



**Flávia Ribeiro Villela**

**Análise Multicritério para a Definição do Índice  
de Qualidade de Fornecimento de Energia  
Elétrica por uma Distribuidora**

**Dissertação de Mestrado**

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.

Orientador: Prof. Reinaldo Castro Souza

Rio de Janeiro  
Setembro de 2009



**Flávia Ribeiro Villela**

## **Análise Multicritério para a Definição do Índice de Qualidade de Fornecimento de Energia Elétrica por uma Distribuidora**

Dissertação de Mestrado 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.

**Dr. Reinaldo Castro Souza**  
**Orientador**

Departamento de Engenharia Elétrica - PUC-Rio

**Dr. Luiz Flavio Autran Monteiro Gomes**  
IBMEC

**Dr. José Francisco Moreira Pessanha**  
UERJ

**Prof. José Eugenio Leal**  
Coordenador Setorial do Centro  
Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 09 de setembro de 2009

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

## **Flávia Ribeiro Villela**

Graduada em Estatística pelo Instituto de Matemática e Estatística da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – IME/UERJ.

### Ficha Catalográfica

Villela, Flávia Ribeiro

Análise multicritério para a definição do índice de qualidade de fornecimento de energia elétrica por uma distribuidora / Flávia Ribeiro Villela ; orientador: Reinaldo Castro Souza. – 2009.

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

Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

Inclui bibliografia

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Decisão multicritério. 3. Qualidade dos serviços. 4. MACBETH. 5. Energia elétrica. I. Souza, Reinaldo Castro. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

## Agradecimentos

A DEUS pelo Seu amor tão grande por mim. A DEUS dedico este trabalho.

A CAPES, ao CNPq e à PUC-Rio, pelo auxílio financeiro concedido, que possibilitou a realização deste trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Reinaldo Castro Souza, pela confiança, paciência e simpatia, pelo aprendizado e oportunidades oferecidas.

Ao meu co-orientador, Prof. Carlos António Bana e Costa e ao João Bana e Costa pelas orientações, contribuições, atenção e simpatia.

A toda minha família, especialmente aos meus pais Eval e Edina, pelo apoio, cuidado e amor.

A minha irmã Gláucia, pela cumplicidade, carinho, amizade e compreensão.

Ao Fábio pelo amor e por estar ao meu lado me apoiando em todos os momentos.

A todos os meus amigos, pessoas maravilhosas que Deus colocou em meu caminho, pessoas estas que nos momentos difíceis me incentivaram a prosseguir.

A amiga Carla, pelo carinho e ajuda tão importantes, desde a graduação.

A todos os professores, secretárias e demais funcionários do DEE da PUC pelos ensinamentos e pela atenção. A Ana Paiva e ao Flávio pelo incentivo e atenção.

Aos professores que participaram da Comissão examinadora, Prof. Luiz Flavio Autran Monteiro Gomes e Prof. José Francisco Moreira Pessanha, por suas valiosas contribuições.

## Resumo

Villela, Flávia Ribeiro; Souza, Reinaldo Castro (Orientador). **Análise Multicritério para a Definição do Índice de Qualidade de Fornecimento de Energia Elétrica por uma Distribuidora**. Rio de Janeiro, 2009. 157p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Esta dissertação apresenta, via um estudo de caso, o desenvolvimento de um modelo de decisão multicritério para a definição do Índice de Qualidade de Fornecimento de Energia Elétrica por uma distribuidora. O estudo desenvolveu um processo interativo, apoiado pela abordagem multicritério e software MACBETH. Este trabalho apresenta as diferentes componentes deste processo interativo sociotécnico. MACBETH requer apenas julgamentos qualitativos sobre as diferenças de atratividade entre elementos para gerar pontuações e pesos em cada critério. Esse tipo de procedimento de julgamento motivou discussão e aprendizagem no âmbito do grupo de trabalho, contribuindo para o desenvolvimento de um sistema de valores em grupo. O modelo multicritério desenvolvido é suficientemente genérico para ser facilmente aplicável a outras distribuidoras de energia elétrica. O índice proposto pode ser adaptado e servir como medida de comparação da qualidade dos serviços prestados entre as diversas distribuidoras. Desta forma, o presente trabalho também se apresenta como uma contribuição ao órgão regulador, que vem estudando a possibilidade de se definir um indicador de qualidade que seja mais robusto e que leve em consideração outros aspectos dos serviços de fornecimento de energia.

## Palavras-chave

Análise Multicritério, Qualidade dos Serviços, MACBETH, Energia Elétrica.

## Abstract

Villela, Flávia Ribeiro; Souza, Reinaldo Castro (Advisor). **Multicriterion Analysis to create a Quality Index to evaluate the service provided by a distribution electricity utility.** Rio de Janeiro, 2009. 157p. MSc Dissertation – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This dissertation presents, through a case study, the development of a multicriterion decision model to create a Quality Index to evaluate the service provided by a distribution electricity utility. The study used an iterative process following the approach proposed by MACBETH software. The thesis shows the different components of this social-technical process adopted. MACBETH requires solely qualitative judgments about the attractiveness differences among the elements in order to generate the weights and the marks for each criterion. This type of judgment procedure motivates the discussion and the learning process among the members of the working group, which results in a real contribution to development of a group value system. The multicriterion model developed is general enough to allow its implementation to others distribution electricity utilities. This proposed index can be easily adapted and acts as a comparison measure of the quality of the services provided by utilities. Therefore, the present thesis also brings about a contribution to the regulator agent which is searching for quality index that is robust enough to be implemented in any distributing utility.

## Keywords

Multicriterion Analysis, Quality the services, MACBETH, Distribution Electricity Utility.

# Sumário

1. Introdução	12
1.1. O Setor de Energia Elétrica no Brasil	12
1.2. Qualidade dos Serviços de Energia Elétrica	14
1.2.1. Qualidade técnica	15
1.2.2. Qualidade no atendimento comercial	18
1.2.3. Qualidade na satisfação dos clientes	20
1.3. Definição do Problema	23
2. Metodologia	25
2.1. Metodologia Multicritério de Apoio a Decisão	25
2.2. Principais Métodos Multicritério	27
2.3. A Abordagem MACBETH	31
2.3.1. Fase de Estruturação	35
2.3.1.1. Árvore de Pontos de Vista	35
2.3.1.2. Operacionalização: Construção dos Descritores	38
2.3.1.3. Níveis de referência Bom e Neutro	42
2.3.2. Fase de Avaliação	44
2.3.2.1. Obtenção de Escalas de Valor Cardinais	44
2.3.2.2. Obtenção de informação ordinal	45
2.3.2.3. A transição de informação ordinal para cardinal	46
2.3.2.4. Questionamento e Julgamentos Qualitativos MACBETH	47
2.3.2.5. Escala precardinal MACBETH	50
2.3.2.6. De precardinal a cardinal: discussão em torno de uma escala	52
2.3.2.7. Formulação Matemática MACBETH	53
2.3.2.8. Informação de preferência inter-critérios	61
2.3.2.9. Escala de atratividade global	68
2.3.3. Definição do Perfil de Impacto	69
2.3.4. Modelo Aditivo de Agregação	73
2.3.5. Análises de sensibilidade e de robustez	75
2.3.6. Sistema de apoio à decisão M-MACBETH	77
2.3.7. Breve Histórico da investigação MACBETH	78
3. Índice de Qualidade Proposto	82
3.1. Definição do Problema	82
3.2. Objetivos	83
3.3. Construção do Modelo	83
3.3.1. Enquadramento do problema	84
3.3.2. Fatores Críticos da Qualidade	86
3.3.2.1. FCs da Qualidade na satisfação dos clientes	87
3.3.2.2. FCs da Qualidade técnica	91
3.3.2.3. FCs da Qualidade no atendimento	94
3.3.3. Construção dos Descritores	98
3.3.4. Construção de função de valor MACBETH	101
3.3.5. Ponderação dos critérios	111
3.3.5.1. Referências de ponderação	115

3.3.5.2. Ordenação dos pesos dos critérios	115
3.3.5.3. Avaliação qualitativa de diferenças de atratividade global	116
3.3.5.4. Quantificação dos pesos	118
3.3.5.5. Ponderação das Áreas de Interesse	122
3.3.6. Modelo utilizado na definição do Índice de Qualidade	125
4. Resultados	127
4.1. Perfil de impactos	127
4.2. Avaliações Locais	127
4.2.1. Qualidade Técnica	128
4.2.2. Qualidade na Satisfação dos Clientes	128
4.2.3. Qualidade no Atendimento	129
4.3. Índices de Qualidade Parciais	130
4.4. Análise de sensibilidade	131
4.5. Índice de Qualidade Global	132
4.6. Índices de Qualidade Locais	133
5. Discussão e Conclusão	135
6. Referências bibliográficas	140
Anexo	150



## Lista de tabelas

Tabela 1: Perfis de referência – Escolha de uma Impressora	64
Tabela 2: Matriz de Ordenação dos Pontos de Vista Fundamentais	65
Tabela 3: Exemplo de Matriz de Ordenação de PVF	66
Tabela 4: Perfis de impacto e perfis de referência	71
Tabela 5: Avaliação Parcial das Ações Potenciais	71
Tabela 6: Avaliação local das impressoras segundo cada um dos critérios	72
Tabela 7: Escala de valor construída para os FCs da qualidade associados à Qualidade técnica	99
Tabela 8: Escala de valor construída para os FCs da qualidade associados à Qualidade do atendimento e para o FC Reclamações	99
Tabela 9: Escala de valor construída para o FC Tempo Médio de Espera	100
Tabela 10: Escala de valor construída para o FC Pesquisas de Satisfação	100
Tabela 11: Referências globais da área Qualidade técnica	116
Tabela 12: Intervalos dos pesos para os FCs associados à Qualidade técnica	119
Tabela 13: Intervalos dos pesos para os FCs associados à Qualidade do atendimento	121
Tabela 14: Intervalos dos pesos para os FCs associados à Qualidade na satisfação	122
Tabela 15: Intervalos dos pesos para as Áreas de Interesse	123
Tabela 16: Índice de Qualidade na Satisfação dos Clientes, jan a jun/09	130
Tabela 17: Índice de Qualidade Técnica, jan a jun/09	130
Tabela 18: Índice de Qualidade no Atendimento, jan a jun/09	131
Tabela 19: Índice de Qualidade da distribuidora e IQs Parciais, jan a jun/09	132
Tabela 20: Índices de Qualidade Técnica por Regionais, jan a jun/09	133

## Lista de figuras

Figura 1: Fases do processo consultivo MACBETH	34
Figura 2: Árvore de Pontos de Vista	37
Figura 3: Exemplo de descritor	39
Figura 4: Tipos de descritores	39
Figura 5: Descritor de “Qualidade de impressão a cores” (abreviadamente: "Cor")	41
Figura 6: Descritor de “Design da Impressora” (abreviadamente: "Design")	41
Figura 7: Descritor de “Velocidade de impressão” (abreviadamente: "Velocidade")	41
Figura 8: O processo cíclico de estruturação	42
Figura 9. Referências de “Qualidade de impressão a cores”	45
Figura 10. Referências de “Design da Impressora”	45
Figura 11. Referências de "Velocidade de impressão Colorida" (páginas / min)	45
Figura 12: Exemplo de incompatibilidade ordinal	45
Figura 13. Matriz de julgamentos de Maria para o critério "Velocidade de impressão"	48
Figura 14: Sugestão de modificações de julgamentos	50
Figura 15: Função de valor seccionalmente linear de velocidade de impressão	51
Figura 16: Intervalo de escala	53
Figura 17: Representação das categorias de diferença de atratividade na semi-reta dos reais positivos	54
Figura 18: Esquema Interativo MACBETH	56
Figura 19: Representação gráfica do programa Mc2 para $k \neq 6$	59
Figura 20: Representação gráfica do programa Mc2 para $k = 6$	59
Figura 21: Função das variáveis $\alpha(a,b)$ e $\beta(a,b)$ para $C_k (k \neq 6)$	61
Figura 22: Matriz de julgamentos de Maria referente à atratividade global dos critérios	67
Figura 23: Histograma de pesos	69
Figura 24: Perfil de Impacto da Ação $a$	70
Figura 25: A lógica do modelo aditivo de agregação	74
Figura 26: Tabela de Valor	75
Figura 27: Exemplo de análise de sensibilidade sobre o peso de "Velocidade"	76
Figura 28: Áreas de preocupação a considerar no cálculo do IQ	85
Figura 29: FCs a considerar na área <i>Qualidade na satisfação</i>	87
Figura 30: Índice ANEEL de Satisfação dos Clientes	88
Figura 31: FCs a considerar na área <i>Qualidade técnica</i>	91
Figura 32: FCs a considerar na área <i>Qualidade do atendimento</i>	95
Figura 33: FCQs considerados no cálculo do índice de Qualidade	97
Figura 34: Matriz de julgamentos – DEC	101
Figura 35: Função de valor – DEC	102
Figura 36: Matriz de julgamentos - Reclamações de fornecimento	103

Figura 37: Função de valor - Reclamações de fornecimento	103
Figura 38: Matriz de julgamentos - Atendimentos de Emergência	104
Figura 39: Função de valor - Atendimentos de Emergência	104
Figura 40: Matriz de julgamentos - Desligamento programado	105
Figura 41: Função de valor - Desligamento programado	105
Figura 42: Matriz de julgamentos - Desarme do alimentador	106
Figura 43: Função de valor - Desarme do alimentador	106
Figura 44: Matriz de julgamentos - Nível de Serviço Call Center	107
Figura 45: Função de valor - Nível de Serviço Call Center	107
Figura 46: Matriz de julgamentos - Taxa de Abandono Call Center	108
Figura 47: Função de valor - Taxa de Abandono Call Center	108
Figura 48: Matriz de julgamentos - Ordem Dentro do Prazo	108
Figura 49: Ajuste de escala para Ordem Dentro do Prazo	109
Figura 50: Função de valor - Ordem Dentro do Prazo	109
Figura 51: Matriz de julgamentos – TME	110
Figura 52: Ajuste de escala para TME	110
Figura 53: Função de valor – TME	111
Figura 54: Matriz de julgamentos - Avaliação do Conhecimento	111
Figura 55: Função de valor - Avaliação do Conhecimento – Call Center	112
Figura 56: Matriz de julgamentos - Pesquisas de Satisfação	112
Figura 57: Função de valor - Pesquisas de Satisfação	113
Figura 58: Matriz de julgamentos – Reclamações	114
Figura 59: Função de valor – Reclamações	114
Figura 60: Referências “Bom” e “Neutro” dos FCs relativos a Qualidade técnica	116
Figura 61: Diferença de atratividade entre [DEC] e [Desligamento programado]	117
Figura 62: Matriz de julgamentos para ponderação dos FC relativos à Qualidade técnica	118
Figura 63: Pesos da área Qualidade técnica	119
Figura 64: Matriz de julgamentos para ponderação dos FCs relativos à Qualidade no atendimento	120
Figura 65: Pesos da área Qualidade no atendimento	120
Figura 66: Matriz de julgamentos para ponderação dos FC relativos à Qualidade na satisfação	121
Figura 67: Pesos da área Qualidade na satisfação	122
Figura 68: Matriz de julgamentos para ponderação das áreas de interesse	123
Figura 69: Pesos das áreas de interesse	123
Figura 70: Coeficientes de ponderação para as três grandes áreas de preocupação do Índice de Qualidade para os FCs relativos cada área de interesse	125
Figura 71: Avaliação local – Qualidade técnica, jun/09	125
Figura 72: Avaliação local – Qualidade na satisfação, jun/09	129
Figura 73: Avaliação local – Qualidade no atendimento, jun/09	129
Figura 74: Análises de sensibilidade sobre os pesos dos FCs DEC e Nível de Serviço, respectivamente	131