



Wesley de Castro Fagundes

**Estimativa do Fator de Carga (FC) e Fator de Demanda (FD)
de Consumidores de Energia Elétrica Via Medição e
Pesquisa de Posses e Hábitos**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação) da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Reinaldo Castro Souza
Co-orientador: Prof. Maurício Nogueira Frota

Rio de Janeiro, abril de 2011



Wesley de Castro Fagundes

**Estimativa do Fator de Carga (FC) e Fator de Demanda (FD)
de Consumidores de Energia Elétrica Via Medição e
Pesquisa de Posses e Hábitos**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação) da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Comissão Examinadora:

Prof. Reinaldo Castro Souza

Orientador

Programa de Pós-Graduação em Metrologia (PósMQI/PUC-Rio)
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Prof. Maurício Nogueira Frota

Co-orientador

Programa de Pós-Graduação em Metrologia (PósMQI/PUC-Rio)
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Prof. André Luís Marques Marcato

Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. João Carlos de Oliveira Aires

Universidade Gama Filho

Coordenação Setorial de Pós-Graduação:

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial de Pós-Graduação do
Centro Técnico Científico (PUC-Rio)

Rio de Janeiro, 29 de abril de 2011

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

Wesley de Castro Fagundes

Graduou-se em Engenharia Elétrica (2003) pela Universidade Veiga de Almeida. Atualmente possui vínculo com o Instituto de Energia da PUC-Rio, onde trabalha como Assistente de Pesquisa em projetos de P&D para o setor elétrico.

Ficha Catalográfica

Fagundes, Wesley de Castro

Estimativa do fator de carga (FC) e fator de demanda (FD) de consumidores de energia elétrica via medição e pesquisa de posses e hábitos / Wesley de Castro Fagundes ; orientador: Reinaldo Castro Souza ; co-orientador: Mauricio Nogueira Frota. – 2011.

105 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Metrologia para a Qualidade e Inovação, 2011.

Inclui bibliografia

1. Metrologia – Teses. 2. Fator de carga. 3. Fator de demanda. 4. Critério de Chauvenet. 5. Pesquisas de posses e hábitos. I. Souza, Reinaldo Castro. II. Frota, Mauricio Nogueira. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Metrologia para a Qualidade e Inovação. IV. Título.

CDD: 389.1

À minha esposa Patrícia e nosso filho João, minhas maiores fontes de inspiração.
Agradeço a vocês por toda paciência, amor e compreensão durante este período

Agradecimentos

Ao meu orientador, Professor Reinaldo Castro Souza, pela paciência e suporte acadêmico necessário para realização deste trabalho.

Ao meu co-orientador, Professor Mauricio Frota, pela oportunidade de fazer parte do grupo de mestres formados em Metrologia pela PUC.

A minha avó Geraldina, pela lição de vida, motivo de exemplo para todos nós.

A minha mãe, Maria de Lourdes, e meu pai, Victorino, por todo amor e orientações que me foram passadas.

A minha sogra Regina, por todo amor, carinho e dedicação dado a nossa família, em especial ao nosso pequeno João.

A toda minha família, pelo apoio e compreensão nos momentos em que precisei ficar ausente para conclusão deste trabalho.

Ao amigo Rubinho, que muito contribuiu para o levantamento das informações colhidas na pesquisa campo.

Às amigas Elizabeth e Nilmara, pela ajuda nas pesquisas e nas revisões desta tese.

Ao meu grande amigo Vanderlei, que muito incentivou na conclusão desse trabalho.

Para a maravilhosa equipe de funcionários da secretaria de Metrologia, em especial a Márcia Ribeiro, Márcia Bicalho e Paula por estarem sempre dispostas a ajudar.

À Elektro, em especial a Márcia Inoue e Rodrigo Manfredini, pelo empenho e disponibilidade na troca de informações

À PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Resumo

Fagundes, Wesley de Castro; Souza, Reinaldo Castro. **Estimativa do Fator de Carga (FC) e Fator de Demanda (FD) de Consumidores de Energia Elétrica Via Medição e Pesquisa de Posses e Hábitos.** Rio de Janeiro, 2011. 105p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Metrologia. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O objetivo desta dissertação é apresentar os conceitos de Fator de Carga (FC) e Fator de Demanda (FD) e verificar o quanto estas informações estão atualizadas para uso pelas concessionárias de energia elétrica. A motivação pelo estudo resultou do fato de o conhecimento e o gerenciamento desses índices proporcionarem maior eficiência e segurança às instalações e equipamentos, além de permitir redução do custo da energia elétrica. A metodologia utilizada para o cálculo se baseia nos testes de Chauvenet, que permite determinar se um valor amostral (resultante de uma medição) é anômalo (outlier) em relação aos restantes valores da amostra, supondo-se que esta amostra é retirada de uma distribuição normal. Dentre os principais resultados destacam-se estimativas do Fator de Carga e Fator de Demanda, típicos para os diversos segmentos de clientes de uma empresa de distribuição de energia elétrica. Para se obter essas estimativas foi realizada uma pesquisa de campo permitindo o levantamento da potência instalada em clientes atendidos na alta e na baixa tensão. Em paralelo à pesquisa de campo, a concessionária de energia elétrica realizou medições de consumo e demanda junto a esses clientes. Como conclusão o trabalho confirma que as distribuidoras de energia elétrica não possuem acesso a um cadastro atualizado da potência instalada de seus consumidores. Faz-se necessário uma atualização mais dinâmica nas bases de dados disponíveis o que permitiria uma estimativa mais precisa dos fatores de carga e de demanda.

Palavras-chave

Metrologia; Fator de Carga; Fator de Demanda; Critério de Chauvenet; Pesquisas de Posses e Hábitos.

Abstract

Fagundes, Wesley de Castro; Souza, Reinaldo Castro (Advisor). **Estimation of the Load Factor (LF) and the Demand Factor (DF) of Electricity Consumers via Measurements and Electrical Appliances Ownership and Usage Surveys.** Rio de Janeiro, 2011. 105p. MSc. Dissertation - Programa de Pós-Graduação em Metrologia. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The aim of this work discusses basic concepts associated with the load factor (LF) and demand factor (DF) and the adequacy of their use by electricity utilities. The knowledge and management of these electrical parameters is rather important, as they contribute for the improvement of the efficiency and security of the system as a whole while promoting reduction on energy costs. The method used to estimate these quantities is based on the Chauvenet statistical tests capable to detect and remove possible discontinuity on the sample data observed to follow normal distribution. The LD and DF were estimated for various clusters of similar clients of a given distributing utility. Estimations were obtained through a survey involving clients of the selected utility to capture information on the end-users and their nominal power demanded at both, the low and high voltage levels. In parallel to the survey, the utility measured and monitored the energy consumption of the clients participating in the study. As a conclusion, the study revealed that the electricity utilities do not have access to update information (stratified by segments of clients) on the electrical parameters. A dynamic scheme to make available updated information related to load factor and demand factor proved to be extremely useful and is highly recommended.

Keywords

Metrology; Load Factor; Demand Factor; Chauvenet Criterion; Electrical Appliances Ownership Survey.

Sumário

1	Introdução	17
1.1.	Definição do problema da pesquisa	17
1.2.	Objetivos	18
1.3.	Motivação	18
1.4.	Metodologia	18
1.5.	Estrutura da dissertação	19
2	Setor Elétrico Brasileiro	21
2.1.	Matriz energética nacional	21
2.2.	Breve histórico do setor elétrico brasileiro	23
2.3.	Os principais agentes do setor elétrico	25
2.3.1.	Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)	25
2.3.2.	Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS)	25
2.3.3.	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE)	27
2.3.4.	Empresa de Pesquisa Energética (EPE)	27
2.4.	Funcionamento das distribuidoras de energia	28
2.5.	Classificação dos consumidores de energia elétrica	28
2.5.1.	Grupo A	28
2.5.2.	Grupo B	29
2.6.	Classes de consumo	29
2.7.	Faturamento dos clientes	29
2.8.	Medidores	31
3	Posses e hábitos do uso de aparelhos elétricos	34
3.1.	Breve histórico	34
3.2.	Tipos de pesquisa	35
3.3.	Plano amostral da PPH para seleção dos municípios	38
3.3.1.	Determinação do “perfil elétrico” utilizando análise de <i>cluster</i>	41
3.3.2.	Aplicação dos mapas de Kohonen	41
3.3.3.	Distâncias entre perfis	43
3.4.	Uso da PPH no contexto	44

4 Fator de carga e fator de demanda: conceituação	45
4.1. Fator de carga (FC)	45
4.2. Fator de demanda (FD)	45
4.3. Definição ilustrativa do FC e do FD	45
4.4. Disponibilidade de informações nas distribuidoras	49
4.5. Cálculo do FC e FD para um cliente selecionado	52
4.6. Cálculo do FC e FD típicos para grupo de clientes do mesmo ramo	54
5 Estudo de Caso	55
5.1. Perfil dos consumidores analisados no grupo A	55
5.2. Aplicação da metodologia para um caso real de um ramo de atividade pertencente ao grupo A	57
6 Conclusões e recomendações para trabalhos futuros	77
7 Referências bibliográficas	79
ANEXO 1 – Instrumento de coleta de dados para levantamento da potência instalada no grupo A	82
ANEXO 2 – Instrumento de coleta de dados para PPH residencial do grupo B	83
APÊNDICE 1 – Tabela de FC e FD típicos utilizada pela ELEKTRO por atividade – Baixa tensão	92
APÊNDICE 2 – Tabela de fatores FC e FD típicos utilizados pela ELEKTRO por classe de consumo – Baixa tensão	93
APÊNDICE 3 – Tabela de fatores FC e FD típicos utilizados pela ELEKTRO por setor industrial – Baixa tensão	94
APÊNDICE 4 – Tabela de fatores FC e FD típicos utilizados pela ELEKTRO por atividade – Alta tensão	95

APÊNDICE 5 – Critério de Chauvenet	102
APÊNDICE 6 – Tabela com os dados de consumo médio (kWh) dos clientes do grupo B	104
APÊNDICE 7 – Tabela com os dados de consumo médio (kWh) dos clientes do grupo B (padronizada)	105

Lista de figuras

Figura 1 - Matriz energética brasileira em 2009	21
Figura 2 - Oferta interna de energia elétrica no Brasil por fonte em 2009	22
Figura 3 - Investimento em geração de energia elétrica no Brasil entre 1990 e 1995	23
Figura 4 - Mapa da área de concessão antes da reestruturação do setor elétrico	24
Figura 5 - Mapa resumido do sistema interligado nacional - SIN	26
Figura 6 – Percurso da energia elétrica até o consumidor final	30
Figura 7 - Medidor Eletromecânico Monofásico	31
Figura 8 - Medidor Eletrônico	32
Figura 9 – Concessionárias que realizaram PPH entre 2004 e 2006 em parceria com a PUC e PROCEL	35
Figura 10 – Participação de eletrodomésticos no consumo residencial no Brasil em 2005 Fonte:	37
Figura 11 – Curva de carga diária média na região sudeste – Ano base 2005	37
Figura 12 – Simulador SINPHA	38
Figura 13: Topologia da rede	42
Figura 14 – Curva de carga residencial para um dia útil	46
Figura 15 – Mapa da área de concessão da ELEKTRO em 2008	55
Figura 16 – Mapa atual da área de concessão da ELEKTRO 2011	56

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Diferenças entre o sistema de medição eletrônica e eletromecânica	33
Tabela 2 – Levantamento da potência instalada em um apartamento residencial típico	48
Tabela 3 – Demanda de energia diurna de um apartamento residencial típico	48
Tabela 4 – Demanda de energia noturna de um apartamento residencial típico	49
Tabela 5 – Fator de demanda diurno e noturno para um apartamento residencial típico	49
Tabela 6 – Informações que a concessionária possui por tipo de cliente	50
Tabela 7 – Quantidade de clientes por classe principal	57
Tabela 8 – Potência instalada dos clientes amostrados pertencentes ao ramo de atividade “Fabricação de produtos farmacêuticos e veterinários”	58
Tabela 9 – Histórico das demandas medidas (em kW) dos clientes amostrados pertencentes ao ramo de atividade “Fabricação de produtos farmacêuticos e veterinários”	59
Tabela 10 – Cálculo dos desvios em relação à média para os valores do histórico de demandas para o cliente C.1	59
Tabela 12 – Histórico das demandas medidas (em kW) dos clientes amostrados pertencentes ao ramo de atividade “Fabricação de produtos farmacêuticos e veterinários” sem a informação do mês de maio de 2010	61
Tabela 13 – Cálculo dos desvios em relação à média para os valores do histórico de demandas para o cliente C.1 após a retirada de um dado	61
Tabela 14 – Valores encontrados para ΔR para o cliente C.1 após a retirada de um dado	62

Tabela 15 – Cálculo dos desvios em relação à média para os valores do histórico de demandas para o cliente C.2	62
Tabela 16 – Valores encontrados para ΔR no histórico de demanda para o cliente C.2	63
Tabela 17 – Histórico das demandas medidas (em kW) dos clientes amostrados pertencentes ao ramo de atividade “Fabricação de produtos farmacêuticos e veterinários” sem a informação do mês de outubro de 2010	63
Tabela 18 – Cálculo dos desvios em relação à média para os valores do histórico de demandas do cliente C.2 após a retirada de um dado	64
Tabela 19 – Valores encontrados para ΔR para o cliente C.2 após a retirada de um dado	64
Tabela 20 – Histórico de consumo (em kWh) dos clientes amostrados pertencentes ao ramo de atividade “Fabricação de produtos farmacêuticos e veterinários”	65
Tabela 21 – Cálculo dos desvios em relação à média para os valores do histórico de consumo do cliente C.1	65
Tabela 22 – Valores encontrados para ΔR no histórico de consumo para o cliente C.1	66
Tabela 23 – Histórico de consumo (em kWh) dos clientes amostrados pertencentes ao ramo de atividade “Fabricação de produtos farmacêuticos e veterinários” sem a informação do mês maio de 2010	66
Tabela 24 – Cálculo dos desvios em relação à média para os valores do histórico de consumo do cliente C.1 após a retirada de um dado	67
Tabela 25 – Valores encontrados para ΔR para o cliente C.1 após a retirada de um dado	67
Tabela 26 – Cálculo dos desvios em relação à média para os valores do histórico de consumo do cliente C.2	68
Tabela 27 – Valores encontrados para ΔR no histórico de consumo para o cliente C.2	68

Tabela 28 – Valores da demanda máxima ajustados após aplicação do critério de Chauvenet	69
Tabela 29 – Fator de demanda final por cliente	69
Tabela 30 – Fator de carga final por cliente	70
Tabela 31 – FC e FD típico para o ramo de atividade “Fabricação de produtos farmacêuticos e veterinários”	70
Tabela 32 – FC e FD estimados para as demais classes de consumo do grupo A	71
Tabela 33 - Tabela de Chauvenet	103

Lista de Quadros

Quadro 1: Localidades pertencentes a cada área geográfica da ELEKTRO	39
Quadro 2: Distância Euclideana (DE) entre cada área e a ELEKTRO como um todo	43
Quadro 3: Grupos de similaridade entre as áreas	44

Lista de Abreviaturas

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AT	Alta tensão
BEN	Balanço Energético Nacional
BT	Baixa tensão
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FC	Fator de carga
FD	Fator de demanda
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
MAE	Mercado Atacadista de Energia Elétrica
ONS	Operador Nacional do Sistema
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PPH	Pesquisa de posses e hábitos de consumo
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RESEB	Programa de Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro
SINPHA	Sistema de Informação de Posses de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo