

Desenvolvimento de um algoritmo para estimar curvas de cargas de clientes de uma Concessionária de Energia Elétrica

José Aguinaldo Mendes Pinho¹, Reinaldo castro Souza¹, Maurício Nogueira Frota¹

¹ Programa de Pós-Graduação em Metrologia. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). Rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea, Rio de Janeiro, RJ - Brasil - 22451-900. jampinho@ibest.com.br, reinaldo@ele.puc-rio.br, mfrota@puc-rio.br

Resumo: O trabalho apresenta um modelo estatístico que permite a estimação da curva de carga por aparelhos (uso final) de clientes residenciais e comerciais atendidos na Baixa Tensão, considerando informações provenientes de duas fontes: PPHs (Pesquisa de Posses e Hábitos de Aparelhos Elétricos) e medições domiciliares através de aparelhos inteligentes.

Palavras chave: *Curvas de carga, PPHs, Medição, Uso Final.*

1. INTRODUÇÃO

Os clientes de uma concessionária de energia elétrica são classificados de acordo com o nível de tensão em que são atendidos em 3 grandes categorias: BT (Baixa Tensão), MT (Média Tensão) e AT (Alta Tensão). Seus respectivos consumos são medidos de duas formas: i) Medidores convencionais de energia para os consumidores BT (kWh consumido no mês); ii) Medidores de massa da energia (kWh consumido e kW de demanda) para os consumidores MT e BT.

No caso (i) só é possível conhecer o consumo total acumulado num período, geralmente 1 mês, enquanto no caso (ii) é possível obter a curva de carga diária do consumidor, visto que o medidor fornece o consumo em intervalos de 5 a 10 minutos de intervalo.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é estabelecer a forma de obtenção das curvas de carga diárias de consumidores atendidos na BT de maneira a dotar as concessionárias de informações sob o uso de energia consumida por esta categoria de clientes em seus estabelecimentos.

Ainda dentro destes objetivos está o desafio de desenvolver um algoritmo que permita a estimação destas curvas de carga por “uso final”, ou seja, por aparelho.

3. FORMA DE ESTIMAÇÃO

Para os consumidores BT existem basicamente 2 formas de se obter as curvas de carga por uso final. A primeira delas é conhecida na literatura como PPHs (Pesquisa de Posses e Hábitos) de uso de energia elétrica. Numa PPH faz-se uma auditoria das posses e hábitos de uso diário de cada aparelho elétrico de um

estabelecimento (lâmpada, chuveiro, ar condicionado, refrigeradores etc.), incluindo informações das potências nominais destes aparelhos. A partir destas informações, constrói-se a curva de carga de cada aparelho e a adição destas, resulta na curva de carga diária do consumidor. A Figura 1 ilustra a curva de carga global de um cliente residencial de uma concessionária do sudeste brasileiro, obtida pela PPHs.

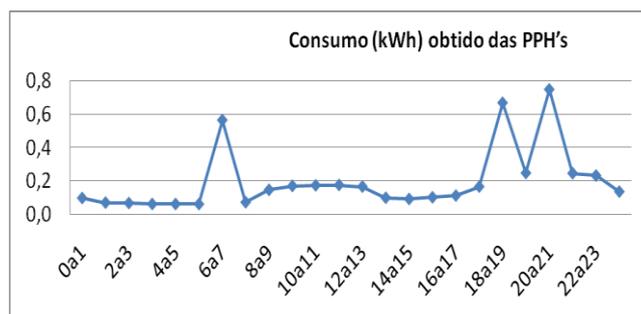


Fig. 1. Curva de carga global obtida da PPHs

Outra forma, bem mais precisa que a anterior, seria através de medição direta do consumo através de medidores com memória de massa que registram o consumo em intervalos curtos de tempo (5, 10 e 15 minutos), permitindo assim a estimação acurada do consumo. Estes aparelhos podem registrar somente o consumo total. Na Figura 2 o mesmo cliente da PPH's acima teve seu consumo medido por um destes aparelhos por 7 dias consecutivos, resultando na curva de carga real.

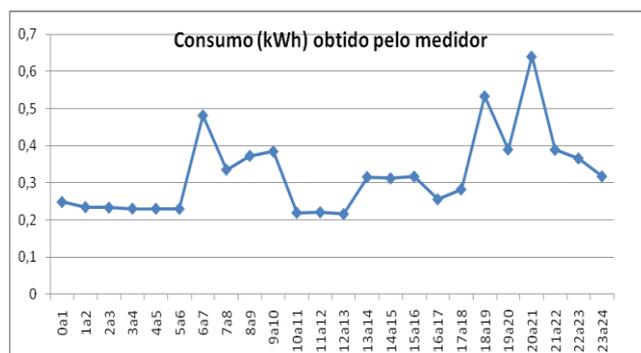


Fig. 2. Curva de carga global obtida do medidor

Por fim, este mesmo cliente tem a seguinte configuração de sua curva de carga por uso final, conforme mostrado na figura 3.

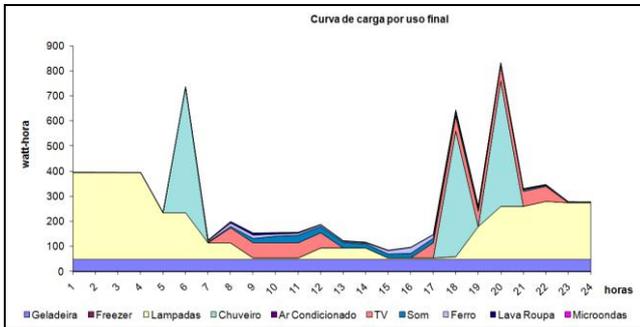


Fig. 3. Curva de carga por Uso final

A forma mais precisa e de maior custo de efetuar estas medições são aquelas onde o consumo individual por cada aparelho é medido e gravado em memória de massa. Neste procedimento, são medidos os consumos individuais de cada uso final existente no domicílio. Este tipo de medidor, desenvolvido pelo CEPEL para o PROCEL/Eletrobrás, é conhecido como “medidor não-intrusivo” e está em fase final de teste pelo CEPEL, e utiliza um algoritmo baseado em redes neurais artificiais para reconhecimento de padrões no transiente de corrente provocado pelas ações de liga e/ou desliga dos aparelhos.

4. PPH: Conceitos Básicos

O instrumento de coleta de dados para a classe residencial é composto por seis módulos:

1. Identificação do entrevistado e das pessoas do domicílio – dados demográficos
2. Caracterização física da edificação
3. Informações sobre o fornecimento de energia elétrica pela concessionária
4. Posses e Hábitos de Uso dos equipamentos e aparelhos elétricos
 - a. Iluminação
 - b. Refrigerador
 - c. Freezer
 - d. Condicionador de ar
 - e. Televisão
 - f. Outros Eletrodomésticos
 - g. Aquecimento de água para banho
5. Dados Sócio-econômicos
6. Conservação de Energia – consciência e hábitos

A descrição detalhada de cada um desses módulos é apresentada a seguir.

4.1. Identificação do entrevistado e das pessoas do domicílio – dados demográficos

Esse primeiro módulo tem como objetivo classificar o entrevistado e os moradores do

domicílio de acordo com a idade, nível de instrução e localização geográfica para, posteriormente, em conjunto com os dados sócio econômicos do questionário e de fontes como IBGE, estabelecer uma relação e correções de renda e consumo.

4.2. Caracterização física da edificação

Essas informações permitem identificar alguns dos materiais utilizados na construção do imóvel, suas características básicas estruturais como os tipos de paredes e forros entre outros para que seja possível avaliar as possíveis influências dos materiais e características físicas da moradia no consumo de energia elétrica dos domicílios.

4.3. Informações sobre o fornecimento de energia elétrica

Esse é um módulo de interesse específico para as concessionárias que tem como finalidade avaliar a qualidade do fornecimento da energia e outras questões de interesse particular.

4.4. Posses e Hábitos de Uso dos equipamentos e aparelhos elétricos

Esse é o principal tópico do instrumento de coleta de dados e está dividido em sete partes. As cinco primeiras buscam identificar os perfis de uso dos principais aparelhos elétricos de um domicílio, que são: lâmpadas (iluminação), refrigerador, freezer, condicionador de ar e TV. A sexta parte engloba os outros aparelhos de menor consumo, como aparelhos de som, máquina de lavar roupa, ferro de passar roupa entre outros. A sétima parte identifica o tipo de aquecimento de água e se há ou não a utilização do chuveiro elétrico.

- a. O item de iluminação coleta informações sobre os tipos de lâmpadas usadas, quantidades, suas potências, localização no domicílio e o período em que são usadas. (Item 4 do questionário)
- b. O levantamento de informações sobre o uso de refrigeradores identifica o tipo de refrigerador existente (número de portas, *frost free*, etc) a idade, quantidade, sua capacidade e intensidade de uso.
- c. Para o freezer são obtidas as mesmas informações levantadas para os refrigeradores.

- d. Sobre os condicionadores de ar são coletadas informações sobre quantidade e tipo dos aparelhos, localização no domicílio, capacidade em BTU/h, intensidade de uso e o período de em são usados em função da época do ano, se possuem ou não standby e a idade do equipamento.
- e. Para os aparelhos de TV são identificados a quantidade existente por domicílio, o tipo de tela/aparelho, o tamanho, a idade, se possuem ou não standby, a intensidade de uso e o período de tempo que são utilizados.
- f. No caso dos outros aparelhos são coletadas as informações de posse e hábitos dos seguintes equipamentos:

Tabela 01. Outros aparelhos cujas informações de posse e hábito de uso são coletadas no campo

APARELHO	APARELHO
1. APARELHO DE SOM	20. LIQUIDIFICADOR
2. RÁDIO ELÉTRICO	21. GRILL
3. CAFETEIRA ELÉTRICA	22. TORRADEIRA ELÉTRICA
4. COMPUTADOR	23. FERRO DE PASSAR
5. NOTEBOOK /LAPTOP	24. PRANCHA ALISADORA (Cabelo)
6. ROTEADOR DE REDE SEM FIO	25. SECADOR DE CABELO
7. MODEM (Internet)	26. ENCRADERA
8. IMPRESSORA	27. ASPIRADOR DE PÓ
9. FORNO ELÉTRICO	28. HIDROMASSAGEM
10. FORNO MICROONDAS	29. VAPORETTO
11. PANELA ELÉTRICA	30. BOMBA D'ÁGUA
12. EXAUSTOR	31. TORNEIRA ÉLET.
13. VENTILADOR DE TETO	32. MÁQUINA DE COSTURA ÉLET.
14. VENTILADOR /CIRCULADOR	33. LAVA LOUÇA
15. DVD /BLU RAY	34. LAVA ROUPA
16. VIDEO CASSETE	35. TANQUINHO
17. VIDEO GAME	36. SECADORA DE ROUPA
18. TV / ASSINATURA (aparelho)	37. AQUECEDOR DE AMBIENTE
19. BATEDEIRA	38. BEBEDOURO ELÉTRICO

Essas informações contemplam quantidade de aparelhos no domicílio, tempo de uso diário, intensidade de uso, horários em que são utilizados e se possuem ou não standby

- g. Embora o chuveiro elétrico seja um dos principais aparelhos elétricos para aquecimento de água, dependendo da localização geográfica, nem sempre ele

é utilizado. Em algumas situações a água simplesmente não é aquecida, em outras são utilizados sistemas alternativos, como o aquecimento a gás ou solar. Sendo assim, nesse item, busca-se em primeiro lugar identificar o tipo de aquecimento de água que é utilizado e no caso de ser o chuveiro elétrico, a quantidade, o tipo, a potência, o número de banhos diários, o tempo de uso, a hora do dia em que são utilizados e a intensidade do aquecimento (inverno/verão) em função da época do ano.

4.5. Dados sócio-econômicos

As informações obtidas nesse módulo possibilitam a identificação da renda domiciliar, do padrão de acabamento do domicílio, se são realizadas atividades geradoras de renda e os equipamentos elétricos utilizados para esse fim. Com as informações de renda é possível estabelecer a relação entre e renda e consumo de energia.

4.6 Descrição da metodologia para criação do plano amostral

Os parâmetros básicos para proposição do plano amostral do estudo determinam como deve ser extraída a amostra, ou seja: os domicílios onde serão aplicados os questionários.

A amostra da pesquisa para o segmento residencial é obtida em 5 etapas:

- Etapa 1: Definição do tamanho da amostra da pesquisa
- Etapa 2: Levantamento de informações da concessionária de energia elétrica
- Etapa 3: Ponderação e distribuição da amostra por polo regional
- Etapa 4: Seleção dos municípios dentro de cada polo regional e definição de amostra dos mesmos
- Etapa 5: Distribuição das amostras nas faixas de consumo estratificadas

Definição do tamanho da amostra da pesquisa

A amostra deve ser dimensionada visando estimar uma proporção P, desconhecida, fixando-se uma precisão mínima de 4% com nível de confiança de 95%. A amostra resultante possibilita o fornecimento de estimativas das proporções da população que possuem determinados atributos, com nível de confiança de 95%.

A fórmula utilizada, foi portanto,

$$d = z \sqrt{\frac{PQ}{n}}$$

em que,

- $d = 4$ é o erro padrão máximo admitido
- $z = 1,96$ é o valor da normal correspondente a um nível de confiança de 95%
- P é a proporção desconhecida e $Q = 100 - P$. Para $P=50\%$ teríamos:

$$4 = 1,96 \sqrt{\frac{50 \cdot 50}{n}}$$

O que nos leva a um valor de $n = 600,25$.

Tabela 02. Amostra sugerida de acordo com margem de erro para intervalo de confiança 95%

Margem de erro	Amostra sugerida
~2%	2400
~3%	1100
~4%	600

Levantamento de informações da concessionária de energia

Consiste no levantamento do número de consumidores e consumo total (valores médios anuais) por faixa de consumo de energia em kWh/mês. Estes dados devem ser levantados por município e polo regional nas seguintes faixas já determinadas: 0 a 80, 81 a 150, 151 a 220, 221 a 400 e acima de 400.

Estas informações devem ser fornecidas em uma planilha de dados. Resultando ao final em duas tabelas de acordo com os exemplos a seguir:

Tabela 03. Número de consumidores de cada município estratificados por faixa de consumo de energia

NÚMERO DE CONSUMIDORES							
Polos	Municípios	Faixa de consumo (em kWh)					Total
		0 a 80	81 a 150	151 a 220	221 a 400	acima de 400	
Polo 1	Mun 1	"	"	"	"	"	"
	Mun 2	"	"	"	"	"	"
	...	"	"	"	"	"	"
	Mun n	"	"	"	"	"	"
	Tot polo 1	"	"	"	"	"	"
Polo 2	Mun 1	"	"	"	"	"	"
	Mun 2	"	"	"	"	"	"
	...	"	"	"	"	"	"
	Mun n	"	"	"	"	"	"
	Tot polo 2	"	"	"	"	"	"
...
Polo n	Mun 1	"	"	"	"	"	"
	Mun 2	"	"	"	"	"	"
	...	"	"	"	"	"	"
	Mun n	"	"	"	"	"	"
	Tot polo n	"	"	"	"	"	"
Total Geral		"	"	"	"	"	"

Tabela 04. Consumo total de cada município estratificados por faixa de consumo de energia

CONSUMO TOTAL							
Polos	Municípios	Faixa de consumo (em kWh)					Total
		0 a 80	81 a 150	151 a 220	221 a 400	acima de 400	
Polo 1	Município 1	"	"	"	"	"	"
	Município 2	"	"	"	"	"	"
	...	"	"	"	"	"	"
	Município n	"	"	"	"	"	"
	Total polo 1	"	"	"	"	"	"
Polo 2	Município 1	"	"	"	"	"	"
	Município 2	"	"	"	"	"	"
	...	"	"	"	"	"	"
	Município n	"	"	"	"	"	"
	Total polo 2	"	"	"	"	"	"
...
Polo n	Município 1	"	"	"	"	"	"
	Município 2	"	"	"	"	"	"
	...	"	"	"	"	"	"
	Município n	"	"	"	"	"	"
	Total polo n	"	"	"	"	"	"
Total Geral		"	"	"	"	"	"

5. ESTUDO DE CASO

Este artigo faz parte de um projeto de P&D de duas concessionárias do grupo Endesa (Ampla e Coelce) denominado "Usos de Energia", iniciado em julho de 2010, tendo como objetivo principal o estabelecimento de um procedimento ótimo de geração de curvas de cargas por uso final utilizando as informações de posses e hábitos vias PPHs. O projeto está em pleno desenvolvimento e tem prazo de conclusão até fevereiro de 2012.

Para cada concessionária foi gerada uma amostra de 2500 clientes BT, estratificados por faixa de consumo e regiões (9 pólos na Ampla e 8 pólos na Coelce), sendo 2100 residenciais e 400 comerciais/indústrias. Em cada um destes 5000 clientes será aplicada PPHs e, numa sub-amostra de 500 clientes (250 em cada concessionária) está sendo feita uma medição por um medidor com memória de massa, bem como pelo medidor não-introsivo mencionado acima. Estas medições proporcionarão a geração de curvas precisas que, comparadas com as estimadas pela PPHs, fornecerão os subsídios para acurar estas curvas de carga por uso final.

A comparação das duas curvas (PPHs e Medidas) permitirá a estimação dos coeficientes de ajustes $\alpha_{j,t}$; $j = 1, 2, \dots, k$, onde k é o número de usos finais considerados (envoltória da curva de carga) e $t = 1, 2, \dots, 24$ h.

O projeto foi iniciado em julho/2010, e no estágio atual já foram concluídas as PPHs nas duas áreas de concessão e as curvas de carga por declaração geradas. Estas informações estão também alimentando um sistema computacional amigável que permite não só a estimação destas curvas, como também a realização de simulações de consumo através de cenários de usos finais. Simultaneamente, foram selecionadas as sub-amostras que terão seus consumos medidos por medidores eletrônicos.

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho descreve pesquisa que resultará na obtenção de coeficientes de ajustes horários $\alpha_{j,t}$; $j= 1, 2, \dots, k$; $t=1, 2, \dots, 24$ h, para a obtenção de curvas de carga mais precisas geradas pelas auditorias de PPHs. Foi desenvolvido em linguagem DELPHI um sistema computacional chamado SINPHA (Sistema de Informação de Posses e Hábitos...) para a geração automática destas curvas de cargas pelas PPHs ao nível de consumidor individual e agregados regionais. Este sistema já está em uso e recebe as informações de campo para gerar as curvas por uso final na forma da Figura 3.

REFERÊNCIAS

- [1] Ernoult, M. & Meslier, F. Analyse et prévision de la demande d'énergie électrique. *Révue Generale d'Électricité*, no. 4/82, pp. 257-278, avril, 1982.
- [2] Hippert, H.S.; Pedreira, C.E. & Souza, R.C. Neural Networks for Short-term Load Forecasting: A Review and Evaluation. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 16, Issue 1, Feb. 2001.
- [3] SOUZA, R.C. "Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Aparelhos Elétricos para a AMPLA, RJ, capital e interior - Relatório Técnico para os segmentos residencial/industrial/comercial. Publicação do PROCEL/Eletrobrás (Ago/06).
- [4] SOUZA, R.C., DÁVILA, A.O.C., PINHO, J.A.M., QUEIROZ, P.V.S., CARVALHO, N.A.S., FROTA, M.N. "Um simulador de tarifas de energia elétrica para clientes de concessionárias brasileiras". XLII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Bento Gonçalves, RS, 30/8 a 03/9/2010.
- [5] SOUZA, R.C., PINHO, J.A.M., FROTA, M.N. "Estimativas de curvas de cargas de clientes residenciais por uso final via auditoria energética e medições". Encontro Regional de Pesquisa Operacional da Região Sudeste – ERPO/SOBRAPO – 12 a 16 de novembro de 2010 – a bordo do MSC Armonia.