



Laura Maria Mendes Vaz

**Impactos e benefícios do sistema de medição centralizada.
Estudo de caso numa concessionária brasileira de
eletricidade**

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. Mauricio Nogueira Frota

Rio de Janeiro
Dezembro de 2012



Laura Maria Mendes Vaz

**Impactos e benefícios do sistema de medição centralizada.
Estudo de caso numa concessionária brasileira de
eletricidade**

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.

Prof. Reinaldo Castro Souza

Orientador

Departamento de Engenharia Elétrica - PUC-Rio

Prof. Mauricio Nogueira Frotta

Co-orientador

Departamento Metrologia, Qualidade e Inovação - PUC-Rio

Prof. José Francisco Moreira Pessanha

UERJ

Prof. João Carlos de Oliveira Aires

UGF

Prof. Jose Eugênio Leal

Coordenador(a) Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 21 de dezembro de 2012.

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

Laura Maria Mendes Vaz

Graduada em Estatística pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (2007). Especializou-se em Docência do Ensino Superior pelo Instituto a Vez do Mestre / Universidade Candido Mendes (2008). Trabalha desde 2008 na área de acompanhamento e previsão de Mercado da Light Energia.

Ficha Catalográfica

Laura Maria Mendes Vaz

Impactos e benefícios do sistema de medição centralizada. Estudo de caso numa concessionária brasileira de eletricidade / Laura Maria Mendes Vaz; orientadores: Reinaldo Castro Souza, Maurício Nogueira Frota. – 2012.

63 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, 2012.

Inclui bibliografia

1. Metrologia – Teses. 2. Sistema de medição de energia. 3. Sistema de medição centralizada. 4. Redes inteligentes. 5. Baixada Fluminense. 6. ANEEL. I. Souza, Reinaldo Castro. II. Frota, Maurício Nogueira Hall. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Metrologia para a Qualidade e Inovação. IV. Título.

CDD: 389.1

A Deus.

Aos meus pais, pelo apoio e incentivo incessante viabilizando os estudos que me
fizeram chegar até aqui.

Agradecimentos

A Deus, por caminhar comigo em todos os momentos;

Aos professores que tive a oportunidade de conhecer no curso de mestrado em metrologia da PUC-Rio pelo apoio institucional, pela disponibilização de recursos humanos e de material que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho;

Aos professores Reinaldo Souza Castro e Mauricio Frota, pela orientação, conhecimentos transmitidos e pela confiança de estar aqui;

Ao Prof. José Francisco, pelo exemplo de professor, pela dedicação, sugestões e apoio desde a graduação, os quais levarei para vida toda;

À Maria Secchin Young e à Light, pela oportunidade de estudo e pela confiança;

As minhas amigas Ana Maria, Brisne e Claudia, que sempre estiveram presentes nessa etapa da minha vida, incentivando-me;

À Superintendência de Perdas da Light Energia, em especial a Danilo Ribera, Fabio Rejgen, Leandro Lucio e Rafael Marques, pela paciência e respostas aos meus inúmeros pedidos de informação;

Aos amigos que fiz na PUC-Rio, dos quais jamais esquecerei: Bruno, Camila, Carol e Lívia;

À minha avó Maria de Lourdes, que sempre me levou para a escola;

Aos meus pais e irmão, pela forma amorosa e carinhosa com que sempre me incentivam a crescer, seguir em frente e nunca desistir;

Ao meu marido, Thiago da Vinha, pelo amor e por sempre ser um exemplo de dedicação, persistência e determinação, requisitos fundamentais durante todo o trabalho;

Ao meu tio Heitor Mendes e a minha amiga Janaína Braga, que sempre foram motivadores para continuidade dos meus estudos;

A todos os meus amigos e familiares, pela torcida e carinho;

À Marcia Ribeiro e Paula Guimarães, funcionárias da Metrologia, pela dedicação aos alunos, o que fazem com muita paciência;

Aos membros da banca avaliadora dessa dissertação, por terem aceitado o convite;

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para o meu desenvolvimento profissional e como ser humano. Se cheguei até essa etapa de estudo é porque passei por profissionais que valorizaram a educação e porque tive amigos com quem que pude compartilhar momentos de lágrimas e sorrisos;

Resumo

Vaz, Laura Maria Mendes; Souza, Reinaldo Castro; Frota, Mauricio Nogueira. **Impactos e benefícios do sistema de medição centralizada. Estudo de caso numa concessionária brasileira de eletricidade.** Rio de Janeiro, 2012. 63p. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A presente dissertação de mestrado tem por objetivo discutir as bases conceituais e definir os critérios para instalação de um sistema de medição centralizada de energia elétrica na Baixada Fluminense, área de concessão da concessionária de energia do Rio de Janeiro (Light). O estudo estima o consumo de energia e o faturamento médio que resulta da instalação proposta em substituição ao sistema de medição tradicionalmente instalado. A localidade do estudo foi definida tendo em vista o elevado índice de perdas e a vulnerabilidade da rede elétrica exposta à comunidade. Dentre os preceitos metodológicos o trabalho inclui uma revisão bibliográfica da literatura sobre sistemas de medição de energia elétrica e estudo do perfil socioeconômico da região selecionada. O impacto da mudança tecnológica proposta no consumo foi avaliado estatisticamente com base no teste não paramétrico de Wilcoxon. Com base em dados reais de alguns municípios da região, o trabalho inclui também uma análise do comportamento do consumo antes e depois de a alternativa tecnológica ser implementada.

Palavras-chave

Metrologia; Sistema de medição de energia; Sistema de medição centralizada; redes inteligentes; Baixada Fluminense; ANEEL.

Abstract

Vaz, Laura Maria Mendes; Souza, Reinaldo Castro (Advisor); Frota, Mauricio Nogueira (Co-Advisor). **Impacts and benefits of the centralized measurement system. Case study of a Brazilian electricity utility.** Rio de Janeiro, 2012. 63p. MSc. Dissertation - Programa de Pós-Graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The objective of this research is to discuss the conceptual basis and define the criteria for the installation of a Centralized measurement system in the Baixada Fluminense, concession area of the electricity utility of Rio de Janeiro (Light). The study estimates the energy consumption and the average revenue that results from the implementation of the proposed facility to replace the traditional measurement system in place. The sub area of concession selected was defined based on the following two characteristics: area associated with high rate of electricity losses and vulnerability of the power grid exposed to the community. The methodology used to develop the work included a literature review on systems of electricity metering and a study of the socioeconomic profile of the selected region. The impact of the proposed technological change on the energy consumption was statistically evaluated based on the nonparametric Wilcoxon test. Based on real data from municipalities located in the region, an analysis of energy consumption behavior was carried out before and after the technology alternative was implemented.

Keywords

Metrology; Energy measuring system; Centralized measurement system; smart grid; Baixada Fluminense; ANEEL.

Sumário

1 Introdução	12
1.1. Caracterização do problema	14
1.2. Objetivos: geral e específicos	17
1.3. Motivação	17
1.4. Metodologia	18
1.5. Estrutura da dissertação	19
2 Sistema de medição de energia elétrica	20
2.1. Medidores de energia elétrica: breve histórico sobre seu desenvolvimento	21
2.2. Tipos de medidores	24
2.3. Medidores eletromecânicos	25
2.3.1. Medidores eletrônicos	25
2.3.1.1. Sistema de Medição Individualizada (SMI)	27
2.3.1.2. Sistema de Medição Centralizada (SMC)	28
2.4. Aspectos legais	30
2.5. Sistema de medição na Light Energia	31
3 Medição centralizada: estudo das áreas que já a possuem e proposta para novas instalações	34
3.1. Variáveis socioeconômicas: indicador para novas instalações	35
3.2. Municípios analisados	39
4 Estratégia proposta para novas instalações de SMC	42
4.1. Base de dados	42
4.2. Análise do crescimento do faturamento (R\$ e kWh)	45
4.2.1. Teste Wilcoxon	46
4.2.2. Análise de variância (ANOVA)	46
4.2.3. Teste de Scheffé	47
4.3. Perfil do faturamento em 2013	48
5 Conclusões e recomendações	50
5.1. Conclusões finais	50

5.2. Limitação do estudo	51
5.3. Propostas para desdobramentos futuros do tema	52
Referências bibliográficas	53
Anexo 1: Fabricantes de medidores de energia e quantidade de instalações por área da concessão	55
Anexo 2: Conceitos de energia elétrica (IBGE, censo 2010)	56
Anexo 3: Situação de energia elétrica dos domicílios subnormais	58
Apêndice A: Aglomerados subnormais	59
Apêndice B: Teste de Wilcoxon	60
Apêndice C: Análise de variância (ANOVA)	61
Apêndice D: Teste de Scheffé	63

Lista de figuras

Figura 1.1: Área de Concessão da Light Energia.	14
Figura 1.2: Perdas comerciais sobre o mercado BT.	15
Figura 2.1: Medidor químico de energia elétrica desenvolvido por Thomas Edison.	22
Figura 2.2: Thomas Edison e George Westinghouse	22
Figura 2.3: Medidor de indução de Shallenberger.	23
Figura 2.4: modelos de medidores eletromecânicos.	25
Figura 2.5: modelos de medidores eletrônicos.	26
Figura 2.6: Esquema do Sistema de Medição Individualizada (SMI)	27
Figura 2.7: Irregularidade na rede subterrânea.	28
Figura 2.8: Esquema do SMC (CP = Concentrador Primário / CS = Concentrador Secundário)	28
Figura 3.1: Consumo médio (em kWh e Reais) do município de Belford Roxo.	40
Figura 3.2: Consumo médio (em kWh e Reais) de Duque de Caxias.	40
Figura 3.3: Consumo médio (em kWh e Reais) de Nilópolis.	41
Figura 3.4: Consumo médio (em kWh e Reais) de Nova Iguaçu.	41

Lista de Tabelas

Tabela 2.1: Tipo de medidor por região (2009).....	24
Tabela 2.2: Número de medidores instalados na área de concessão da Light Energia em 11/2012.....	33
Tabela 3.1: Número de contas e do consumo residencial dos municípios da Baixada Fluminense, parte da área de concessão da Light.	35
Tabela 3.2: IDH dos municípios da Baixada Fluminense.....	36
Tabela 3.3: Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal.....	37
Tabela 3.4: Informações dos municípios analisados.....	39
Tabela 4.1: Número de instalações residenciais por subclasse tarifária existentes nos municípios da Baixada Fluminense (situação em outubro de 2012).	42
Tabela 4.2: Número de instalações analisadas, classificadas em residencial e residencial baixa renda.....	43
Tabela 4.3: Instalações da Baixada Fluminense com e sem SMC.	43
Tabela 4.4: Projeção de domicílios subnormais e instalações sugeridas para receberem o SMC.	44
Tabela 4.5: Diferença dos domicílios que devem receber o SMC.....	45
Tabela 4.6: Instalações a receberem o SMC em 2013.....	45
Tabela 4.7: Crescimento em reais e em kWh após a instalação do SMC nos municípios analisados.	46
Tabela 4.8: Teste Wilcoxon.....	46
Tabela 4.9: Informações da série analisada.....	47
Tabela 4.10: ANOVA.....	47
Tabela 4.11: Consumo médio para 2013.....	49

1 Introdução

Perdas são inevitáveis em qualquer processo de conversão de energia, seja ela de natureza elétrica, térmica, mecânica, dentre outros.

De uma forma geral, nos processos de energia elétrica as perdas podem originar-se em qualquer fase da cadeia: geração, transmissão ou distribuição, desde as usinas, onde a energia é gerada, até o ponto final de consumo.

As perdas de energia elétrica são classificadas em dois tipos: perdas técnicas e perdas não técnicas ou comerciais (popularmente conhecidas como “gato”).

As perdas técnicas ocorrem por dois fenômenos distintos. Uma parcela menor acontece no transporte da energia devido ao aquecimento das (comumente extensas) linhas de alta tensão e dos equipamentos auxiliares, que interligam as usinas geradoras às distribuidoras de energia. E a maior parcela ocorre entre as subestações das distribuidoras e os usuários finais, pois nesse percurso a energia circula com uma tensão menor e uma corrente maior, responsabilizando-se a última pelo aquecimento dos materiais. Portanto, as perdas técnicas estão diretamente relacionadas às características físicas dos equipamentos.

Para melhor entendimento da trajetória das perdas comerciais, faz-se necessário uma criteriosa análise sobre os condicionantes e determinantes do fraudador. Complexa em sua natureza, esta análise possui desdobramentos de cunho econômico (já que as perdas comerciais impactam na tarifa de energia elétrica); de cunho social (já que o furto possui relação com aspectos educacionais, culturais e da violência) e de cunho técnico (o roubo de energia implica violação da rede). Ao estudar o elevado nível de desenvolvimento do Estado do Rio de Janeiro para os padrões nacionais, Urani (2008) destaca ainda a complexidade social que resulta da favelização, violência e hostilidade do ambiente de negócios. Essas são restrições de natureza social que impõem problemas difíceis de serem administrados pelas empresas.

Além das perdas comerciais, outro fator que prejudica o desempenho operacional das distribuidoras de energia é a inadimplência, que ocorre sempre que os clientes deixam de pagar suas contas de energia.

Esses movimentos (furto e inadimplência) estão diretamente correlacionados. Pela legislação vigente, o não pagamento das contas permite que as empresas interrompam o fornecimento da energia, e com isso os clientes passam a violar clandestinamente as redes de distribuição para religarem sua energia, gerando perda.

Em contra partida, a empresa possui ações específicas para combater os furtos, e legalmente ela pode multar o cliente pelo tempo em que ele usufruiu da energia sem pagar. Como essas multas geralmente são altas e, muitas vezes, os clientes não aceitam pagá-las, a inadimplência da empresa aumenta e o ciclo recomeça.

A notícia publicada no site do jornal O Globo (9 de novembro de 2012) dá visibilidade da mídia sobre esses preocupantes problemas relacionados à inadimplência e ao furto de energia que tão drasticamente impactam no trabalho das concessionárias:

"Em ação de combate ao furto de energia,..., técnicos da Light detectaram irregularidades nos medidores de energia... O fornecimento de energia para o local havia sido cortado por inadimplência. Para continuar funcionando, o comércio estava ligado direto à rede da companhia, sem passar pelo medidor. O furto de energia, conhecido como "gato", é crime com pena de 1 a 4 anos de prisão."

Notadamente nas faixas de renda mais baixa da população, a estabilidade econômica conquistada pelo Plano Real viabilizou o crescimento da atividade energética pelo aumento da posse de equipamentos eletrônicos o que agravou o problema das perdas.

Há algum tempo acreditava-se que, em se tratando de um serviço pago, os problemas decorrentes das perdas não técnicas e da inadimplência poderiam ser explicados puramente pela renda da população (Simas, 2003). Uma análise cuidadosa do setor de distribuição de energia mostra, entretanto, que as desigualdades sociais, a localização do domicílio, o tipo de urbanização e outras questões de natureza socioculturais também podem afetar os índices de perdas de energia e inadimplência.

Fora do controle das concessionárias, as perdas não técnicas ou comerciais estão relacionadas ao furto de energia elétrica. Segundo Urani (2008) um dos fatores que contribuem para o alto índice de fraudes de energia no Rio de Janeiro é a cultura do não pagamento dos serviços de utilidade pública que parece estar arraigada na população local.

Com o intuito de reduzir as perdas comerciais, diversas medidas vêm sendo adotadas pelo governo, em particular pela ANEEL e pelas distribuidoras de energia elétrica.

A presente dissertação de Mestrado concentra-se na medição eletrônica realizada pela Light Energia (Distribuidora responsável pelo atendimento de 70% dos consumidores de energia elétrica do Estado do Rio de Janeiro) por alguns motivos: (i) a empresa encontra-se num cenário de elevado nível de perdas; (ii) é uma das pioneiras em medição centralizada; (iii) a experiência mostra que a adoção desta tecnologia de medição eletrônica de fato contribui para a redução do índice de perdas na concessionária. A figura 1.1 ilustra a extensão da área de concessão da Light Energia no Estado.

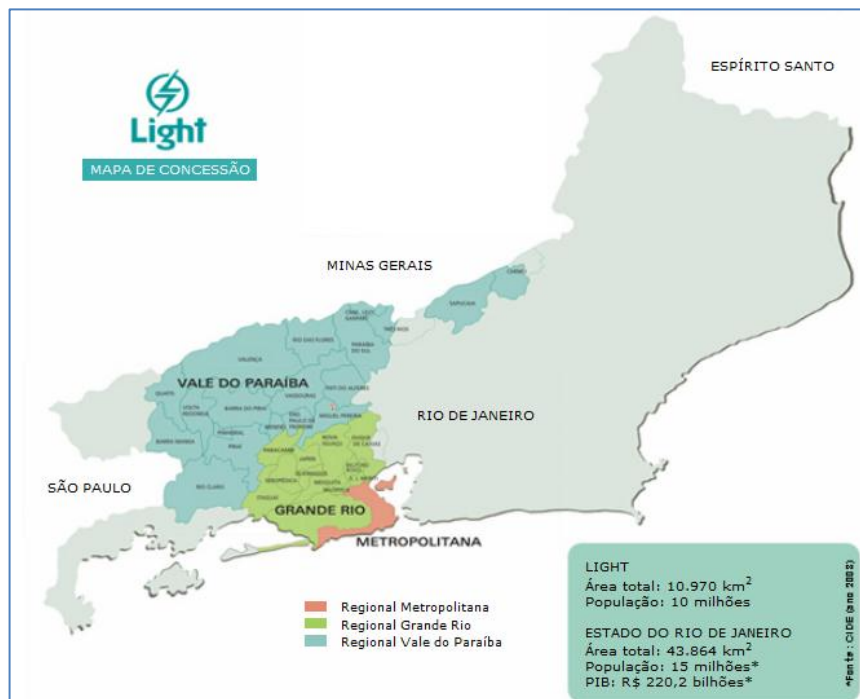


Figura 1.1: Área de Concessão da Light Energia.

1.1. Caracterização do problema

O balanço das perdas comerciais divulgado pela ANEEL (31 de maio de 2011) indica que o prejuízo resultante de perdas não técnicas corresponde a cerca de R\$ 8 bilhões ao ano. Estimativa esta que inclui o custo da energia e os impostos (ICMS, PIS e Confins) que deixaram de ser arrecadados. Medido em termos de energia, esse valor corresponde a 27 mil GWh, aproximadamente 8% do consumo do mercado cativo brasileiro.

No âmbito das empresas pesquisadas, a Light Energia encontra-se em segundo lugar no ranking de perdas comerciais. Porém, novas ações de combate às perdas estão sendo implementadas a cada dia, o que possibilita a empresa a reduzir suas perdas nos últimos anos, conforme mostrado na figura 1.2.

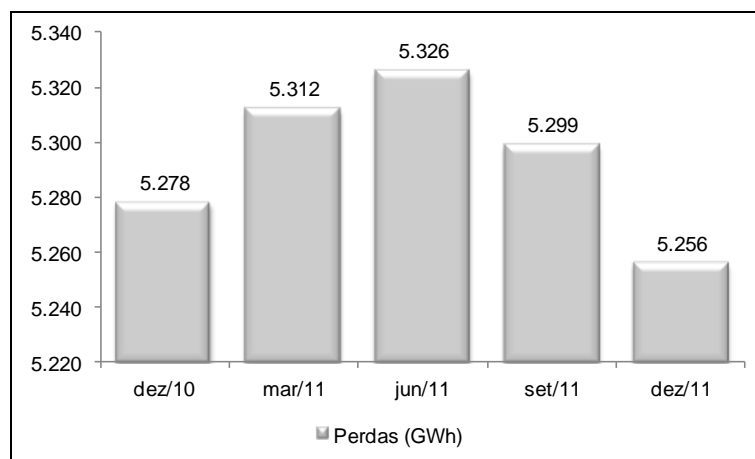


Figura 1.2: Perdas comerciais sobre o mercado BT¹.

O furto de energia danifica a rede elétrica uma vez que causa sobrecargas e desligamentos indevidos no sistema de distribuição. Bem como dificulta o uso correto da rede, atrasando ações de melhorias e manutenção.

A sociedade é diretamente afetada pelo furto de energia, visto que o Decreto 4.562 (de 31 de dezembro de 2002), em seu artigo 1º, § 1º (transcrito a seguir), permite às concessionárias de energia fazerem compensações na tarifa para levar em conta essas perdas de energia elétrica.

“Na definição do valor das tarifas para os contratos de conexão e de uso dos sistemas de transmissão ou distribuição a que se refere este artigo, serão consideradas as parcelas apropriadas dos custos de transporte e das perdas de energia elétrica, bem como os encargos de conexão e os encargos setoriais de responsabilidade do segmento de consumo”.

Mesmo podendo fazer compensações na tarifa, as concessionárias são fortemente afetadas pelo furto já que compromete suas metas de qualidade no fornecimento de energia. Metas essas estabelecidas e fiscalizadas pelo órgão regulador, cujo não cumprimento implica em altas multas aplicadas.

¹ A ANEEL considera o índice de perdas não técnicas sobre o mercado de Baixa Tensão (BT), uma vez que os clientes da alta e média tensão (em sua maioria comércio e indústria) não têm o hábito de fraudar energia.

Com o objetivo de diminuir o índice de perdas da concessionária, a Light Energia vem investindo em ações corretivas na infraestrutura da rede, maior eficiência e segurança na distribuição e no estabelecimento de um novo relacionamento com as comunidades e com o poder público.

Os processos que a empresa utiliza atualmente para a eliminação dos furtos de energia são direcionados pela diversidade de características existentes na área de concessão e compreendem:

- Ações convencionais: processo que envolve a inspeção da unidade consumidora por uma equipe capacitada da empresa, a fim de atestar se existe alguma irregularidade na instalação ou no equipamento de medição. É uma ação pontual em potenciais clientes fraudadores do fornecimento de energia. Esse potencial é calculado através de um software de inteligência que faz a priorização pelo maior retorno financeiro para a empresa;
- Ações de eficiência energética: realizadas em comunidades de baixa renda, tem como objetivo divulgar para esses consumidores ações para reduzir o consumo de energia elétrica, evitando desperdícios. Com isso eles conseguem chegar em uma fatura de energia elétrica que podem pagar. Nessas ações, a empresa promove trocas de lâmpadas, geladeiras e chuveiros, para modelos mais eficientes que consomem menos energia.
- Instalação do SMI: aplicada em grandes condomínios residências de alto poder aquisitivo, trata-se de um medidor provido de alarmes e de um sistema de comunicação com o CCM da Light Energia que permite a identificação imediata de algum tipo de irregularidade na instalação.
- Blindagem de rede e SMC: utilizado em regiões de elevados índices de perdas e de muita agressividade a rede elétrica. Trata-se de um elevado investimento na modernização da rede elétrica com o objetivo de impedir o acesso por parte dos clientes e conseqüentemente a ocorrência de novos furtos. Aliado a troca da rede, é feita a instalação do SMC, que permite o acompanhamento on line desses clientes através do CCM.

O foco desta dissertação reside no SMC, cuja definição, passa a ser adotada a partir da resolução normativa 292, de 4 de dezembro de 2007, artigo 2º, item IV, da ANEEL:

“Sistema de Medição Centralizada (SMC): sistema que agrega módulos eletrônicos destinados à medição individualizada de energia elétrica, desempenhando as funções de concentração, processamento e indicação das informações de consumo de forma centralizada.”

A instalação do SMC traz diferentes vantagens para as distribuidoras e para o órgão regulador já que permite: reduzir os custos com a detecção de furtos, eliminar os gastos da medição manual substituindo-a pela medição remota com transmissão da informação de consumo diretamente para a

concessionária, e reduzir custos de transação e dívidas de maus pagadores pela interrupção ou religação automática da energia dos clientes à distância.

Para os clientes, as vantagens proporcionadas pela adoção do SMC também são significativas. Impactam na melhoria da qualidade do fornecimento, evita quedas de energia e oscilações na rede, detecta a falta de energia por parte da empresa, reduzindo o tempo de atendimento e futuramente, o que qualifica os clientes a receberem descontos no valor da energia.

Como mencionado, a Light Energia vem investindo na implantação de medidores inteligentes, a exemplo do SMI e do SMC, que apresentam bons resultados. Em 2011 foram instalados 208 mil medidores inteligentes na área da Baixada Fluminense, na Zona Oeste do Rio de Janeiro e nos condomínios da Barra da Tijuca e de Jacarepaguá (170 mil SMC e 38 mil SMI).

1.2.

Objetivos: geral e específicos

À luz da experiência já consolidada pela Light Energia com a implantação dos 255.495 medidores SMC, esta dissertação tem por objetivo geral avaliar os benefícios potenciais para a concessionária e seus consumidores com a replicação desse sistema de medição em novas regiões em sua área de concessão.

Em termos específicos, a dissertação:

- discute a importância do SMC para a redução de perdas comerciais;
- apresenta as características das regiões da área de concessão da Light Energia que já tiveram o SMC implantado, e avaliar os impactos decorrentes da mudança tecnológica nessas regiões;
- avalia os benefícios potenciais para a Light Energia com a implantação do SMC em novas regiões.

1.3.

Motivação

Atualmente 115.150 SMC já estão instalados na área de concessão da Light Energia e a meta para dezembro de 2012 é de instalar outros 7.728 medidores. A concessionária acredita que a alternativa tecnológica do SMC apresenta inúmeras vantagens, objeto de análise no âmbito deste trabalho. Dentre essas vantagens destaca-se a efetiva redução das perdas comerciais para a concessionária.

Outra questão importante a ser considerada refere-se ao fato de a Light Energia estar inserida no movimento de pacificação das comunidades do município do Rio de Janeiro. A lógica da pacificação integra o cidadão consumidor na sociedade, confere-lhe endereço e dignidade. Assim, quanto maior for o grau de pacificação da comunidade, mais regularizado deverá ser o fornecimento de energia elétrica.

Embora a Light Energia atue nas comunidades pacificadas por meio do Programa Comunidade Eficiente (que realiza investimentos na rede elétrica, trocas de geladeiras e lâmpadas e reformas elétrica nos domicílios), o efeito dessas mudanças, no faturamento, não é imediato com a pacificação. Considerando que o sistema elétrico das comunidades é precário, a mudança requer tempo para se consolidar.

Tendo em vista que, nas comunidades, a rede de energia elétrica precisa ser totalmente reconstruída e ainda são poucas as comunidades pacificadas, o foco da empresa, no momento, é a instalação do SMC nos municípios da Baixada, cujo valor das perdas também é elevado e nessa região é menos complexa a sua instalação.

De acordo com os motivos expostos, inicialmente, pensou-se em trabalhar com os dados das comunidades pacificadas, mas chegou-se à conclusão de que, no momento, é mais pertinente, analisar os municípios da Baixada Fluminense.

1.4. Metodologia

No que concerne a taxonomia de Vergara (2005), quanto aos fins, a pesquisa pode ser considerada aplicada e descritiva; quanto aos meios de investigação, optou-se pela pesquisa bibliográfica que consubstanciou o estabelecimento do referencial teórico sobre os temas abordados. Orientando o trabalho para refletir uma situação real, o estudo de caso considerou dados correntes de medição centralizada em área de concessão da concessionária Light Energia, cujo embasamento teórico se sustenta nas premissas do método proposto por Yin (2005).

A fase exploratória envolveu pesquisa documental sobre o contexto regulatório do sistema de medição de energia elétrica, cujo referencial contemplou os seguintes aspectos:

- benefícios para as concessionárias, governos e consumidores com a implantação do SMC;

- balanço energético (carga própria de energia – energia faturada);
- Implantação do SMC em novas regiões da área de concessão da Light Energia;
- contribuições do trabalho para avanço do conhecimento na área de energia elétrica.

1.5. Estrutura da dissertação

A dissertação está estruturada em cinco capítulos. O primeiro compreende esta introdução. Os três capítulos seguintes abordam a fundamentação teórica relacionada ao sistema de medição de energia elétrica, seus referenciais normativos e regulatórios e o impacto da adoção da alternativa tecnológica da medição centralizada, que constitui objeto de análise.

No capítulo 2 é apresentada a evolução dos tipos de medidores de energia elétrica, no decorrer dos anos, de acordo com as normas. Em destaque o SMC, que vem sendo adotado pela concessionária selecionada para fundamentar o estudo de caso, notadamente pela sua eficiência no combate às perdas comerciais. O capítulo discute, ainda, a experiência da Light Energia no uso de seus sistemas de medição.

No capítulo 3 são caracterizados os municípios da Baixada Fluminense, com ênfase nos que tiveram o SMC instalado.

No capítulo 4 é formulada a metodologia para definir a quantidade de SMC que deve ser instalada em cada município da Baixada Fluminense, baseada nos resultados obtidos com o SMC já instalado e nas informações do Censo 2010.

No capítulo 5 são apresentadas as principais conclusões do trabalho, discutindo os impactos no consumo e os benefícios que resultam da adoção da tecnologia SMC. Finalizando, encaminha recomendações para a concessionária, fundamentadas nos resultados obtidos e na avaliação das novas áreas nas quais o SMC deverá ser implantado.

2 Sistema de medição de energia elétrica

A energia elétrica é um produto (commodity) consumido por todos os segmentos da sociedade (e.g.: residencial, comercial, indústria, serviços) e seu fornecimento segue a economia do monopólio natural — situação de mercado em que os investimentos necessários são muitos elevados e os custos marginais muito baixos. Ou seja, um único provedor entrega a energia (um commodity) em sua área de concessão, sem concorrência.

A entrega da energia deve ser realizada diretamente ao cliente e disponibilizada continuamente, o que necessariamente requer uma infraestrutura de rede.

Para se apurar o total de energia entregue ao cliente as concessionárias fazem uso de medidores da energia consumida. Estes são instalados nos ramais de entrada das unidades consumidoras que, com a intervenção de um funcionário, realiza a medição do consumo mensal.

O conceito de medição de consumo é definido na Resolução Normativa 414, de 9 de setembro de 2010, da ANEEL, item XLVI,

“medição: processo realizado por equipamento que possibilite a quantificação e o registro de grandezas elétricas associadas à geração ou consumo de energia elétrica, assim como à potência ativa ou reativa, quando cabível...”.

Uma vez que o medidor se encontra instalado na propriedade do cliente, portanto distante do controle direto da distribuidora, este está sujeito a fraudes que, em muitos casos, são difíceis de serem identificadas.

Visando assegurar harmonia no sistema elétrico, ou seja, garantir isonomia no padrão de qualidade do fornecimento de energia, a ANEEL estabelece resoluções que possuem força de lei devendo, portanto ser adotadas pelas distribuidoras e pelos consumidores.

Este capítulo tem por objetivo descrever a evolução do sistema de medição de energia elétrica na baixa tensão, com ênfase no SMC, fazendo menção à legislação aplicável.

A resolução 414, item LXXI, também faz referência ao SMC, assim definido:

“...sistema que agrega módulos eletrônicos destinados à medição individualizada de energia elétrica, desempenhando as funções de concentração, processamento e indicação das informações de consumo de forma centralizada.”

Este capítulo discute também os aspectos legais referentes à implantação do sistema de medição eletrônico, bem como os procedimentos da Light Energia relacionados aos sistemas de medição por ela utilizados.

2.1.

Medidores de energia elétrica: breve histórico sobre seu desenvolvimento

No último quarto do século XIX, a eletricidade era basicamente direcionada para o uso de telefones e telégrafos (Dahle, 2010) e iluminação elétrica por meio de lâmpadas incandescentes. Entretanto, como a corrente e a tensão nessas lâmpadas (controladas por uma única chave) eram constantes, a mensuração do consumo levava em conta apenas o tempo em que permaneciam ligadas. A partir de então surgiu a unidade de medida lâmpada-hora.

Em 1872, Samuel Gardiner patenteou o primeiro medidor de energia elétrica baseado no princípio da corrente contínua, que ficou conhecido com o mesmo nome da unidade de medida; i.e.: lâmpada-hora.

Em 1878, J. B. Fuller desenvolveu um medidor de lâmpada-hora para corrente alternada. Este medidor consistia em uma armadura vibrando entre duas bobinas que movimentava o registrador para a marcação de tempo.

Foi logo em seguida, em 1879, que Thomas Edison inventou a lâmpada incandescente. Com a iluminação dividida em circuitos individuais, a medição da energia consumida com base nos medidores de lâmpada-hora passou a ser inviável, tendo a sua utilização permanecido até 1880 nos circuitos das lâmpadas de rua.

Em 1882, insatisfeito com o método de medição de energia, Thomas Edison desenvolveu um medidor baseado no ampere-hora químico, composto por duas placas de zinco mergulhadas em uma solução condutora e conectadas em série com o circuito elétrico do consumidor (figura 2.1). As placas eram pesadas todos os meses, e as medidas do consumo baseavam-se na diferença de peso de um mês para outro.

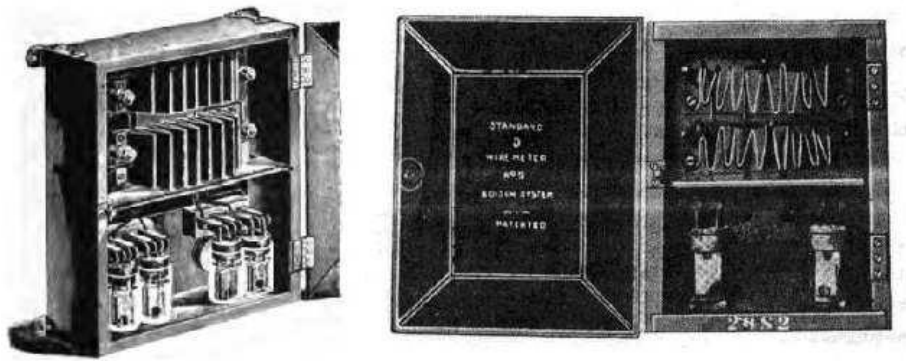


Figura 2.1: Medidor químico de energia elétrica desenvolvido por Thomas Edison.

Em 1885, George Westinghouse comprou os direitos do transformador patenteado na Europa, desenvolvido por Nikola Tesla, marcando o início da comercialização da energia elétrica em corrente alternada. Inicia-se a disputa entre a melhor forma de distribuir energia, entre Westinghouse (corrente alternada) e Thomas Edison (corrente contínua), figura 2.2.

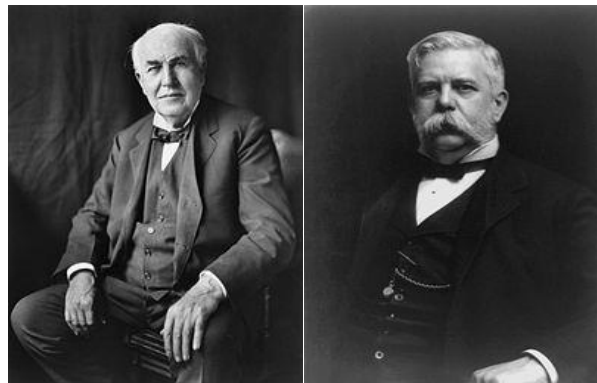


Figura 2.2: Thomas Edison e George Westinghouse

O sistema de corrente alternada apresenta maior rentabilidade em relação ao sistema de corrente contínua, uma vez que não possui a limitação de transmissão e permite a utilização de condutores de menores bitolas. Esse fato beneficia a capacidade de elevação de tensão por meio de transformadores, diminuindo as perdas e os custos, consequentemente aumentando o lucro.

Ainda em 1885, Galileo Ferraris descobre que de duas fases alternadas é possível fazer uma armadura sólida girar, descoberta que possibilitou o desenvolvimento dos motores de indução, então precursores dos medidores de energia elétrica por indução.

Em abril de 1888 Oliver B. Shallenberger, com base em seus experimentos à época inovadores, desenvolveu um medidor de ampere-hora para corrente alternada, que passou a ser adotado como padrão nas indústrias (figura 2.3).

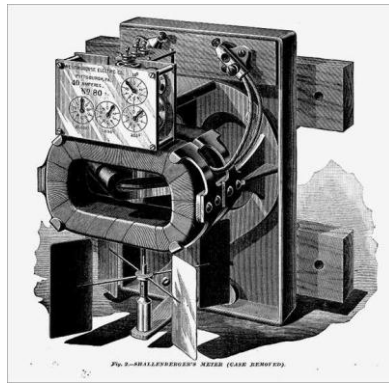


Figura 2.3: Medidor de indução de Shallenberger.

Em 1889, Thomson apresentou seu Wattímetro Gravador, considerado o primeiro medidor watt-hora, adotado como modelo padrão para diversas atividades. Embora desenvolvido para a medição em corrente alternada, provou funcionar perfeitamente em corrente contínua.

Com o crescimento da indústria de eletricidade, os medidores existentes — ampere-hora e watt-hora — estavam incapacitados de efetuar a medição devido à variação de tensão e ao baixo fator de potência dos circuitos de corrente alternada. A partir desse fato, Shallenberger desenvolveu um medidor funcional, composto por um pequeno motor de indução com as bobinas de corrente e tensão defasadas a 90 graus uma da outra.

Em 1903 a General Electric (GE) lançou o primeiro medidor de watt-hora para corrente alternada produzido em massa, que foram usados até 1960. Este modelo também foi considerado o primeiro medidor moderno.

Até os anos de 1970 os medidores foram continuamente aperfeiçoados, e com o avanço da eletrônica, os fabricantes começaram a introduzir os registradores eletrônicos e os dispositivos automáticos de leitura.

Por volta de meados da década de 80, medidores híbridos dotados de registradores eletrônicos foram montados em medidores indutivos e comercializados no mercado.

Na década de 90 teve início a fabricação de medidores completamente eletrônicos. Desde então a fabricação de medidores eletromecânicos, menos eficazes e com menor aceitação no mercado, foi drasticamente reduzida cedendo lugar aos medidores eletrônicos.

2.2. Tipos de medidores

Os medidores de energia elétrica subdividem-se em duas categorias: os eletromecânicos e os eletrônicos. Estes ganhando espaço no mercado conforme atesta a nota técnica 0044/2012 de autoria da SRD/ANEEL:

“...Os novos sistemas de medição têm sido instalados em maior quantidade nos últimos anos devido ao desenvolvimento de novas tecnologias de informação e meios de comunicação, além das diversas vantagens apresentadas. No Brasil, diante dos benefícios proporcionados pela utilização de sistemas de medição eletrônica, algumas distribuidoras estão aumentando a utilização dessa tecnologia em baixa tensão. É possível constatar que a inexistência de determinação regulatória para as funcionalidades mínimas que este tipo de medidor deve apresentar está fazendo com que as distribuidoras passem a instalar medidores com funções que atendam apenas à solução de problemas localizados, tal como o de perdas não técnicas. Adicionalmente, os preços de modelos básicos de medidores eletrônicos já são menores do que os preços dos eletromecânicos, o que faz com que, em muitos casos, o menor custo da alternativa eletrônica também seja um fator decisivo para sua aquisição...”

Segundo estatística da ANEEL de 2009, o parque de medição nacional era constituído de 92,6% de medidores eletromecânicos, conforme documentado na tabela 2.1.

Tabela 2.1: Tipo de medidor por região (2009)

Região Geográfica	Tipo de Medidor	
	Eletromecânico	Eletrônico
Norte	79,09%	20,91%
Nordeste	88,27%	11,73%
Centro-Oeste	96,11%	3,89%
Sudeste	94,60%	5,40%
Sul	97,38%	2,62%
Brasil	92,61%	7,39%

Fonte: ANEEL (2009).

Ambos os medidores serão discutidos em seções subseqüentes desta dissertação.

2.3. Medidores eletromecânicos

Os medidores de energia eletromecânicos (figura 2.4) funcionam pelo princípio da indução eletromagnética². A medição é realizada por um transdutor por indução, acoplado a um registrador mecânico, que registra o número de rotações efetuadas pelo rotor.



Figura 2.4: modelos de medidores eletromecânicos.

Esses medidores totalizam o consumo e mantêm os respectivos dados do valor medido, mesmo que haja interrupções no fornecimento de energia sem que seja necessário o uso de bateria.

A não utilização de bateria constitui uma vantagem do medidor eletromecânico não obstante apresentarem problemas quando comparados aos medidores eletrônicos. Dentre elas:

- a necessidade de leituras periódicas para emissão de faturas referentes ao consumo de energia elétrica;
- dificuldades próprias referentes à leitura desses medidores, em relação a mão de obra (acesso ao medidor, erro na coleta da medição);
- falta de mecanismos que permitam a implantação da leitura automatizada e o combate à fraude.

2.3.1. Medidores eletrônicos

Conforme mencionado, com o avanço da tecnologia surgiram os medidores eletrônicos de energia (figura 2.5).

² Um condutor percorrido por uma corrente I na presença de um campo magnético B , fica submetido a uma força F cujo sentido é dado pela regra da mão direita (referência).



Figura 2.5: modelos de medidores eletrônicos.

Dadas as vantagens dos medidores eletrônicos (desenvolvidos à luz de novas tecnologias de informação e meios de comunicação) sobre os eletromecânicos, os sistemas eletrônicos de medição têm sido preferidos nos últimos anos.

Os medidores eletrônicos são compostos por transdutores de corrente e tensão, alimentados por sinais de entrada. A potência é obtida via bloco multiplicador, enquanto a energia via bloco integrador. Por fim, o valor da energia consumida é armazenado e registrado, em um bloco registrador.

Dentre as vantagens do medidor eletrônico, destacam-se:

- modernização de circuitos aéreos, fato que colabora para redução da poluição visual;
- leitura, corte e religação remota, ou seja, não necessita utilização de operações manuais;
- confiabilidade de leituras para emissão das faturas, uma vez que o sistema é automático, mitiga os erros de leitura e digitação da energia consumida;
- supervisão do sistema elétrico em situações de interrupções no fornecimento de energia;
- detecção de fraude (desvios, ligações invertidas, queima de potencial)
- implantação de tarifa horária, pré-pagamento, medição além da energia ativa³ (kWh), também da energia reativa⁴ (kVArh) e outros (smart grid);
- possibilidade de armazenar os valores registrados (a curva de carga do cliente);

As próximas seções detalham dois sistemas de medição que operam em conformidade ao conceito eletrônico.

³ Energia elétrica que efetivamente produz trabalho, expressa em quilowatts-hora (kWh).

⁴ Energia elétrica que circula continuamente entre os diversos campos elétricos e magnéticos de um sistema de corrente alternada, sem produzir trabalho, expressa em quilovolt-ampère-reactivo-hora (kVArh). [ANEEL - RESOLUÇÃO N.º 456, de 29 de novembro de 2000]

2.3.1.1. Sistema de Medição Individualizada (SMI)

O SMI consiste na instalação de um medidor no transformador de distribuição, conhecido como medidor de balanço, e de medidores eletrônicos nos padrões dos clientes ligados a este mesmo transformador.

O monitoramento é feito através da realização de um balanço energético comparando-se o consumo medido na saída do transformador e o consumo total dos medidores individuais e dos alarmes que o medidor gera em casos de anomalias na instalação.

Os medidores se comunicam com base na tecnologia Power Line Communication (PLC), com um roteador instalado na rede que envia os dados a uma central (no caso ilustrado é o Centro de Controle de Medição, cujo sistema utilizado é o HEMERA⁵) fazendo uso de uma Unidade Terminal Remota (UTR) e tecnologia GSM/GPRS. Conforme ilustrado na figura 2.6.

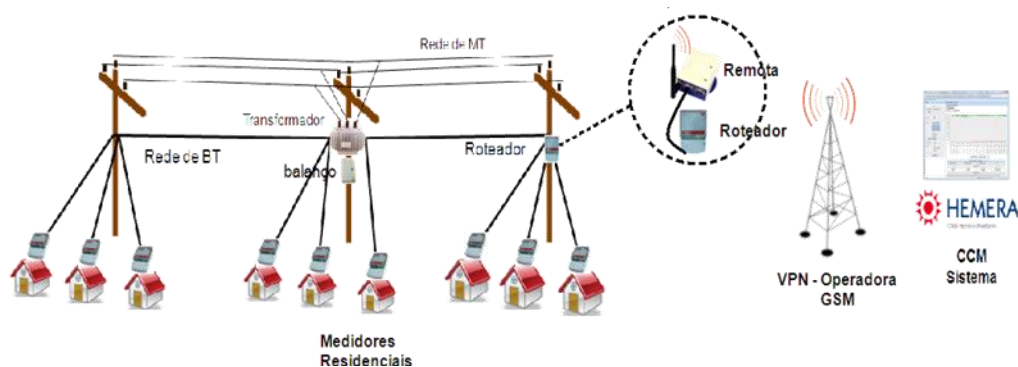


Figura 2.6: Esquema do Sistema de Medição Individualizada (SMI)

O SMI tem como objetivo alcançar clientes ligados na baixa tensão, residentes em áreas bem urbanizadas, com alto e médio poder aquisitivo, que não agredem a rede elétrica. Tais clientes produzem as irregularidades com ações diretas no medidor e desvios no ramal de entrada.

Caso o cliente esteja ligado a uma rede subterrânea, a detecção de um desvio a partir de inspeção aleatória é praticamente inviável devido ao valor elevado do processo de escavação para a detecção da irregularidade, conforme drasticamente ilustrado na figura 2.7.

⁵ Sistema de monitoramento online e intervenções nas unidades telemedidas.



Figura 2.7: Irregularidade na rede subterrânea.

2.3.1.2. Sistema de Medição Centralizada (SMC)

O SMC é constituído por medidores eletrônicos de kWh agrupados em concentradores secundários, que são gerenciados por outro concentrador (principal). O sistema é composto por terminais de leitura individuais, para instalação junto às unidades consumidoras, além do software de gerenciamento (figura 2.8).

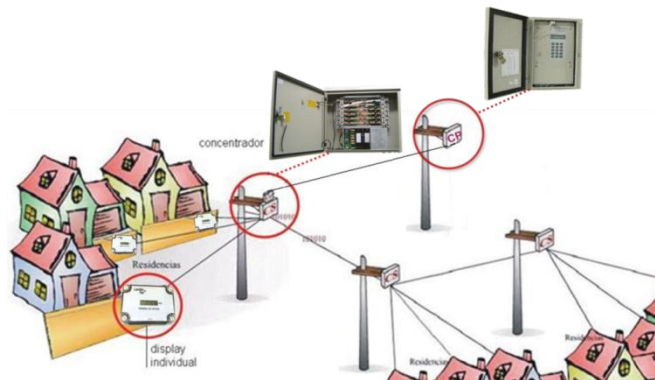


Figura 2.8: Esquema do SMC (CP = Concentrador Primário / CS = Concentrador Secundário)

O SMC é instalado em clientes da baixa tensão, que têm como característica a agressão a rede elétrica.

Os medidores de energia ficam localizados no alto dos postes, interligados a uma caixa de comunicação que concentra as leituras das diversas unidades consumidoras para realização de leitura pela central de medição. Para que o cliente possa acompanhar o seu consumo, é instalado um terminal informativo no interior de sua residência.

Assim como no SMI, as informações do SMC também chegam ao CCM (Light Energia) através do sistema HEMERA.

Um recurso muito importante e uma forma de controle por parte da própria comunidade é o corte automático de todas as residências ligadas ao sistema caso aja uma tentativa de violação do mesmo, o que colabora para inibir as possíveis tentativas de furto.

Conforme mostrado na tabela 2.1, até 2009, a quantidade de medidores eletrônicos em uso era significativamente inferior à de medidores eletromecânicos, tendência que se repete nas estatísticas de outros países.

De acordo com Lamin (2009), a previsão (da Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica - ABRADDEE) era de 1,5 milhões de equipamentos instalados até 2008, mais de três vezes do que foi realmente verificado. Esse atraso foi devido às indefinições na regulamentação metrológica, tendo a implementação da tecnologia sido suspensa pelo INMETRO, e somente em 2009 foi novamente liberada.

A resolução normativa 502, publicada pela ANEEL em 07 de agosto de 2012, finalmente regulamentou o sistema de medição eletrônica de energia para residências do país. A partir de fevereiro de 2014 os dispositivos serão oferecidos gratuitamente pelas concessionárias aos consumidores sempre que for solicitada uma nova ligação ou substituição de aparelho. Portanto, a troca dos modelos atuais, já instalados nas residências, não será automática.

Por determinação da ANEEL, compete à concessionária decidir pelo modelo a ser utilizado. No Rio de Janeiro, o objetivo é garantir mais eficiência no consumo de energia, possibilidade de atendimento remoto e melhor monitoramento de gastos por parte do consumidor. O novo medidor permitirá ao consumidor aderir à tarifa que varia de acordo com os horários de consumo.

Fora da área de concessão da Light Energia, no Estado do Rio de Janeiro compete à Ampla Energia e Serviços S.A. o fornecimento de energia, concessionária que também faz uso de medidores eletrônicos em sua área de concessão.

A Ampla atende cerca de 2,5 milhões de clientes residenciais, comerciais e industriais em 66 municípios do Rio de Janeiro, com a cobertura de uma área de 32.188 km² (www.ampla.com, em 15/07/2012).

A implantação de medidores eletrônicos foi uma das medidas encontradas para reduzir as perdas não técnicas. No início de 2012, 560 mil clientes eram controlados por esses medidores (www.riocapitaldaenergia.rj.gov.br, em 15/07/2012).

De acordo com o informativo 267 da ANEEL (4 a 10 de maio de 2007), em junho e dezembro de 2005, o Regulador autorizou, respectivamente, as

empresas Ampla Energia e Serviços S/A e a Companhia Energética do Ceará S/A (Coelce) a implantarem medidores eletrônicos. Em outubro de 2006, a Companhia Paranaense de Energia (Copel) foi igualmente autorizada a adotar o sistema de medição eletrônica de consumo. E em março de 2007 a Saelpa (PB) foi a quarta empresa autorizada a instalar medidores eletrônicos externos.

Adicionalmente aos sistemas SMI e SMC, a medição eletrônica também pode ser realizada por meio de um sistema encapsulado de medição (transformador a seco). Regulamentado pela norma NIE DIMEL 095, do INMETRO, este se refere a um sistema de medição projetado para controlar e fornecer energia elétrica remotamente.

2.4. Aspectos legais

De acordo com o parágrafo 3º, artigo 73, da Resolução ANEEL 414, de 9 de setembro de 2010:

“Fica a critério da distribuidora escolher os medidores, padrões de aferição e demais equipamentos de medição que julgar necessários, assim como sua substituição ou reprogramação, quando considerada conveniente ou necessária, observados os critérios estabelecidos na legislação metrológica aplicáveis a cada equipamento”.

A Resolução 11 de 12 de outubro de 1988, do Conmetro (Portaria 83 de 1 de junho de 1990) estabelece que os medidores de energia elétrica utilizados para faturamento em unidades consumidoras devem corresponder aos modelos aprovados pelo INMETRO, a fim de serem aprovados em verificação inicial nas condições fixadas pelo Instituto e serem verificados periodicamente.

Já a resolução normativa 258 de 6 de junho de 2003, da ANEEL, define que:

“critérios e procedimentos a serem adotados por concessionárias e permissionárias de distribuição de energia elétrica que optarem por instalação de equipamentos de medição em local externo a unidade consumidora”.

Corroborando com a resolução acima, a resolução normativa ANEEL 292, de 4 de dezembro de 2007, permite a adequação dos critérios e procedimentos previstos em função dos desenvolvimentos tecnológicos dos sistemas de medição eletrônica e comunicação.

Ao referir-se à tecnologia de medição inteligente, a Nota Técnica nº 0044/2010-SRD/ANEEL, de 17 de setembro de 2010, afirma que a mesma já

existe em grandes volumes em diversos países com ampla utilização de medidores eletrônicos para unidades consumidoras conectadas em baixa tensão.

Em 28 de setembro de 2010, a ANEEL abriu a audiência pública nº 043/2010 – novo padrão de medidor eletrônico que propôs o

“prazo de até 18 meses, a partir da publicação da resolução que vier a ser aprovada pela diretoria colegiada, para que as distribuidoras passem a utilizar o novo sistema de medição em novas ligações ou substituição, por qualquer motivo, do sistema existente. Ainda segundo o regulamento em discussão, os consumidores atendidos com os novos medidores deverão ser informados sobre as novas funcionalidades dos aparelhos.”

A proposta da agência reguladora para as próximas etapas consiste na criação de um plano para a substituição, no longo prazo, de todos os 63 milhões de medidores. Este seria o “primeiro passo” para a instalação das redes inteligentes (smart grid⁶).

Quanto à homologação dos medidores eletrônicos autorizados pela ANEEL e instalados na área de concessão da Light Energia, o INMETRO possui três portarias:

- Portaria INMETRO / DIMEL nº 213, de 23 de junho de 2009: “Aprovar o modelo SGP+M E12, de Sistema Distribuído de Medição de Energia Elétrica – SDMEE, classe de exatidão A, marca LANDIS+GYR...”
- Portaria INMETRO / DIMEL nº 0327, de 08 de dezembro de 2010: “Aprovar os modelos GARNET AGF1, GARNET AGF2 e GARNET AGN, de Sistema Distribuído de Medição de Energia Elétrica – SDMEE, classe de exatidão B, marca ELSTER...”
- Portaria INMETRO / DIMEL nº 0229, de 21 de julho de 2011: “Aprovar o modelo CAM-MCEE/I-01, de Sistema Distribuído de Medição de Energia Elétrica – SDMEE, classe de exatidão A, marca CAM...”

2.5. Sistema de medição na Light Energia

O Estado do Rio de Janeiro tem sua energia abastecida por três distribuidoras (Ampla, Energisa e Light Energia), sendo a Light Energia a responsável por 31 municípios, que corresponde a 72% de toda energia consumida no Estado. A área de concessão da Light Energia abrange uma região com cerca de 4 milhões de clientes.

⁶ Smart grids é a aplicação de tecnologia da informação para o sistema elétrico de potência, integrada aos sistemas de comunicação e infraestrutura de rede automatizada (wikipedia 10/07/2012).

Do total de clientes da Light Energia, estima-se que apenas 0,05% tem seu consumo de energia medido por medidores encapsulados; 0,95% pelo SMI e 6,53% pelo SMC.

Atualmente o SMI parou de ser instalado. A sua instalação somente se justifica para os casos em que o cliente apresenta um índice de perdas acima de 25%.

De acordo com Ribera (2010), antes que o SMI fosse instalado pela Light Energia medições eram feitas nas zonas circunscritas ao critério descrito. Observou-se uma perda medida de 25,8% e definiu-se que a recuperação média por cliente desse tipo de tecnologia é da ordem de 120 kWh.

A atuação nesse segmento foi iniciada no ano de 2009, quando as perdas caíram ao patamar de 9%.

A partir da implantação do programa das UPPs nas comunidades do Rio de Janeiro, a Light Energia passou a instalar o SMC com a finalidade de regularizar a instalação. Uma vez que a perspectiva é de aumentar o número de comunidades pacificadas, espera-se que o número de clientes ligados ao SMC também aumente. Em 2013, estima-se que 49.000 SMC serão instalados.

Com a regularização do atendimento, os moradores passam a receber, gratuitamente, o novo padrão de medidor, bem como lâmpadas e geladeiras eficientes disponibilizadas pelo programa de combate ao desperdício de energia. Adicionalmente, com o propósito de combater a inadimplência, os moradores pagam a tarifa social (lei 12.212 de 20/01/2012).

A tecnologia do SMC foi testada, em 1995 em um condomínio no bairro de Botafogo, caracterizando a implantação da medição centralizada para uso predial (Alvarenga, 2008).

Desde 2008 a Light Energia vem realizando o Programa de Novas Tecnologias. Com isso o SMC voltou a ser instalado fora de áreas pacificadas, em sua área de concessão. Um número superior a 115 mil medidores foram instalados e a previsão é de que, em 2013, 129 mil clientes recebam essa nova tecnologia (80 mil fora de comunidades e 49 mil originários de comunidades).

No ano de 2008, apenas o modelo ITRON foi instalado. Os modelos da CAM e da LANDIS+GYR foram utilizados apenas para medição comparativa. Em 2010, após ter sido homologado pelo INMETRO, o modelo da LANDIS+GYR passou a ser utilizado também para o faturamento. O mesmo ocorreu em 2011 com o modelo da ELSTER.

A tabela 2.2 mostra o atual cenário, ilustrando marcas e modelos dos sistemas instalados.

Tabela 2.2: Número de medidores instalados na área de concessão da Light Energia em 11/2012.

Medidores Eletrônicos	Instalados	Faturando
ITRON (SMI)	38	38
CAM (SMC - SEM FAT.)	22	-
LANDIS+ELSTER (SMC - FAT.)	229	198
Total	289	236

Fonte: Light

3

Medição centralizada: estudo das áreas que já a possuem e proposta para novas instalações

Este capítulo discute a proposição de novas instalações de medição centralizada em uma das subáreas de concessão da Light Energia, ou seja, municípios da Baixada Fluminense. Nesses municípios os níveis de perda são elevados, fato que tem motivado a concessionária a priorizar esta região em seus planos de expansão do parque de SMC. Para contextualizar a abrangência do estudo, cabe lembrar que, na sua totalidade, a concessão da Light Energia inclui trinta e um municípios dos quais apenas oito já foram contemplados com a moderna tecnologia de medição centralizada. O Anexo 1 detalha essas informações.

Tendo em vista que o SMC é usualmente instalado em domicílios alimentados na baixa tensão cujo perfil do cliente apresenta ameaça à rede, sugere-se que as novas instalações sejam feitas em domicílios de aglomerados subnormais, assim definidos pelos critérios de acordo com o Censo de 2010 (definição transcrita no Apêndice 1).

Atualmente, a Baixada Fluminense congrega treze municípios (Belford Roxo, Duque de Caxias, Guapimirim⁷, Itaguaí, Japeri, Magé⁷, Mesquita, Nilópolis, Nova Iguaçu, Paracambi, Queimados, São João de Meriti e Seropédica). Juntos, esses municípios consomem 18% do total de energia distribuída pela Light Energia no Estado, percentual que representa 22% do consumo residencial (Tabela 3.3). Esses dados atribuem confiabilidade estatística à amostra escolhida para o estudo de caso, amostra que congrega 25% da população do estado pelo Censo de 2010.

⁷ Os municípios de Magé e Guapimirim, não fazem parte da área de concessão da Light Energia, estes tem sua energia elétrica abastecida pela Ampla.

Tabela 3.1: Número de contas e do consumo residencial dos municípios da Baixada Fluminense, parte da área de concessão da Light.

Município	Total	
	contas	MWh
Nova Iguaçu	271.464	36.405
Duque de Caxias	171.254	23.130
São João de Meriti	150.436	21.332
Belford Roxo	145.752	16.394
Nilópolis	58.195	9.469
Mesquita	59.649	9.063
Itaguaí	42.948	6.075
Queimados	45.869	5.728
Seropédica	24.933	3.262
Japeri	23.997	2.516
Paracambi	16.371	2.417
Total	1.010.868	135.790

Fonte: Light Energia

Tomando por base os padrões de qualidade da cidade do Rio de Janeiro, pode-se dizer que são precários os serviços sociais (educação, saúde, habitação, trabalho, renda, cultura e transporte público) oferecidos na Baixada Fluminense. A experiência da concessionária permite afirmar que de fato existe uma correlação entre esses parâmetros sociais e o índice de perdas de energia e inadimplência. Embora difícil de ser medida, essa correlação aparece piorar quando são também considerados na análise outros fatores que refletem as desigualdades sociais, a localização do domicílio, o tipo de urbanização e questões socioeconômicas.

Tendo em vista esse desalentador cenário, o processamento dos dados brutos referentes às perdas detectadas na Baixada Fluminense foi precedido de uma análise sociocultural da região assim contribuindo para um melhor entendimento das razões que explicam esse indesejável elevado índice de perdas. Esta reflexão é em especial relevante quando a concessionária precisa fazer a opção da área a ser selecionada para implantação do SMC, tema objeto desta dissertação.

3.1.

Variáveis socioeconômicas: indicador para novas instalações

Na visão de estudiosos de geografia econômica (Henriques, 2000), parece ser evidente que o crescimento econômico deva ser estimulado de forma

incessante, mas não como um fim em si mesmo, e sim como estratégia de melhoria da qualidade de vida e instrumentos de liberdade individual. Sabidamente, o IDH é o indicador de desenvolvimento humano. Proposto pelo PNUD, o IDH congrega três dimensões da atividade humana: informação (educação), saúde (longevidade) e riqueza (renda), individualmente expressas por um índice de desenvolvimento próprio, que varia de 0 a 1. O IDH de cada estado é medido pela média aritmética simples desses três índices. Assim, o IDH expressa aspectos relativos às características econômicas do município (renda) e aspectos da condição social (longevidade e educação).

O último resultado do IDH utilizado para retratar os municípios brasileiros data de 2003⁸. A tabela 3.1 mostra os resultados para os municípios da Baixada Fluminense, baseando-se nas informações dos Censos de 1991 e 2000. O próximo IDH municipal, com base no Censo de 2010, será publicado em 2013.

Tabela 3.2: IDH dos municípios da Baixada Fluminense

Ranking Brasil	Município	IDHM 1991	IDHM 2000	IDHM-Renda 1991	IDHM-Renda 2000	IDHM-Longevidade 1991	IDHM-Longevidade 2000	IDHM-Educação 1991	IDHM-Educação 2000
60	Rio de Janeiro	0,80	0,84	0,79	0,84	0,71	0,75	0,89	0,93
860	Nilópolis	0,74	0,79	0,67	0,72	0,69	0,71	0,87	0,93
1223	São João de Meriti	0,71	0,77	0,63	0,68	0,67	0,74	0,82	0,90
1303	Paracambi	0,68	0,77	0,63	0,71	0,65	0,71	0,77	0,90
1381	Itaguaí	0,69	0,77	0,63	0,69	0,65	0,72	0,78	0,89
1533	Nova Iguaçu	0,71	0,76	0,63	0,69	0,68	0,72	0,82	0,88
1632	Seropédica	0,69	0,76	0,61	0,68	0,67	0,71	0,79	0,88
1786	Duque de Caxias	0,70	0,75	0,64	0,68	0,67	0,71	0,80	0,87
1990	Magé	0,66	0,75	0,59	0,67	0,64	0,71	0,76	0,86
2095	Belford Roxo	0,67	0,74	0,60	0,64	0,63	0,71	0,79	0,87
2172	Guapimirim	0,64	0,74	0,60	0,68	0,59	0,69	0,72	0,84
2388	Queimados	0,66	0,73	0,59	0,64	0,63	0,69	0,77	0,87
2538	Japeri	0,64	0,72	0,58	0,62	0,63	0,69	0,72	0,86

Fonte: PNUD

Os dados na Tabela 3.2 indicam claramente uma melhoria do IDH entre os anos 1991 e 2000 nos municípios selecionados. Anualmente, o Sistema FIRJAN publica os resultados de um estudo (IFDM), que mede indicadores de renda, educação e saúde dos 5.564 municípios brasileiros, utilizando estatísticas públicas oficiais, disponibilizadas pelos Ministérios do Trabalho, Educação e Saúde.

Na ausência de resultados atualizados do IDH (apenas disponíveis em 2013) optou-se pelo IFDM para consubstanciar a análise desenvolvida no âmbito desta dissertação. A Tabela 3.3 resume os resultados do IFDM em 2010

⁸ O município de Mesquita ainda não havia sido emancipado nessa data.

utilizados na análise dos municípios da Baixada Fluminense objeto do estudo de caso desenvolvido.

Tabela 3.3: Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal

Município	Ranking Estadual	IFDM	Renda	Educação	Saúde
Rio de Janeiro	2	0,84	0,88	0,81	0,84
Duque de Caxias	12	0,77	0,93	0,60	0,77
Magé	16	0,76	0,77	0,66	0,85
Itaguaí	19	0,75	0,70	0,75	0,81
Seropédica	28	0,74	0,74	0,69	0,78
Nova Iguaçu	31	0,72	0,74	0,69	0,74
São João de Meriti	40	0,70	0,74	0,64	0,73
Paracambi	57	0,68	0,42	0,75	0,85
Nilópolis	63	0,66	0,53	0,68	0,78
Belford Roxo	81	0,64	0,64	0,58	0,71
Mesquita	83	0,64	0,46	0,66	0,79
Guapimirim	90	0,60	0,36	0,67	0,77
Queimados	91	0,59	0,51	0,61	0,64
Japeri	92	0,57	0,44	0,60	0,68

Fonte: Firjan (2010).

Contrastando com os dados da Tabela 3.2 (elaborada em âmbito de Brasil) que não inclui informações do município de Mesquita (emancipado em 1999), a Tabela 3.3 (elaborada em âmbito do Estado do Rio de Janeiro) inclui dados deste município da Baixada Fluminense. A análise comparativa dos dados dessas duas tabelas confirma para o período estudado: (i) melhoria do índice de saúde e (ii) retrocesso no índice educação. Já o índice que mede renda média per capita, apenas seis municípios apresentam melhoria deste indicador.

Comprova-se, assim, que de fato existe correlação entre indicadores socioculturais e desenvolvimento da população; deficiências nos indicadores socioeconômicas parecem sugerir maior capacidade de perda de motivação para o para descumprimento de leis e regulamentos e tendência ao dolo. Ou seja, quanto maior o grau de desenvolvimento humano dos habitantes de uma região geográfica, menor é a tendência para o furto de energia e inadimplência no pagamento das contas de luz.

Estudioso do tema, Araújo (2007) confirma existir correlação entre variáveis socioeconômicas e fenômenos associados a perdas e inadimplência. Esse é o referencial teórico que foi utilizado para caracterizar a condição socioeconômica da Baixada Fluminense, subárea da concessão da Light Energia selecionada para estudo de caso desta dissertação de mestrado. A análise leva em consideração os seguintes quatro recortes: urbanização; infraestrutura; escolaridade e renda per capita e posse de equipamentos.

Urbanização — Dados do Atlas Nacional do Brasil (IBGE 2010) confirmam que cerca de 80% da população brasileira vive em cidades. Exibindo desigualdade

na urbanização, poucas são as cidades que concentram população e riqueza enquanto multiplicam-se os centros urbanos que abrigam força de trabalho pouco qualificada e fortemente vinculada a atividades primárias. As aglomerações urbanas e as 49 cidades com mais de 350 mil habitantes abrigam cerca de 50 % da população urbana, representando aproximadamente 65,0% do PIB nacional. Essas indesejáveis desigualdades do processo de urbanização refletem diversidades regionais e uma inserção diferenciada dessas regiões na economia nacional. Dada essa realidade de urbanização sem planejamento, indutor de desorganização social, conclui-se que o combate às perdas reflete complexo problema de difícil solução.

Infraestrutura — A solução de problemas de infraestrutura básica constitui pré-condição de cidadania e de acesso a serviços básicos essenciais (eletricidade, comunicação, transporte urbano e saneamento). Entretanto, a ampliação da infraestrutura e redução de custos de acesso aos serviços essenciais, indutores do aumento da produtividade e do aprimoramento da qualidade de bens e serviços, requer expressivos investimentos e ações estruturadas de consolidação da integração regional. O acesso da população aos serviços essenciais coloca-se como requisito básico para a busca do desenvolvimento humano e regional. Não obstante as dificuldades requeridas para a mitigação dessa preocupação é alentador saber que o País já dispõe de legislação voltada para a superação desse desafio. Nesse sentido, a resolução normativa ANEEL 68, de 8 de junho de 2004, reconhece a

“obrigação da concessionária ou permissionária de distribuição de energia elétrica participar do planejamento setorial e da elaboração dos planos de expansão do sistema elétrico, implementando e fazendo cumprir, em sua área de concessão, as recomendações técnicas e administrativas deles decorrentes.”

Escolaridade e renda per capita — Dados do Censo 2010 de interesse para a análise:

- o percentual de pessoas sem instrução ou com o curso fundamental incompleto caiu de 65,1% (2000) para 50,2% (2010);
- o percentual de pessoas com pelo menos o curso superior completo aumentou de 4,4% (2000) para 7,9% (2010). Assim, mesmo que o nível de instrução tenha aumentado os resultados do Censo 2010 ainda explicitam uma elevada desigualdade de renda com tendência de redução nos últimos anos;
- não obstante a média nacional de rendimento domiciliar per capita ter sido R\$ 668 em 2010, 25% da população ainda possuía sua renda limitada ao teto de R\$ 188 e metade dos brasileiros recebia salários limitados a R\$ 375 (portanto inferior ao teto legal do salário mínimo no valor de R\$ 510);
- a incidência de pobreza mostrou-se maior nos municípios de porte médio (10 a 50 mil habitantes).

Posse de equipamentos — A experiência com pesquisas de posses e hábitos de equipamentos conduzida no País pelo Procel revela que (i) o índice de posse de equipamentos eletrônicos relaciona-se ao desenvolvimento econômico da região e (ii) o crescimento do parque de eletrodomésticos influencia diretamente o aumento do consumo e da demanda da energia elétrica. O incentivo econômico governamental de redução do IPI sobre eletrodomésticos estimula a posse de equipamentos eletrônicos novos que, se por um lado aumenta o consumo introduz eficiência energética no sistema.

3.2. Municípios analisados

Embora a Baixada Fluminense congregue treze municípios, o presente trabalho concentra-se nos sete municípios, cuja energia é abastecida pela Light Energia. Esses municípios já foram atendidos pela tecnologia SMC, que será mantida pela concessionária. São eles: Belford Roxo, Duque de Caxias, Nilópolis, Nova Iguaçu, Mesquita, São João de Meriti e Queimados.

A análise dos dados refere-se a dois períodos de 12 meses: um antes e outro após a implantação do novo sistema de medição, aqui lembrando que todos os municípios analisados tiveram o SMC instalado em outubro de 2011. São eles: Belford Roxo, Duque de Caxias, Nilópolis e Nova Iguaçu.

Os dados da Tabela 3.4 refletem as informações mais relevantes dos municípios analisados. O Anexo 2 resume os conceitos de existência de energia elétrica, com base no Censo 2010.

Os dados dos demais municípios são apresentados no Anexo 3.

Tabela 3.4: Informações dos municípios analisados.

Município	Instalações com SMC (out/11)	Domicílios Censo 2010	Aglomerados subnormais		
			Número de aglomerados	Número de domicílios	Média de moradores
Belford Roxo	1.636	145.743	19	10.397	3.41
Duque de Caxias	43	269.577	25	18.321	3.35
Nilópolis	2.61	50.535	4	983	3.62
Nova Iguaçu	1.328	248.321	10	2.853	3.34

Fonte: Light / Censo 2010 - IBGE

A Tabela 3.4 resume os dados referentes de consumo médio para os dois períodos de 12 meses, antes e depois da implementação do SMC.

Tabela 3.4: Consumo médio antes e após a instalação do SMC.

Município	kWh	
	antes	depois
Belford Roxo	136	223
Duque de Caxias	155	191
Nilópolis	183	236
Nova Iguaçu	180	209

Fonte: Light

As figuras 3.1 a 3.4 ilustram a evolução do consumo médio expresso em kWh e em reais.

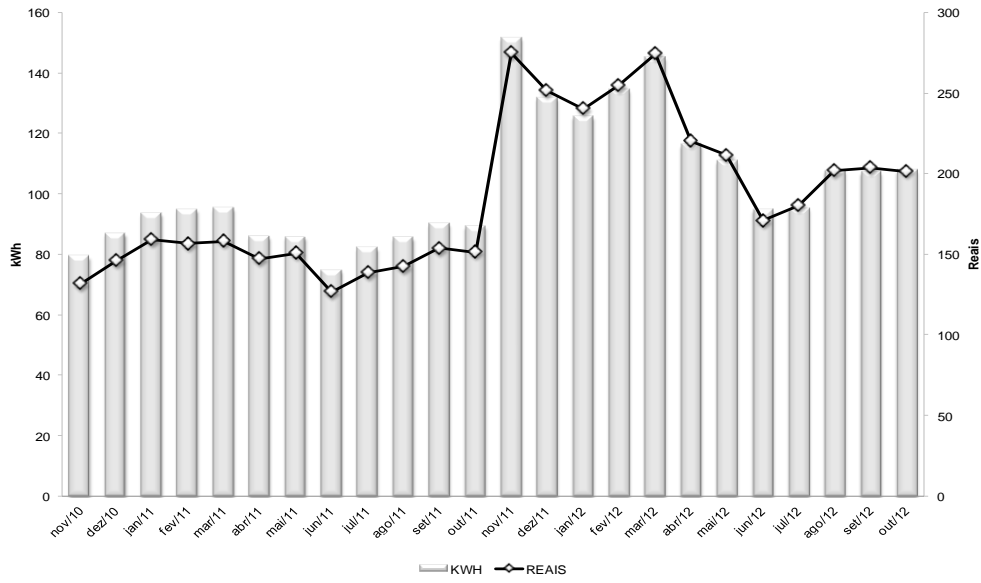


Figura 3.1: Consumo médio (em kWh e Reais) do município de Belford Roxo.

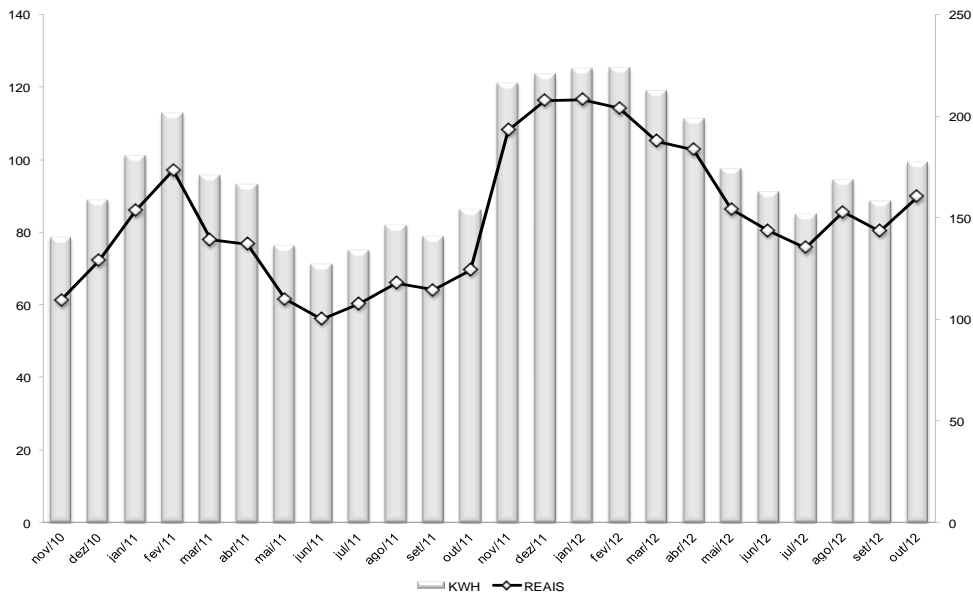


Figura 3.2: Consumo médio (em kWh e Reais) de Duque de Caxias.

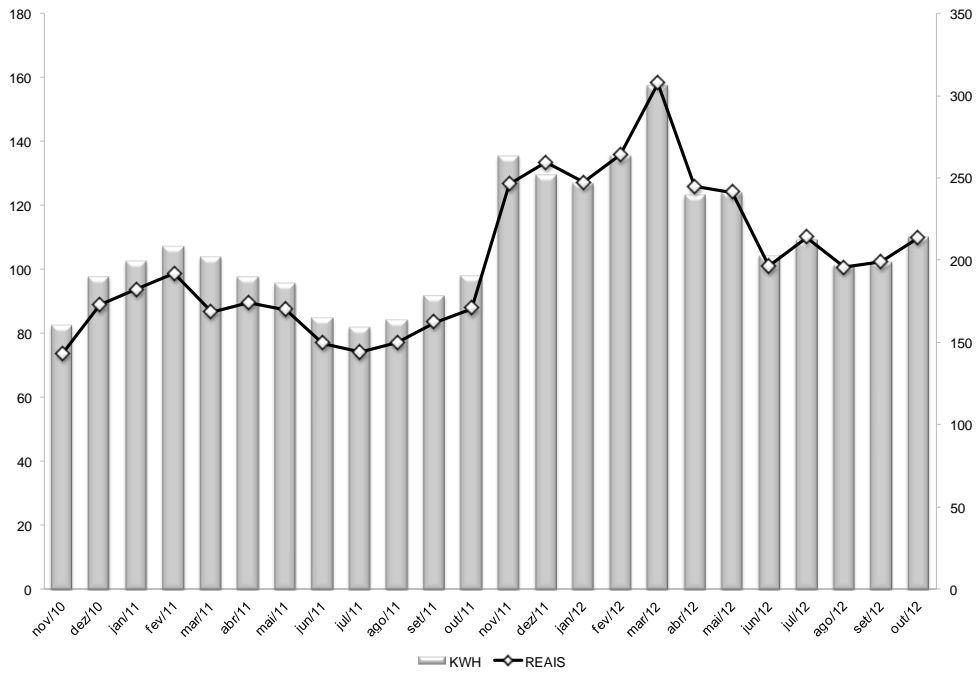


Figura 3.3: Consumo médio (em kWh e Reais) de Nilópolis.

PUC-Rio - Certificação Digital N° 1022231/CA

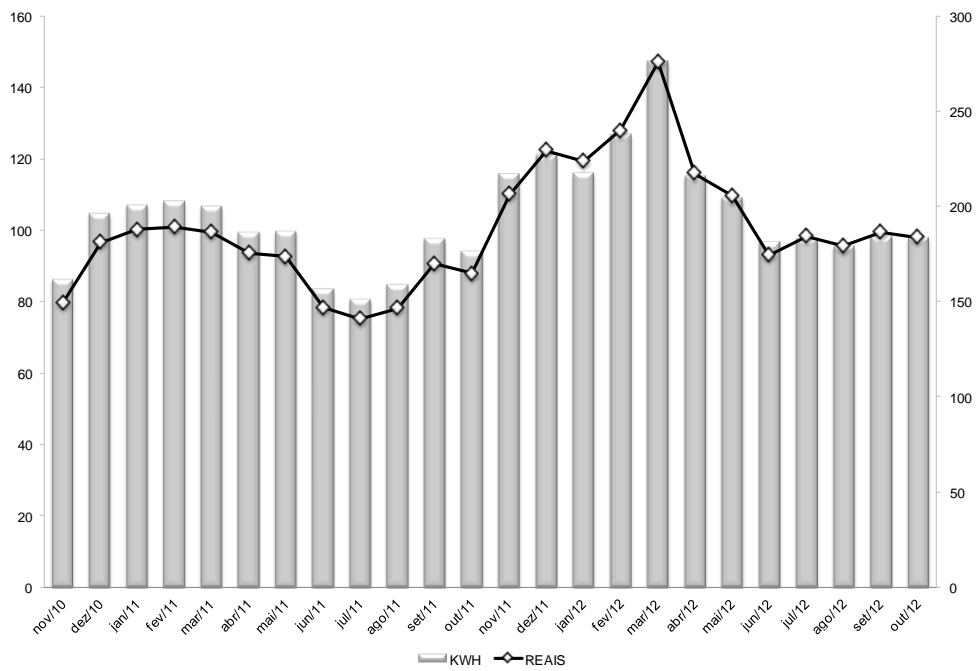


Figura 3.4: Consumo médio (em kWh e Reais) de Nova Iguaçu.

4 Estratégia proposta para novas instalações de SMC

À luz de uma análise estatística de crescimento do faturamento expresso em unidade monetária (R\$) e de energia (kWh), este capítulo propõe uma estratégia para instalação de novas unidades da tecnologia SMC.

4.1. Base de dados

A despeito de os domicílios de baixa renda serem mais susceptíveis ao furto de energia (cuja justificativa foi discutida no capítulo anterior), o trabalho está propondo que as novas instalações de SMC sejam introduzidas em todos os domicílios da subárea selecionada para o estudo de caso. Ou seja, em domicílios enquadrados nas subclasses tarifárias residencial e baixa renda. Tal decisão também se fundamenta no fato de o Censo 2010 não fazer a distinção entre essas duas classes de consumidores.

Os dados da Tabela 4.1 subdividem as 1.010.868 instalações residenciais localizadas nos municípios da Baixada Fluminense em outubro de 2012 nas duas subclasses: 32.542 domicílios na baixa renda e 978.416 domicílios na subclasse convencional.

Tabela 4.1: Número de instalações residenciais por subclasse tarifária existentes nos municípios da Baixada Fluminense (situação em outubro de 2012).

Município	Reidencial	Residencial Baixa Renda	Total
Belford Roxo	142.191	3.561	145.752
Duque de Caxias	168.978	2.276	171.254
Itaguaí	41.719	1.229	42.948
Japeri	23.373	624	23.997
Mesquita	58.208	1.441	59.649
Nilópolis	56.722	1.473	58.195
Nova Iguaçu	256.009	15.455	271.464
Paracambi	15.033	1.338	16.371
Queimados	43.617	2.252	45.869
São João de Meriti	148.188	2.248	150.436
Seropédica	24.378	555	24.933
Total	978.416	32.452	1.010.868

Fonte: Light

Das instalações domiciliares analisadas no capítulo 3, 236 estão enquadradas na subclasse tarifária baixa renda, conforme ilustrado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Número de instalações analisadas, classificadas em residencial e residencial baixa renda.

Municípios	Residencial	Residencial Baixa Renda	Total
Belford Roxo	1.598	38	1.636
Duque de Caxias	43		43
Nilópolis	2.541	69	2.610
Nova Iguaçu	1.199	129	1.328
Total	5.381	236	5.617

Fonte: Light

Dos dados oficiais disponibilizados pela concessionária (Anexo 1), na subárea de concessão Baixada Fluminense, 109.858 instalações já adotam a tecnologia de medição SMC, restando assim 901.010 instalações sem acesso ao Sistema de Medição Centralizada. Destes, apenas 792.761 instalações poderão receber o SMC, pois se encontram nos sete municípios de atuação. Os dados da Tabela 4.3 mostram o Plano de Investimento da concessionária para 2013.

Tabela 4.3: Instalações da Baixada Fluminense com e sem SMC.

Município	Instalações			
	Total	com SMC	sem SMC	
Queimados	45.869	1.582	44.287	} 792.761
Mesquita	59.649	3.352	56.297	
Nilópolis	58.195	9.475	48.720	
Belford Roxo	145.752	13.830	131.922	
São João de Meriti	150.436	15.137	135.299	
Duque de Caxias	171.254	27.163	144.091	
Nova Iguaçu	271.464	39.319	232.145	
Itaguaí	42.948		42.948	
Japeri	23.997		23.997	
Paracambi	16.371		16.371	
Seropédica	24.933		24.933	
Total	1.010.868	109.858	901.010	

Fonte: Light

A instalação de novas instalações de SMC requer conformidade às seguintes premissas:

- i. as 5.395 instalações em fase de implementação (Anexo 1) devem estar localizadas na cidade do Rio de Janeiro;

- ii. de acordo com os dados do Anexo 1, 43% das instalações SMC localizam-se na Baixada Fluminense. Estima-se que um percentual de 60% desses SMC sejam instalados ainda em 2013 nos municípios da Baixada Fluminense. Portanto, para o exercício de 2013 prevê-se (i) 129 mil novas instalações SMC, das quais 51.600 na cidade do Rio de Janeiro (49 mil em UPP) e (ii) 77.400 na Baixada Fluminense;
- iii. o total de novas instalações SMC deverá ser definido com base na quantidade atualizada de domicílios subnormais constante do Censo 2010, acrescido de uma taxa de crescimento;
- iv. a taxa de crescimento para o município de Duque de Caxias foi estimada com base na média das taxas dos demais municípios (a despeito das sinalizações de um crescimento negativo, acredita-se que este não ocorreu);
- v. A diferença entre a quantidade de medidores planejados para instalação em 2013 e a quantidade proposta sugerida de acordo com o presente trabalho (cerca de 27 mil medidores) – será distribuída levando-se em conta a cota de cada município.

Incorporando essas premissas, a Tabela 4.4 apresenta o crescimento do total de domicílios subnormais e a quantidade, sugerida, de instalações SMC a ser implantada em 2013, por município. A tabela 4.5 apresenta a distribuição dos 27.400 medidores planejados para instalação nos municípios indicados que não foram incorporados no primeiro critério.

Tabela 4.4: Projeção de domicílios subnormais e instalações sugeridas para receberem o SMC.

Municípios	Censo 2010	Número de contas Light			2012 (projeção de domicílios subnormais)
	(domicílios subnormais)	2010 (a)	2012 (b)	tx de crescimento (b/a)	Censo 10 + tx de cresc. Light
Duque de Caxias	18.336	171.614	171.254	4,13%	19.093
São João de Meriti	14.456	149.826	150.436	0,41%	14.515
Belford Roxo	10.397	141.965	145.752	2,67%	10.674
Nova Iguaçu	2.853	264.116	271.464	2,78%	2.932
Queimados	1.624	42.689	45.869	7,45%	1.745
Nilópolis	983	55.246	58.195	5,34%	1.035
Mesquita	320	59.403	59.649	0,41%	321
Total	48.969	884.859	902.619	2,01%	50.317

Fonte: Censo 2010 - IBGE / Light

Tabela 4.5: Diferença dos domicílios que devem receber o SMC.

Município	2012	Proporção	Novas instalações
Duque de Caxias	27.163	24,73%	6.696
São João de Meriti	15.137	13,78%	3.732
Belford Roxo	13.830	12,59%	3.409
Nova Iguaçu	39.319	35,79%	9.693
Queimados	1.582	1,44%	390
Nilópolis	9.475	8,62%	2.336
Mesquita	3.352	3,05%	826
Total	109.858	100%	27.083

Fonte: Light

A Tabela 4.6 identifica, por município, as 77.400 instalações sugeridas para receber o SMC em 2013.

Tabela 4.6: Instalações a receberem o SMC em 2013

Municípios	2013
Duque de Caxias	25.790
São João de Meriti	18.247
Belford Roxo	14.084
Nova Iguaçu	12.626
Queimados	2.135
Nilópolis	3.371
Mesquita	1.148
Total	77.400

4.2.

Análise do crescimento do faturamento (R\$ e kWh)

Os dados da Tabela 4.7 mostram que após⁹ a instalação do SMC foi observado um aumento diferenciado do consumo (kWh) e do valor pago (R\$). O crescimento em reais é maior do que o crescimento em kWh devido o aumento do ICMS no final de 2010.

⁹ Estão sendo comparados os 12 meses antes e os 12 meses após a instalação do SMC.

Tabela 4.7: Crescimento em reais e em kWh após a instalação do SMC nos municípios analisados.

Municípios	Reais			kWh		
	antes SMC	depois SMC	Crescimento (%)	antes SMC	depois SMC	Crescimento (%)
Belford Roxo	78	119	52,49%	163	223	36,88%
Duque de Caxias	71	97	36,87%	155	191	23,22%
Nilópolis	85	121	43,02%	183	236	29,32%
Nova Iguaçu	89	111	24,54%	180	209	16,03%

Fonte: Light

4.2.1. Teste Wilcoxon

Conforme documentado no Apêndice C, o Teste de Wilcoxon para amostras pareadas mostrou-se critério eficaz para comparar o consumo médio antes e depois da instalação do SMC.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 4.8 há evidência de que o consumo médio (kWh) dos quatro municípios analisados foi influenciado pela instalação do SMC já que as medições realizadas antes e depois da instalação confirmam tal diferença.

Tabela 4.8: Teste Wilcoxon

Município	Intervalo de confiança	Estatística teste	p-valor
Belford Roxo	95%	235.613	0,0000
Duque de Caxias	95%	196	0,0024
Nilópolis	95%	723.444	0,0000
Nova Iguaçu	95%	288.801	0,0000

Confirmada a diferença entre o consumo médio (kWh) antes e depois da instalação do SMC, convém analisar se o consumo após a instalação do novo medidor varia entre os municípios. Para tanto, realizou-se o teste de análise de variância (ANOVA).

4.2.2. Análise de variância (ANOVA)

Para verificar se existe diferença significativa entre os quatro municípios analisados foi realizado o teste estatístico de análise de variância (ANOVA), cujos resultados encontram-se documentados no Apêndice D.

Resultado da existência de muitos outliers nas séries estudadas, estas foram tratadas pela eliminação de 5% dos valores extremos. Com isso, o tamanho da série e a média ficam alterados. Os novos valores são apresentados na tabela 4.9.

Tabela 4.9: Informações da série analisada

Município	N	Média	Variância
Belford Roxo	1.567	204	9.947
Duque de Caxias	41	174	10.131
Nilópolis	2.498	215	11.175
Nova Iguaçu	1.284	188	9.168

De acordo com a tabela 4.10 verifica-se que, de fato, há diferença significativa entre o consumo médio (kWh) dos municípios, pois o F calculado (22,03) é maior do que o F tabelado (2,61), ao risco de 5%.

Tabela 4.10: ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	682.733	3	227.578	22,03	0,00	2,61
Dentro dos grupos	55.648.472	5.386	10.332			
Total	56.331.205	5.389				

Verificada a diferença entre o consumo médio dos municípios, é importante descobrir entre quais destes está a diferença. Para tanto deve compará-los aos pares.

4.2.3. Teste de Scheffé

Para verificar entre quais municípios há diferença entre a média de consumo é realizado o teste estatístico de Scheffé (Apêndice E).

O primeiro passo para se realizar o Teste de Scheffé é calcular a diferença das médias do consumo, entre os pares de municípios, conforme (4.1)

$$\begin{aligned}
 |\bar{x}_{BR} - \bar{x}_{DC}| &= |204 - 174| = 30 \\
 |\bar{x}_{BR} - \bar{x}_{NI}| &= |174 - 215| = 41 \\
 |\bar{x}_{BR} - \bar{x}_{NI}| &= |204 - 188| = 16
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

$$|\bar{x}_{DC} - \bar{x}_{Nil}| = |174 - 215| = 41$$

$$|\bar{x}_{DC} - \bar{x}_{NI}| = |174 - 188| = 14$$

$$|\bar{x}_{Nil} - \bar{x}_{NI}| = |215 - 188| = 27$$

Considerando um nível de significância igual a 95%, de acordo com 4.2,

$$|\bar{x}_{BR} - \bar{x}_{DC}| = 30 < 84$$

$$|\bar{x}_{BR} - \bar{x}_{Nil}| = 41 > 17$$

$$|\bar{x}_{BR} - \bar{x}_{NI}| = 16 < 20$$

$$|\bar{x}_{DC} - \bar{x}_{Nil}| = 41 < 84 \quad (4.2)$$

$$|\bar{x}_{DC} - \bar{x}_{NI}| = 14 < 84$$

$$|\bar{x}_{Nil} - \bar{x}_{NI}| = 27 > 18$$

Há evidência de que o consumo médio (kWh) entre os municípios de Belford Roxo e Duque de Caxias, Belford Roxo e Nova Iguaçu, Duque de Caxias e Nilópolis e Duque de Caxias e Nova Iguaçu, não diferem. Isto é, o consumo médio difere significativamente apenas entre os municípios de Belford Roxo e Nilópolis e Nilópolis e Nova Iguaçu.

4.3. Perfil do faturamento em 2013

Com base na proposta do total de SMC a ser instalado em 2013, e considerando que as novas instalações terão o mesmo perfil de consumo que aquelas que já foram analisadas, torna-se possível estimar o faturamento desse grupo para 2013.

Considera-se, aqui, que os municípios da Baixada Fluminense possuem o mesmo perfil socioeconômico, portanto tendem a ter comportamentos semelhantes. E embora os testes estatísticos tenham apresentado diferença significativa no consumo. A premissa adotada para se estimar o consumo médio mensal dos municípios que não foram analisados considera-se a média dos demais (antes e após a instalação do SMC), conforme consta da Tabela 4.11.

Tabela 4.11: Consumo médio para 2013

Município	2013	antes do SMC		após o SMC		após - antes		ganho médio	
		Reais	MWh	Reais	MWh	Reais	MWh	Reais	MWh
Duque de Caxias	25.790	1.823.017	3.994	2.495.159	4.921	672.142	927	37%	23%
São João de Meriti	18.247	1.474.277	3.104	2.047.122	3.918	572.845	814	39%	26%
Belford Roxo	14.084	1.102.387	2.291	1.681.067	3.137	578.680	845	52%	37%
Nova Iguaçu	12.626	1.129.538	2.273	1.406.775	2.638	277.237	364	25%	16%
Queimados	2.135	172.501	363	239.529	458	67.027	95	39%	26%
Nilópolis	3.371	285.770	616	408.722	797	122.952	181	43%	29%
Mesquita	1.148	92.730	195	128.761	246	36.031	51	39%	26%
Total	77.400	6.080.220	12.837	8.407.135	16.115	2.326.914	3.278	38%	26%

Para 2013, os dados apresentados sugerem os seguintes ganhos médios mensais, de 38% se expressos em reais e de 26% se em MWh.

5 Conclusões e recomendações

O combate às perdas técnicas de energia e à inadimplência requerem enormes desafios e elevados investimentos pela concessionária. A introdução do Sistema de Medição Centralizada (SMC) - baseada na comunicação interativa entre todas as partes da cadeia de distribuição de energia - constitui estratégia confiável de combate às perdas e de desenvolvimento sustentável para as concessionárias já que a mensuração do consumo ocorre de forma sensata e eficiente. A introdução do SMC beneficia todas as partes interessadas. Pela confiabilidade que agrega ao resultado da medição gera conforto para o consumidor e para o regulador do sistema, a quem competem fiscalizar a qualidade do serviço fornecido. O conhecimento do consumo em tempo real beneficia a concessionária, provendo-lhe informação estratégica à tomada de decisão e ao controle da gestão de perdas não técnicas e combate à inadimplência. Aos demais agentes geradores, comercializadores, importadores e exportadores de energia assegura maior racionalidade na gestão integrada do sistema de energia.

Não menos importante, possui uma ação educativa através da nova tecnologia; cerceados da tentação da fraude (antes franqueada) reconquistam a dignidade da cidadania. Adicionalmente a todas essas vantagens, a introdução da SMC colabora para um adequado planejamento da expansão do sistema de energia e para o aperfeiçoamento do cálculo das tarifas que, inevitavelmente acaba por impactar no controle inteligente do consumo e no combate ao furto de energia, assim reduzindo a inadimplência.

5.1. Conclusões finais

À luz das questões originalmente formuladas, a dissertação cumpriu os objetivos propostos já que o trabalho propõe uma estratégia e explicita dados relevantes para orientar a concessionária na instalação de novos sistemas de medição centralizada assim agregando maior confiabilidade às medições de consumo de energia elétrica na hoje vulnerável rede instalada na Baixada Fluminense, no Rio de Janeiro. Mais especificamente, foi capaz de prospectar

para 2013 o ganho potencial resultante da introdução do SMC nas unidades que integram a subárea de concessão da Light selecionada para o Estudo de caso desenvolvido. Diante do divulgado, conclui-se que existe a concreta possibilidade de diminuição de perdas comerciais com as novas instalações.

Dentre outras contribuições, o trabalho contextualiza o avanço do sistema de medição de energia à luz da legislação aplicável e realiza um diagnóstico do parque de medição da Light na perspectiva de condicionantes socioeconômicos da subárea de concessão estudada. Em particular, o confronto desses indicadores socioeconômico com o grau de fraudes, perdas e inadimplência nos municípios da Baixada Fluminense beneficiadas pela introdução da alternativa tecnológica inteligente do SMC constitui-se em importante marco referencial para a tomada de decisão pela concessionária. Acervo de informação essa que se presta como referência para decisões de instalação dessa tecnologia em outros municípios. Ao contextualizar as experiências recenseadas, ilustrou funcionalidades e vantagens decorrentes da substituição do atual sistema de medição da Light pelo sistema SMC. Finalizando, a dissertação sinaliza para a viabilidade técnica e econômica de adoção dessa tecnologia inovadora de SMC em novas unidades da concessionária.

5.2. Limitação do estudo

Não obstante o trabalho não ter pretendido exaurir tema de tal abrangência e complexidade, faz-se importante destacar que os resultados apresentados estão restritos à subárea de concessão estudada (i.e.: municípios da Baixada Fluminense) e ao porte da série de consumo das instalações de SMC estudadas, estratificadas nas duas subclasses tarifárias, residencial convencional e baixa renda. Diante da falta de acesso aos endereços dos domicílios subnormais (não disponibilizado pelo IBGE por razões de segurança), o trabalho não aprofunda a análise para identificar outros condicionantes e determinantes que possam dificultar a introdução da tecnologia nos domicílios da subclasse tarifária baixa renda. Essa é a razão que a indicação formulada para instalação do SMC está restrita ao bairro, fazendo-se necessário realizar pesquisa de campo para identificar as residências alvo.

Outra limitação do trabalho no que diz respeito à sua pretensão de realizar previsão do crescimento do consumo resultante da adoção da tecnologia SMC refere-se ao porte da série temporal estudada, que poderá, com o apoio da

concessionária, ser ampliada e diversificada. Informações mais detalhadas e mais precisas sobre posses e hábitos; acesso a séries socioeconômicas capazes de explicar o consumo de energia elétrica, por região; mapeamento, geográfico das áreas específicas objeto do estudo certamente poderiam contribuir para o desenvolvimento de modelos de previsão mais elaborados.

5.3.

Propostas para desdobramentos futuros do tema

Em função da constante atualização da tecnologia e das campanhas de combate e prevenção às perdas não técnicas, o desenvolvimento de estudos correlatos são sempre recomendáveis como estratégia de desenvolver o conhecimento sobre o tema. Dentre as alternativas vislumbradas, destacam-se:

- Estudos para a definição de uma trajetória regulatória, que seja capaz de aperfeiçoar investimentos em novas tecnologias visando reduzir os impactos tarifários e inibir a fraude;
- Estudos de novas tecnologias para combate às perdas;
- Estudos para diferenciação da tarifa de energia de acordo com a região, visando a redução da inadimplência e, conseqüentemente, a redução das perdas;
- Estudos referentes à caracterização da forma de consumo de energia em domicílios subnormais e convencionais;
- Estudos de projeção de energia que diferencie o consumo dos domicílios de baixa renda dos domicílios convencionais;
- Estudos específicos para comunidades pacificadas;
- Estudos que caracterizem as perdas comerciais e o crescimento do consumo com a instalação do SMC nos municípios da Baixada Fluminense e nos bairros da capital;
- Estudos de previsão de perdas por região, para explicar o crescimento do consumo com a adoção da tecnologia inteligente SMC e a sua capacidade de reduzir perdas não técnicas, uma vez que nem todas as instalações terão o novo sistema de medição.
- Estudo de técnicas de georeferenciamento de domicílios fraudadores e com potencial de fraude.

Referências bibliográficas

_____ Decreto n.º 4562, de 31 de dezembro de 2012. Estabelece normas gerais para celebração, substituição e aditamento dos contratos de fornecimento de energia elétrica; para tarifação e preço de energia elétrica; dispõe sobre compra de energia elétrica das concessionárias de serviço público de distribuição; valores normativos; estabelece a redução do número de submercados; diretrizes para revisão da metodologia de cálculo das Tarifas de Uso do Sistema de Transmissão - TUST e dá outras providências. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/dec20024562.pdf>

_____ Informativo n.º 267 de 4 a 10 de maio de 2007. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/boletim267.htm>

_____ Nota técnica n.º 0044/2010-SRD/ANEEL, de 17 de setembro de 2010. Instauração de Audiência Pública no intuito de coletar subsídios para Resolução Normativa acerca da implantação de medidores eletrônicos em unidades consumidoras do Grupo B. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2010/043/documento/nota_tecnica_0044_2010_srd.pdf

_____ Nota técnica n.º 0044/2012-SRD/ANEEL, de 12 de abril de 2012. Apuração das perdas na distribuição referentes ao 3º Ciclo de Revisão Tarifária Periódica das Centrais Elétricas do Pará – CELPA. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2012/038/documento/nota_tecnica_0044_capeli_celpa.pdf

_____ Resolução normativa n.º 292, de 4 de dezembro de 2007. Altera dispositivos da Resolução n.º 258, de 06 de junho de 2003, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2007292.pdf>

_____ Resolução normativa n.º 502, de 7 de agosto de 2012. Regulamenta sistemas de medição de energia elétrica de unidades consumidoras do Grupo B.

ALVARENGA, L. M. **Sistema de Medição Centralizada – Estado da arte, Aplicações atuais, Perspectivas**. Seminário Internacional Medição Eletrônica. Brasília, 2008.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução normativa n.º 414, de 09 de setembro de 2010. Estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica de forma atualizada e consolidada. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>

ARAÚJO, A. C. M. de. **Perdas e inadimplência na atividade de distribuição de energia elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro, 2007. Dissertação de mestrado – COOPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Censo 2010, disponível em: <http://censo2010.ibge.gov.br/>

COSTA NETO, P. L. O. **Estatística**. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.

DAHLE, D. **Historical time line of electric meters**. Disponível em: <<http://watthourmeters.com/history.html>>. Acesso em: 18 de maio de 2012.

HENRIQUES, R. **Desnaturalizar a desigualdade e erradicar a pobreza: por um novo acordo social. Desigualdade e pobreza no Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2000.

Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. INMETRO. Resolução n.º 11, de 12 de outubro de 1988. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/resc/pdf/RESC000113.pdf>

Jornal O Globo. Operação da Light detecta furto de energia em comércios do Rio e da Baixada. Matéria publicada em 09 de novembro de 2012. Disponível em: <http://oglobo.globo.com/rio/operacao-da-light-detecta-furto-de-energia-em-comercios-do-rio-da-baixada-6682504>

LAMIN, H. **Medição Eletrônica em baixa tensão: Aspectos regulatórios e recomendações para implantação**. Brasília, 2009. Dissertação de mestrado – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília.

RIBERA, D.; LEMOS, J.; NUNES, J. **Redução das perdas comerciais com a implantação do Centro de Controle de Medição e novas tecnologias de medição**. XIX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, São Paulo, 2010.

SIMAS, M.; HENRIQUES, H. **Desenvolvimento de novas alternativas para a redução de inadimplência e perdas comerciais em regiões socialmente desfavorecidas**. Rio de Janeiro, 2003.

URANI, A.; FONTES, A.; FRANCO, S. **Efeito do ambiente socioeconômico sobre as perdas não técnicas na distribuição de energia elétrica**. Rio de Janeiro, 2008. Estudo realizado para Light - Instituto de Estudos do Trabalho e Sociedade.

VERGARA, S. C. **Métodos de pesquisa em administração**. São Paulo: Atlas, 2005.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: planejamento e métodos**. Tradução de Daniel Grassi. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

Anexo 1: Fabricantes de medidores de energia e quantidade de instalações por área da concessão

TECNOLOGIA	AREA	INSTALAÇÕES
CAM	RIO DE JANEIRO	4.406
CAM	BELFORD ROXO	1.076
CAM	SAO JOAO DE MERITI	15.137
TOTAL CAM		20.619
ELSTER	RIO DE JANEIRO	3.652
ELSTER	RIO DE JANEIRO	2.894
ELSTER	RIO DE JANEIRO	4.724
ELSTER	RIO DE JANEIRO	2.911
ELSTER	RIO DE JANEIRO	2.429
ELSTER	RIO DE JANEIRO	630
ELSTER	RIO DE JANEIRO	2.044
ELSTER	RIO DE JANEIRO	259
ELSTER	RIO DE JANEIRO	1.092
ELSTER	RIO DE JANEIRO	1.393
ELSTER	RIO DE JANEIRO	178
ELSTER	RIO DE JANEIRO	793
ELSTER	RIO DE JANEIRO	1.438
TOTAL ELSTER		24.437
LANDIS	RIO DE JANEIRO	1.017
LANDIS	RIO DE JANEIRO	476
LANDIS	BELFORD ROXO	13.830
LANDIS	RIO DE JANEIRO	27.079
LANDIS	DUQUE DE CAXIAS	6.524
LANDIS	DUQUE DE CAXIAS	6.218
LANDIS	DUQUE DE CAXIAS	6.391
LANDIS	DUQUE DE CAXIAS	8.030
LANDIS	RIO DE JANEIRO	636
LANDIS	RIO DE JANEIRO	3.819
LANDIS	RIO DE JANEIRO	8.090
LANDIS	RIO DE JANEIRO	2.121
LANDIS	RIO DE JANEIRO	11.340
LANDIS	IMPLEMENTACAO	5.395
LANDIS	RIO DE JANEIRO	249
LANDIS	MESQUITA	3.352
LANDIS	NILOPOLIS	9.473
LANDIS	NOVA IGUACU	39.319
LANDIS	QUEIMADOS	1.582
LANDIS	RIO DE JANEIRO	9.274
LANDIS	RIO DE JANEIRO	17.397
LANDIS	RIO DE JANEIRO	15.384
LANDIS	RIO DE JANEIRO	13.443
TOTAL LANDIS		210.439
TOTAL GERAL		255.495

Anexo 2: Conceitos de energia elétrica (IBGE, censo 2010)

Quanto à existência de energia elétrica em cada município, os dados apresentados são do Censo 2010. Considerando as seguintes definições:

i. Energia elétrica

No domicílio particular permanente foi pesquisada a existência, de energia elétrica e, sua origem: de companhia distribuidora ou de outra fonte (eólica, solar, gerador etc.).

ii. Medidor ou relógio no domicílio

No domicílio particular permanente atendido por energia elétrica de companhia distribuidora, investigou-se a existência de medidor para registro do consumo de energia elétrica do domicílio e o seu uso.

O uso do medidor de consumo de energia elétrica foi classificado como:

- Exclusivo do domicílio - quando o medidor ou relógio era de uso exclusivo para registro do consumo de energia elétrica do domicílio; ou
- De uso comum a mais de um domicílio - quando o medidor ou relógio registrava o consumo de energia de mais de um domicílio. Inclui-se, neste caso, o medidor ou relógio de uso comum do domicílio com um ou mais estabelecimentos.

A tabela 1 retrata a situação dos quatro municípios analisados quanto a existência de energia elétrica, de acordo com o Censo 2010.

Tabela 1: Situação dos domicílios subnormais quanto a existência de energia elétrica

SITUAÇÃO	DOMICÍLIO SUBNORMAL			
	Belford Roxo	Duque de Caxias	Nilópolis	Nova Iguaçu
Existência de energia elétrica de companhia distribuidora com medidor de uso exclusivo	6.524	10.331	728	1.964
Existência de energia elétrica de companhia distribuidora com medidor comum a mais de um domicílio	896	1622	27	195
Existência de energia elétrica de companhia distribuidora sem medidor	2.006	5.252	203	621
Existência de energia elétrica de companhia distribuidora	9.426	17.205	958	2.780
Existência de energia elétrica de outra fonte	965	1101	16	67
Existência de energia elétrica	10.391	18.306	974	2.847
Não tem energia elétrica	6	15	9	3
Total	10.397	18.321	983	2.850
Total de domicílios	145.743	269.577	50.535	248.321
Número de algerado subnormal	19	25	4	10

Fonte: Censo 2010 - IBGE

Anexo 3: Situação de energia elétrica dos domicílios subnormais

SITUAÇÃO	DOMICÍLIO SUBNORMAL						
	Itaguaí	Japeri	Mesquita	Paracambi	Queimados	São João de Meriti	Seropédica
Existência de energia elétrica de companhia distribuidora com medidor de uso exclusivo	1.882	212	129	1.604	899	10.369	1.407
Existência de energia elétrica de companhia distribuidora com medidor comum a mais de um domicílio	141	14	20	76	75	1484	211
Existência de energia elétrica de companhia distribuidora sem medidor	268	97	163	109	646	2.143	456
Existência de energia elétrica de companhia distribuidora	2.291	323	312	1.789	1.620	13.996	2.074
Existência de energia elétrica de outra fonte	75	348	8	6	2	447	41
Existência de energia elétrica	2.366	671	320	1.795	1.622	14.443	2.115
Não tem energia elétrica	4	0	0	8	2	10	4
Total	2.370	671	320	1.803	1.624	14.453	2.119
Total de domicílios	33.942	28.424	53.117	5.470	142.241	147.516	24.272
Número de algerado subnormal	13	5	2	5	4	43	7
Total de domicílio subnormal	2.370	671	320	1.803	1.624	14.456	2.119
Média de moradores por domicílio subnormal	3,43	3,54	3,32	3,08	3,34	3,27	3,23

Fonte: Censo 2010 - IBGE

Apêndice A: Aglomerados subnormais

É um conjunto constituído de, no mínimo, 51 unidades habitacionais (barracos, casas etc.) carentes, em sua maioria de serviços públicos essenciais, ocupando ou tendo ocupado, até período recente, terreno de propriedade alheia (pública ou particular) e estando dispostas, em geral, de forma desordenada e densa. A identificação dos aglomerados subnormais deve ser feita com base nos seguintes critérios:

- a) Ocupação ilegal da terra, ou seja, construção em terrenos de propriedade alheia (pública ou particular) no momento atual ou em período recente (obtenção do título de propriedade do terreno há 10 anos ou menos); e
- b) Possuírem pelo menos uma das seguintes características:
 - Urbanização fora dos padrões vigentes - refletido por vias de circulação estreitas e de alinhamento irregular, lotes de tamanhos e formas desiguais e construções não regularizadas por órgãos públicos; ou
 - Precariedade de serviços públicos essenciais.

Os aglomerados subnormais podem se enquadrar, observados os critérios de padrões de urbanização e/ou de precariedade de serviços públicos essenciais, nas seguintes categorias: invasão, loteamento irregular ou clandestino, e áreas invadidas e loteamentos irregulares e clandestinos regularizados em período recente.

Apêndice B: Teste de Wilcoxon

O teste de Wilcoxon pareado é utilizado para comparar se as médias de duas amostras são iguais no caso em que estas são dependentes.

$$\begin{cases} H_0: \mu_1 = \mu_2 \\ H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \end{cases}$$

Para isto, são consideradas duas amostras dependentes de tamanho n vindas de duas populações P_1 e P_2 , isto é, X_1, \dots, X_n e Y_1, \dots, Y_n .

Neste caso, há na realidade, uma amostra de pares:

$$\{(X_1, Y_1), \dots, (X_n, Y_n)\}$$

Sendo $D_i = X_i - Y_i$, para $i = 1, 2, \dots, n$. Obtém-se a amostra D_1, D_2, \dots, D_n .

Calculada as diferenças, estas são classificadas em ordem crescente de seus valores absolutos e então são conferidos aos postos os sinais das diferenças. Aos postos com mesmo valor é atribuída a média dos mesmos.

Por fim, calcula-se a estatística teste:

$$Z = \frac{T - \frac{N(N+1)}{4}}{\sqrt{\frac{N(N+1)(2N+1)}{24}}}$$

$$\mu = \frac{N(N+1)}{4}$$

$$\sigma^2 = \frac{N(N+1)(2N+1)}{24}$$

E a um determinado nível de significância, conclui-se há ou não diferença significativa entre as médias testadas.

Apêndice C: Análise de variância (ANOVA)

A ANOVA divide a variabilidade em: variabilidade *Entre Grupos* e variabilidade *Dentro de Grupos*, e compara as duas.

Quanto maior for a variabilidade entre grupos comparada à variabilidade dentro de grupos, maior é a evidência de que existe variabilidade entre grupos, ou seja, médias diferentes.

Define-se a soma de quadrados total, SQT , como:

$$SQT = \sum (x_i - \bar{x})^2$$

calculada a partir de todos os dados, em que \bar{x} é a média amostral global.

Note que a estimativa usual de variância de uma amostra é:

$$s^2 = \frac{SQT}{n - 1}$$

E ainda, a soma de quadrados total, pode ser dividida em:

$$SQT = SQD + SQE$$

onde,

$$SQD = \sum_{gp1} (x_i - \bar{x}_1)^2 + \sum_{gp2} (x_i - \bar{x}_2)^2 + \sum_{gp3} (x_i - \bar{x}_3)^2 + \sum_{gp4} (x_i - \bar{x}_4)^2$$

e \bar{x}_k é a média amostral do grupo k e

$$SQE = n_1(\bar{x}_1 - \bar{x})^2 + n_2(\bar{x}_2 - \bar{x})^2 + n_3(\bar{x}_3 - \bar{x})^2 + n_4(\bar{x}_4 - \bar{x})^2$$

em que n_k é o tamanho amostral do grupo k .

SQD é utilizado para denotar soma de quadrados dentro de grupo e SQE para a soma de quadrado entre grupos.

Tendo separado a variabilidade, é possível mostrar que é razoável obter estimativas *independentes* da variância populacional comum σ^2 a partir destas duas quantidades. Elas são chamadas de valores quadrados médios, são obtidas através:

$$s_1^2 = \frac{SQE}{m-1}, \quad s_2^2 = \frac{SQD}{N-m}$$

em que m é o número de grupos, e N é o tamanho amostral total. Como estas estimativas de variância são construídas a partir de dois tipos diferentes de variabilidade, quanto mais elas diferirem, mais evidência existe de diferença nas médias.

A estatística de teste é

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2}$$

este valor deve ser comparado com uma distribuição F com $m-1$ e $N-m$ graus de liberdade para obter um p-valor.

É usual expressar os resultados de uma ANOVA numa tabela como:

Origem variação	$SQ's$	$GL's$	$SQM's$	Estatística teste
Entre populações	SQE	GL_1	$\frac{SQE}{m-1}$	$F_{observado} = \frac{s_1^2}{s_2^2}$
Dentro populações	SQD	GL_2	$\frac{SQD}{N-m}$	
Total	SQT	GL_t		

Apêndice D: Teste de Scheffé

Quando a análise de variância conduz à rejeição da hipótese nula, ou seja, existe diferença significativa entre as médias analisadas. É necessário realizar um teste para se descobrir entre quais médias se registram essas diferenças.

A vantagem do uso do teste de Scheffé é o uso dos próprios valores do quadro da ANOVA, além de poder ser usado no caso de amostras de tamanhos diferentes (COSTA NETO, 1977). Fato que torna o teste flexível e rigoroso.

Para verificar se existe diferença significativa entre as medias, calcula se:

$$|\bar{x}_i - \bar{x}_j| \geq \sqrt{(k - 1)F_{(\alpha-1)}} * \sqrt{MS_E \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)} \quad (1.1)$$

Sendo 1.1 verdadeiro conclui-se que há diferença entre o par analisado.