela 4.2.2 – plano amostral	45
Tabela 4.2.3 – Estatísticas descritivas das variáveis do modelo.	46
Tabela 4.3.1 – Variáveis selecionadas para o modelo pelo método <i>Stepwise</i> do software SPSS.	48
Tabela 4.3.2 – Variáveis selecionadas para o modelo pelo método AIC do software R.	48
Tabela 4.3.3 – Variáveis selecionadas para o modelo em estudo.	49
Tabela 4.4.1.1 – Resultados da regressão linear.	50
Tabela 4.4.2.1 – Teste de Kolmogorov-Smirnov	55
Tabela 4.4.2.2 – Estatísticas descritivas dos diferentes tipos de resíduos.	56
Tabela 4.4.2.3 – <i>Outliers</i> .	56
Tabela 4.5.1 – Resultados da regressão robusta.	58
Tabela 4.6.1 – Comparação estimadores clássicos x estimadores robustos.	60
Tabela 4.7.1 – Consumo médio de energia elétrica percentual por equipamento.	61