



Silvana Vieira das Chagas

**Estimativas da curva de carga diária de chuveiros elétricos
através de medições e declarações da pesquisa de posses
e hábitos de consumo**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau 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. Carlos Roberto Hall Barbosa

Rio de Janeiro
Abril de 2015



Silvana Vieira das Chagas

**Estimativas da curva de carga diária de chuveiros elétricos
através de medições e declarações da pesquisa de posses e
hábitos de consumo**

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

Prof. Reinaldo Castro Souza

Orientador

Programa de Pós-Graduação em Metrologia - PUC-Rio

Prof. Carlos Roberto Hall Barbosa

Co-Orientador

Programa de Pós-Graduação em Metrologia - PUC-Rio

Prof. Rodrigo Flora Calili

Programa de Pós-Graduação em Metrologia - PUC-Rio

Dra. Gheisa Roberta Telles Esteves

IICA – Eletrobrás

Prof. Jose Eugênio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 09 de abril de 2015

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

Silvana Vieira das Chagas

Formada em Estatística pela Escola Nacional de Ciências Estatísticas, Rio de Janeiro, Brasil em 2009.

Ficha Catalográfica

Silvana Vieira das Chagas

Estimativas da curva de carga diária de chuveiros elétricos através de medições e declarações da pesquisa de posses e hábitos de consumo / Silvana Vieira das Chagas; orientador: Reinaldo Castro Souza; co-orientador: Carlos Roberto Hall Barbosa. – 2015.

76 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, 2015.

Inclui bibliografia

1. Metrologia – Teses. 2. Metrologia. 3. Pesquisa de Posses e Hábitos de Consumo (PPH). 4. Curva de Carga Diária. 5. Chuveiro Elétrico. 6. Regressão Linear Simples. 7. Redes Neurais Artificiais. I. Souza, Reinaldo Castro. II. Barbosa, Carlos Roberto 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

Este trabalho é dedicado à minha família e a todos os mestres que passaram em
minha vida, pois sem eles eu não venceria mais essa etapa.

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus pelas oportunidades que me oferece, nos momentos mais oportunos ao longo da minha existência.

À CAPES, ao CNPq e à PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Aos meus orientadores, Prof. Reinaldo Castro Souza e Prof. Carlos Roberto Hall Barbosa, pelo auxílio e dedicação.

Aos professores participantes da banca examinadora, Dr^a. Gheisa Roberta Telles Esteves e Dr^o Rodrigo Calili, Flora por contribuírem com o aperfeiçoamento deste trabalho.

Aos professores e funcionários da Pós-Graduação em Metrologia; pelos ensinamentos, apoio técnico e administrativo no decorrer do curso, - em especial ao Prof^o Maurício Frota; pelos incentivos que me concedeu ao longo do mestrado.

Ao Wesley de Castro Fagundes, por participar ativamente na coleta dos dados da PPH; instalações dos medidores nas residências, - e pelas palavras de estímulo.

Aos meus amigos e aos demais participantes, que proporcionaram a realização deste trabalho; abrindo as portas de suas casas não só por mim, mas em nome da educação e da pesquisa tão importantes em nosso país; que é carente desse tipo de incentivo.

Ao Carlos Alberto Pereira Santos por colaborar com o seu amplo conhecimento da língua portuguesa.

Aos meus pais, Antonio e Alice (em memória); às minhas irmãs (Cristiane e Patrícia); e aos meus sobrinhos (Larissa e Vítor), - por serem a base da minha vida e por estarem presentes em todos os momentos, mesmo nos mais difíceis.

Aos amigos que adquiri ao longo do mestrado, em especial ao Marco Antônio da Cunha Ferreira, que além dos comoventes incentivos e apoios durante o curso, teve uma grande contribuição para o desenvolvimento da parte de redes neurais da minha dissertação, com seus sólidos conhecimentos da técnica e do uso do Matlab.

Agradeço a todos que estão presentes em minha vida mesmo que indiretamente.

Resumo

Chagas, Silvana Vieira das; Souza, Reinaldo Castro (Orientador); Barbosa, Carlos Roberto Hall (Co-Orientador). **Estimativas da curva de carga diária de chuveiros elétricos através de medições e declarações da pesquisa de posses e hábitos de consumo**. Rio de Janeiro, 2015. 76p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

O objetivo desta dissertação é desenvolver modelos matemáticos que permitam estimar o tempo médio dos banhos com a utilização de chuveiros elétricos e a curva de carga desses aparelhos, considerando as informações das Pesquisas de Posses e Hábitos de Consumo (PPH) e medições realizadas com o auxílio de medidores eletrônicos com memória de massa, em residências com chuveiros elétricos. A motivação do estudo advém de uma exigência da ANEEL que determina que as distribuidoras de energia elétrica realizem a cada 2 (dois) ciclos de revisão tarifária a PPH em suas unidades consumidoras. Os métodos empregados foram: estatística descritiva (para a obtenção do tempo médio de banho); aplicação da regressão linear e de redes neurais (para corrigir a curva de carga horária obtida com a PPH, com base nos dados das medições). Os resultados foram promissores, pois o tempo médio de banho se encontra próximo às estimativas do PROCEL (que são de 8 (oito) a 10 (dez) minutos) e a curva de carga estimada se encontra próxima à da medição, sendo esta última o consumo real. Conclui-se que a abordagem desta dissertação resultou em melhorias na estimativa dos coeficientes de ajustes e que o método de redes neurais foi relativamente melhor que o método de regressão linear simples.

Palavras-Chave

Metrologia; Pesquisa de Posses e Hábitos de Consumo (PPH); Curva de Carga Diária; Chuveiro Elétrico; Regressão Linear Simples; Redes Neurais Artificiais.

Abstract

Chagas, Silvana Vieira das; Souza, Reinaldo Castro (Advisor); Barbosa, Carlos Roberto Hall (Co-Advisor). **Estimating the daily electric shower load curve through measurements and end users ownership and usage surveys**. Rio de Janeiro, 2015. 76p. MSc. Dissertation – Programa de Pós-Graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

The aim of this dissertation is to develop mathematical models that would allow the estimation of the average time of baths using electric showers and the load shape curves for these devices, obtained from two sources: the information of Electrical Appliances Ownership Survey and measurements of electric shower usage in households carried out with electronic meters with storage capacity. The motivation stems from a requirement of ANEEL that determines that the electric energy distributors periodically should hold a PPH in their consumer units. Concerning the average time of shower baths, the last PPH survey conducted by PROCEL in 2005 estimated this time between 8 (eight) and 10 (ten) minutes. The methods employed in this work were: descriptive statistics (for obtaining the average bath time); application of linear regression and neural networks (to estimate the correction factors to approximate the load shape curves obtained by PPH to those obtained by measurements). The obtained results are rather promising due to the following reasons: the average time of bath is next to the estimates of PROCEL and the corrected load shape curve estimated is quite close to the measured curve, the latter being the actual consumption. This approach has resulted in improvements in the estimation of the coefficients of adjustments and the method of neural networks was relatively better than the simple linear regression method.

Keywords

Metrology; Electrical Appliances Ownership Survey; Daily load shape; Electric Shower; Simple Linear Regression; Artificial Neural Networks.

Sumário

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Introdução | 13 |
| 1.1 | Contexto | 15 |
| 1.2 | Justificativa | 16 |
| 1.3 | Objetivos | 17 |
| 1.4 | Estrutura da dissertação | 17 |
| 2 | Pesquisa de Posses e Hábitos de consumo (PPH) | 19 |
| 2.1 | Histórico da PPH | 20 |
| 2.2 | Metodologia aplicada à PPH | 22 |
| 2.3 | Coleta dos dados da PPH | 24 |
| 2.4 | Estudo de caso do consumo declarado do chuveiro elétrico | 27 |
| 3 | Medição dos Chuveiros Elétricos | 29 |
| 3.1 | Estudo de caso do consumo real do chuveiro elétrico | 34 |
| 3.2 | Medidores Eletrônicos | 36 |
| 4 | Metodologia de Correção das Curvas de Cargas | 39 |
| 4.1 | Regressão linear | 40 |
| 4.2 | Redes Neurais Artificiais | 43 |
| 5 | Resultados Experimentais | 49 |
| 5.1 | Estimação do tempo médio de banho | 50 |
| 5.2 | Estimação dos coeficientes de ajuste por Regressão linear simples | 53 |
| 5.3 | Correção dos dados da PPH por Redes Neurais | 58 |
| 5.4 | Comparação da aplicação da técnica de Regressão linear simples e da Rede Neural | 61 |
| 6 | Conclusões e Recomendações | 65 |

7 Referência Bibliográfica 68

Anexo I – Questionário de Coleta de Dados da PPH 72

Lista de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Áreas de abrangência das concessionárias de distribuição de energia elétrica | 21 |
| Figura 2 – Esquema representativo da PPH | 22 |
| Figura 3 – Curva de carga por uso final | 24 |
| Figura 4 – Percentual do número de banhos declarados por período do dia | 26 |
| Figura 5 – Consumo final da carga residencial da região Sudeste | 30 |
| Figura 6 – Consumo final da carga residencial da região Sudeste | 31 |
| Figura 7 – Consumo final da carga residencial da região Sudeste | 31 |
| Figura 8 – Funcionamento do Recuperador de calor | 33 |
| Figura 9 – Medidor Powersave | 37 |
| Figura 10 – Ilustração do medidor Powersave para captar o consumo de energia do chuveiro elétrico | 38 |
| Figura 11 – Curvas de carga mensal do consumo médio do chuveiro elétrico por hora | 39 |
| Figura 12 – Representação operacional da rede neural | 44 |
| Figura 13 – Modelo geral de um neurônio artificial | 45 |
| Figura 14 – Função de ativação tangsig | 46 |
| Figura 15 – Função de ativação linear | 46 |
| Figura 16 – Ilustração da estrutura geral da rede neural | 48 |
| Figura 17 – Consumo médio mensal em kWh do chuveiro elétrico por domicílio | 50 |
| Figura 18 – Coeficiente de correlação entre os dados da PPH e da medição por hora | 54 |
| Figura 19 – Coeficiente de correlação entre os dados da PPH e da medição por grupo horário | 57 |
| Figura 20 – Curva de carga horária mensal em kWh do chuveiro elétrico | 58 |
| Figura 21 – Consumo em kWh do chuveiro elétrico por observação | 59 |
| Figura 22 – Curva de carga horária mensal do chuveiro elétrico | 60 |
| Figura 23 – Comparação da curva de carga estimada | 61 |
| Figura 24 – Comportamento da PPH corrigida conforme a função da Rede Neural | 64 |

Lista de tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Classificação dos clientes residenciais por faixa de consumo de energia | 25 |
| Tabela 2 – Número de domicílios por posição da chave do chuveiro elétrico | 26 |
| Tabela 3 – Número de domicílios por potência do chuveiro elétrico | 27 |
| Tabela 4 – Evolução do consumo unitário de eletricidade do estoque de equipamentos nos domicílios | 29 |
| Tabela 5 – Aumento anual de eficiência dos equipamentos | 32 |
| Tabela 6 – Consumo em kWh por potência e tempo em uso e potência | 35 |
| Tabela 7 – Estimativa do tempo médio de banho da PPH | 51 |
| Tabela 8 – Estimativa do tempo médio de banho da medição | 53 |
| Tabela 9 – Estimativa dos coeficientes angulares por hora | 56 |
| Tabela 10 – Estimativa dos coeficientes angulares por grupo horário | 57 |
| Tabela 11 – Fatores horários de correção da PPH | 63 |

Lista de abreviaturas

| | |
|-----------|---|
| ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica |
| BNDES | Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social |
| BT | Baixa Tensão |
| COELCE | Companhia Energética do Ceará |
| CONPET | Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural |
| EPE | Empresa de Pesquisa Energética |
| EQM | Erro Quadrático Médio |
| GLD | Gerenciamento pelo lado da demanda |
| INMETRO | Instituto Nacional de Metrologia |
| MME | Ministério de Minas e Energia |
| P&D | Pesquisa e Desenvolvimento |
| PBE | Programa Brasileiro de Etiquetagem |
| PEE | Programa de Eficiência Energética |
| Pós – MQI | Programa de Pós-Graduação em Metrologia para Qualidade e Inovação |
| PPH | Pesquisa de Posse e Hábitos de Consumo |
| PROCEL | Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica |
| PRODIST | Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional |
| PROESCO | Programa de Apoio a projetos de eficiência energética |
| RNA | Redes Neurais Artificiais |
| SINPHA | Sistema de Informações de Posses de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo |

1 Introdução

A eficiência no uso da energia entrou na agenda mundial em 1970 com os choques no preço do petróleo. Nesta década, os custos das reservas de petróleo se tornam crescentes do ponto de vista econômico e ambiental. Imediatamente se reconheceu que um mesmo serviço poderia ser obtido com menor gasto de energia e, conseqüentemente, com menores impactos econômicos, ambientais, sociais e culturais (Ministério de Minas e Energia, 2014b).

No mesmo período, o Brasil iniciou à construção de diversos empreendimentos hidrelétricos, havendo excedente de energia no mercado, e nenhuma preocupação iminente quanto ao uso de chuveiros elétricos ou outros aparelhos consumidores de energia elétrica (Ministério de Minas e Energia, 2011).

Conforme os dados divulgados pelo Balanço Energético Nacional para o ano base de 2013 (Ministério de Minas e Energia, 2014a), a matriz elétrica brasileira é predominantemente renovável e representa 79,3% da produção nacional mais as importações. Dentre as fontes renováveis, destaca-se a energia hidráulica, que corresponde a 64,9% da oferta interna.

Em relação ao consumo de energia, o setor residencial apresentou crescimento de 6,2% e o setor industrial registrou uma ligeira alta de 0,2% sobre o consumo do ano anterior.

Um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico e da qualidade de vida de um país está relacionado ao consumo de energia. Ele reflete tanto o ritmo de atividade dos setores industrial, comercial e de serviços, quanto a capacidade da população de adquirir bens e serviços tecnologicamente mais avançados, como automóveis, eletrodomésticos e eletroeletrônicos (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2008a).

Contudo, o uso desmedido da eletricidade promove o aumento do efeito estufa que ocasiona o aquecimento global, provocando as alterações climáticas que afetam todo o ecossistema, trazendo diversos danos ao planeta.

Assim, o Brasil, em especial, segundo o (Ministério de Minas e Energia, 2010), criou diversas iniciativas que vêm sendo empreendidas há mais de 20 (vinte) anos para estimular o uso racional do consumo de energia. Destacam-se:

- **Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE)**, coordenado pelo INMETRO, que colabora para o uso consciente de energia por meio da etiqueta de conservação de energia que vem nos eletrodomésticos (Ministério de Minas e Energia, 2011);
- **Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL)**, cuja coordenação executiva está a cargo da Eletrobrás, tendo por objetivo combater o desperdício e promover o uso consciente da energia elétrica (Carmo, 2014);
- **Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET)**, cuja coordenação executiva é de responsabilidade da Petrobras e tem por objetivo promover ações para combater o desperdício das fontes de energia não renováveis (Conpet, 2012).
- **Programa de eficiência energética (PEE)**, regulamentado pela ANEEL, que determina que as empresas de energia elétrica devem aplicar um percentual mínimo da receita operacional líquida em PEE. O objetivo deste programa é demonstrar à sociedade a importância e a viabilidade econômica de ações de combate ao desperdício de energia elétrica e de melhoria da eficiência energética de equipamentos, processos e usos finais de energia (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2008b);
- **Programa de Apoio a projetos de eficiência energética (PROESCO)**, programa do BNDES que criou uma linha de financiamento específica para apoio a projetos de eficiência energética (Limberger, 2014).

Segundo Souza *et al.* (2009), a finalidade dos programas de eficiência energética no país é demonstrar à sociedade a importância e a viabilidade econômica de ações de combate ao desperdício de energia elétrica e de melhoria da eficiência energética de equipamentos, processos e usos finais de energia. Para isso, busca-se maximizar os benefícios públicos da energia economizada e da demanda evitada no âmbito desses programas. Busca-se, enfim, a transformação do mercado de energia elétrica, estimulando o desenvolvimento de novas tecnologias e a criação de hábitos racionais de uso da energia elétrica.

O controle de equipamentos de uso final é uma das áreas com desenvolvimento mais ativo na tecnologia de gerenciamento pelo lado da demanda (GLD). O principal desenvolvimento se dá no segmento residencial. Um

exemplo direto de aplicação desta alternativa para o Brasil seria o controle do uso do chuveiro elétrico (Custódio, 2013).

A pesquisa de Posses e Hábitos de Consumo e as Medições eletrônicas nas residências têm por finalidade mapear a curva de carga dos equipamentos elétricos, assim possui uma influência indireta aos programas de GLD através da aplicação de medidas para a modificação dos hábitos de uso nas residências.

1.1 Contexto

A ANEEL, conforme a resolução de nº 395 de 15/09/2009, regulamenta que as distribuidoras de energia elétrica realizem pesquisa de posses e hábitos de consumo (PPH) de equipamentos elétricos, a cada 2 (dois) ciclos de revisão tarifária periódica para os seus clientes de alta, média e baixa tensão (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2009).

As concessionárias de energia elétrica, a fim de atender às exigências do órgão regulador, realizam a PPH para os seus consumidores da forma que consideram mais conveniente, porque não há uma metodologia padronizada pela ANEEL para a execução da PPH, uma vez que a agência reguladora não regulamentou um método padrão de pesquisa para as distribuidoras de energia replicarem aos seus respectivos clientes.

A Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), juntamente como Grupo Endesa, desenvolveu um projeto de P&D, cujo objetivo é instituir uma metodologia para a execução da PPH, a fim de obter estimativas mais exatas da curva de carga de consumo dos eletrodomésticos, em relação à curva obtida somente com as declarações dos usuários sobre o uso dos aparelhos elétricos nos domicílios.

Com base neste projeto de P&D, foi desenvolvida no próprio PósMQI a dissertação de José Aguinaldo Mendes Pinho (Pinho, 2013), que tinha como principal objetivo estimar os fatores de correção dos principais aparelhos elétricos, por meio da medição eletrônica desses eletrodomésticos e da PPH. Contudo, observou-se que a metodologia empregada não foi adequada para o caso do chuveiro elétrico, pois as medições foram realizadas com medidores eletrônicos que foram programados para medir e armazenar o consumo de energia elétrica dos

equipamentos a cada 15 minutos. Além do medidor utilizado no chuveiro elétrico não ser adequado para este tipo de equipamento.

Assim, o tema proposto é uma extensão da dissertação mencionada, com o objetivo de propor uma nova metodologia de estimação de fatores de correção com o propósito de melhorar as estimativas das curvas de carga do chuveiro elétrico, considerando os dados declarados da PPH.

Os métodos utilizados para estimar a curva de carga corrigida do chuveiro elétrico, considerando os dados declarados da PPH numa amostra de domicílios que possuem este eletrodoméstico, foram a técnica de regressão linear simples e o de redes neurais que estão descritas de forma mais detalhada no capítulo 4.

1.2 Justificativa

A presente dissertação será de grande importância para o setor elétrico, visto que poderá trazer múltiplos benefícios para os diversos atores do setor elétrico brasileiro.

Para as distribuidoras de energia elétrica, as curvas corrigidas mostrarão com maior exatidão o consumo do chuveiro elétrico, melhorando as previsões totais de consumo, além de contribuir para a melhoria da qualidade da entrega de energia elétrica.

Essas empresas também poderão utilizar essas informações para incentivar programas de uso racional do chuveiro elétrico, podendo permitir a redução tarifária, e assim, contribuir para as políticas de gerenciamento pelo lado da demanda e a sustentabilidade do país.

Com um Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD) mais preciso, é possível incentivar o consumidor de baixa tensão a mudar de hábitos e reduzir consumo no horário de pico. Essas ações promoverão uma mudança no comportamento de consumo de energia, no qual o consumidor é motivado a escolher equipamentos com melhores níveis de eficiência energética. Desta forma, o consumidor assume, assim, o papel de gestor de seu consumo de energia elétrica (Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2012; Limberger, 2014).

Segundo Campos (2004), o chuveiro elétrico é o principal causador do horário de pico no Brasil. Assim, o Programa de GLD permite o deslocamento da

curva de carga de equipamento para os horários fora de pico, através de incentivos de redução tarifária. Além da utilização de *timer*, que é um dispositivo limitador de corrente.

1.3 Objetivos

O principal objetivo desta dissertação, é obter um método capaz de estimar o tempo médio dos banhos com a utilização de chuveiros elétricos, e obter métodos de correção das declarações de uso desses aparelhos nas Pesquisas de Posses e Hábitos de Consumo (PPH).

Para alcançar as metas descritas acima, é necessário o mapeamento do consumo de energia declarado pelo uso do chuveiro elétrico através da PPH, e da medição do consumo real de energia elétrica desses aparelhos, por meio do uso de medidores calibrados para captar o consumo de energia a cada 5 minutos.

Além disso, será necessário identificar métodos estatísticos para corrigir as declarações da PPH no caso desses aparelhos.

1.4 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está estruturada em 6 capítulos que estão brevemente detalhados abaixo.

O **Capítulo 1**, que contextualiza o tema principal do estudo, as justificativas de desenvolver este tema e quais os objetivos a serem alcançados.

O **Capítulo 2** aborda os conceitos da Pesquisa de Posse e Hábitos de consumo e relata sobre a metodologia utilizada para a aplicação da pesquisa na amostra selecionada. E, aborda o método para obter a curva de carga declarada do chuveiro elétrico.

Em seguida, o **Capítulo 3** discorre sobre os chuveiros elétricos, descrevendo como este eletrodoméstico foi disseminado na população brasileira, além de expor a importância de delinear os hábitos reais de uso desse aparelho. Também apresenta a metodologia de medição do consumo real de tais aparelhos.

O **Capítulo 4** contempla às metodologias aplicadas para a correção da curva de carga declarada do chuveiro elétrico. Os métodos que serão descritos são o de

regressão linear simples e o de redes neurais que irão contribuir para a correção da PPH.

Enquanto o **Capítulo 5** apresenta os resultados que foram alcançados nesta dissertação com a aplicação dos métodos descritos no Capítulo 4.

O **Capítulo 6** descreve as conclusões e as recomendações para trabalhos futuros.

2

Pesquisa de Posses e Hábitos de consumo (PPH)

A pesquisa de Posses e Hábitos de Consumo (PPH) é uma pesquisa declaratória; quantitativa, - que traça o perfil de utilização de equipamentos elétricos nos setores residencial, comercial e industrial, com o intuito de avaliar o mercado de eficiência energética. A PPH é basicamente uma auditoria dos equipamentos elétricos do consumidor (Pinho, 2013).

Segundo Limberger (2014), esta pesquisa funciona como um diagnóstico energético que proporciona a elaboração de uma previsão do perfil de carga de cada estabelecimento por meio da montagem de suas respectivas curvas de carga.

A PPH é um instrumento difundido dentro do setor de energia elétrica. As informações obtidas têm sido utilizadas principalmente pelas distribuidoras de energia elétrica e pelo MME (Ministério de Minas e Energia, 2011), a fim de conhecer o perfil dos consumidores, formular estratégias de investimento em eficiência energética, gerenciar projetos pelo lado da demanda e estabelecer políticas energéticas (Dantas, 2013).

Esta pesquisa permite que as distribuidoras de energia elétrica conheçam o perfil de consumo dos seus respectivos clientes por aparelho e por hora de uso. Com isso, é possível mapear a curva de carga horária dos consumidores e, assim, melhorar a qualidade de entrega da energia elétrica.

Contudo, a PPH é realizada por meio de declarações do consumidor sobre o uso de determinado equipamento, o que torna as estimativas de consumo inexatas e imprecisas. No caso específico dos chuveiros elétricos, os consumidores devem declarar informações, como: tempo médio de banho, hora de uso, número de banhos por dia, entre outras informações.

Assim, para diminuir os erros dessas estimativas é necessária a realização de medições em uma amostra de residências que se encontram dentro do plano amostral, a fim de obter fatores de correção que possam ser aplicados a toda a população, permitindo estimar uma curva de carga da PPH mais próxima da

realidade, pois supõe-se que existe uma uniformidade do consumo por aparelho, considerando o mesmo tempo de uso e potência do eletrodoméstico.

Embora não seja possível definir o nível de exatidão da estimativa de consumo obtida pela aplicação da pesquisa, a PPH é uma alternativa à previsão de carga, devido à dificuldade e ao alto custo de se obter o perfil de consumo por meio de medições nos estabelecimentos. Apesar da possibilidade de projeções e estimativas de consumo serem mais precisas quando obtidas por medições, estas não fornecem as informações de posses e hábitos obtidas por meio da pesquisa. Além disso, o custo de uma PPH é muito menor do que fazer medições por aparelho (Limberger, 2014).

O capítulo 3 descreve as medições que foram realizadas por meio de medidores eletrônicos, que medem e armazenam energia a cada 5 (cinco) minutos em uma amostra não representativa de 30 (trinta) domicílios que participaram da PPH.

2.1

Histórico da PPH

Em 1988, o PROCEL realizou a primeira PPH em âmbito nacional, sob a coordenação da Eletrobrás. A população alvo foi a classe residencial, contendo 10.818 consumidores, em 291 (duzentos e noventa e um) municípios de 23 (vinte e três) estados e o Distrito Federal, contando com a participação de 27 (vinte e sete) concessionárias.

A segunda Pesquisa de Posses e Hábitos de Consumo ocorreu nos anos de 1997 e 1998. A mesma foi executada pela PUC-Rio em parceria com o PROCEL, sob a coordenação da Eletrobrás. Novamente, o plano amostral só abrangeu a classe residencial, contendo 15.870 (quinze mil, oitocentos e setenta) consumidores de 15 (quinze) estados e o Distrito Federal, com a cooperação de 20 (vinte) concessionárias.

Nos anos de 2004 a 2006 foram contemplados 17 (dezessete) estados e o Distrito Federal, com a participação de 21 (vinte e uma) concessionárias. Neste período, foram entrevistados 14.442 (quatorze mil, quatrocentos e quarenta e dois) consumidores, sendo 9.847 (nove mil, oitocentos e quarenta e sete) do segmento

residencial. Nesta pesquisa, também foi incluída a classe comercial, industrial e os poderes públicos.

E, desde 2009, todas as distribuidoras de energia elétrica são obrigadas a realizar a PPH a cada 2 (dois) ciclos de revisão tarifárias para as unidades consumidoras que se encontram dentro de suas respectivas áreas de concessão. Esta decisão foi decretada pela ANEEL conforme a Resolução nº 395 (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2009; Pinho, 2013).

Os dados da PPH se encontram disponíveis no Sistema de Informação de Posses de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo de energia no segmento residencial (SINPHA) no portal do PROCEL. Neste portal, o usuário poderá obter as (Pinho, 2013):

- Informações relacionadas ao mercado de eficiência energética, tais como estudos, análises e indicadores de dados;
- Acesso de forma eficaz aos dados e realização de simulações das curvas de carga;
- Informações de PPH a partir de 1997.

Abaixo, segue o mapa com a distribuição das concessionárias de energia elétrica por região do Brasil que participaram da PPH que ocorreu em 2005.

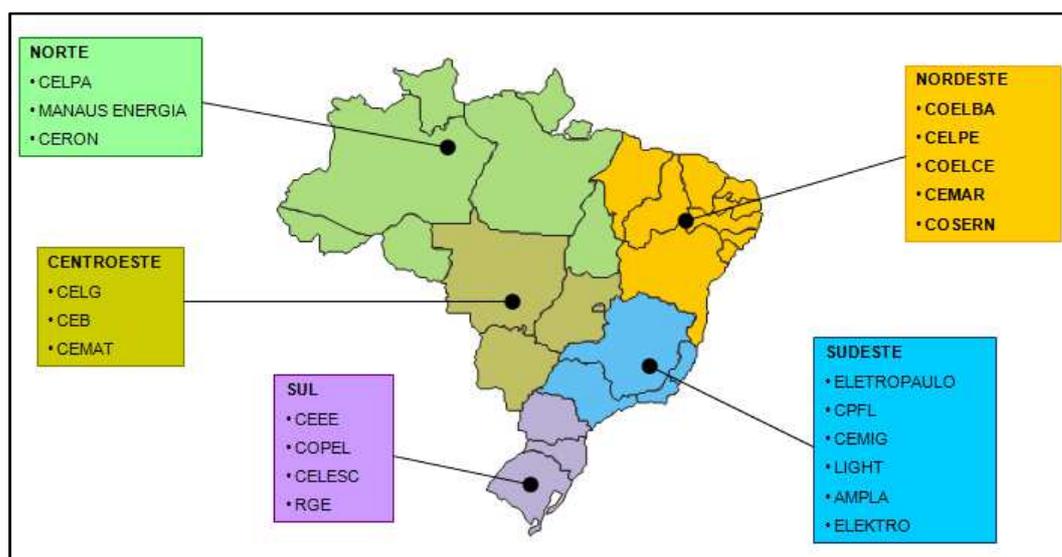


Figura 1 – Áreas de abrangência das concessionárias de distribuição de energia elétrica

Fonte: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (2005)

2.2 Metodologia aplicada à PPH

A metodologia para a PPH descrita nesta dissertação foi desenvolvida com base em um projeto de P&D da ANEEL, executado pela PUC-Rio, sob coordenação do Professor Reinaldo Castro, em conjunto com a Ampla e a Coelce.

O projeto teve por objetivo desenvolver fatores de correção que minimizem as inexatidões da PPH e construir uma ferramenta computacional que desenvolva uma curva de carga por eletrodoméstico, corrigida pelos coeficientes de ajuste das curvas de carga declarada.

Segundo Pinho (2013) e Limberger (2014), define-se como pesquisa de Posses e Hábitos de consumo, uma pesquisa declaratória e quantitativa, na qual é aplicado um formulário de auditoria energética para traçar o perfil de posse e hábitos de consumo de equipamentos elétricos, nos setores residencial, comercial e industrial, com o intuito de avaliar o mercado de eficiência energética. A PPH é basicamente uma auditoria dos equipamentos elétricos do consumidor, conforme ilustrado na Figura 2.

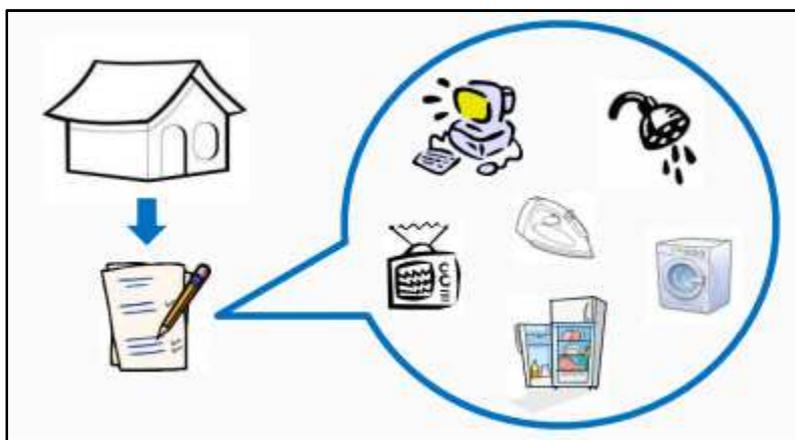


Figura 2 – Esquema representativo da PPH

Fonte: Souza (2011)

Para a classe residencial, a PPH apresenta blocos, conforme os questionários apresentados no Anexo II, com as seguintes informações (Limberger, 2014):

- Identificação do entrevistado e das pessoas do domicílio (dados demográficos);

- Características físicas da edificação, de forma a identificar a influência dos materiais utilizados na construção da residência no consumo de energia;
- Identificação de posse de equipamentos e seus hábitos de uso, de forma a caracterizar e detalhar a forma como a energia é utilizada na unidade consumidora, destacando os principais aparelhos elétricos como: iluminação, refrigerador, freezer, condicionador de ar e televisor, entre os demais aparelhos de menor consumo (Quadro 2.1) e finalizando em relação ao uso de aquecimento de água e chuveiros;
- Obtenção dos dados socioeconômicos, de forma a estabelecer a relação entre renda e consumo de energia; e
- Identificação de atitudes e comportamentos quanto à conservação de energia (consciência e hábitos).

Quadro 1 – Outros eletrodomésticos de menor consumo considerando a PPH

| | | |
|----------------------|-----------------------|----------------------------|
| 1 Aparelho de som | 16 Aspirador de pó | 31 Secadora de roupa |
| 2 Rádio elétrico | 17 Bomba d'água | 32 Ventilador de teto |
| 3 Blue Ray | 18 Torneira elétrica | 33 Circulador / ventilador |
| 4 DVD | 19 Hidromassagem | 34 Aquecedor de ambiente |
| 5 Computador | 20 Vaporeto | 35 Bebedouro elétrico |
| 6 Notebook / Laptop | 21 Video game | 36 Grill |
| 7 Impressora | 22 Máquina de costura | 37 Torradeira elétrica |
| 8 Cafeteira elétrica | 23 Ferro elétrico | |
| 9 Forno microondas | 24 Forno elétrico | |
| 10 TV por assinatura | 25 Liquidificador | |
| 11 Roteador wi-fi | 26 Secador de cabelo | |
| 12 Nobreak | 27 Prancha alisadora | |
| 13 Panela elétrica | 28 Batedeira | |
| 14 Exaustor | 29 Lava roupa | |
| 15 Enceradeira | 30 Lava louça | |

Fonte: Pinho (2013)

Após o período da coleta dos dados, inicia-se a fase da compilação das informações obtidas na PPH. Com isso, é possível obter informações, como:

- Contribuição de cada aparelho em kWh para o consumo final na conta de luz; e
- Mapeamento da curva de carga horária por eletrodoméstico.

O mapeamento da curva de carga da PPH é realizado por meio do SINPHA, desenvolvido para apresentar os indicadores obtidos a partir da PPH,

possibilitando o cruzamento desses dados, além de simulações da curva de carga e do impacto de projetos de substituições de lâmpadas e, conseqüentemente, avaliação da influência desses resultados para a contribuição energética no país (Sinpha, 2006).

A Figura 3 apresenta a curva de carga por equipamento na região Sudeste gerada pelo SINPHA, referente ao ano base de 2005.

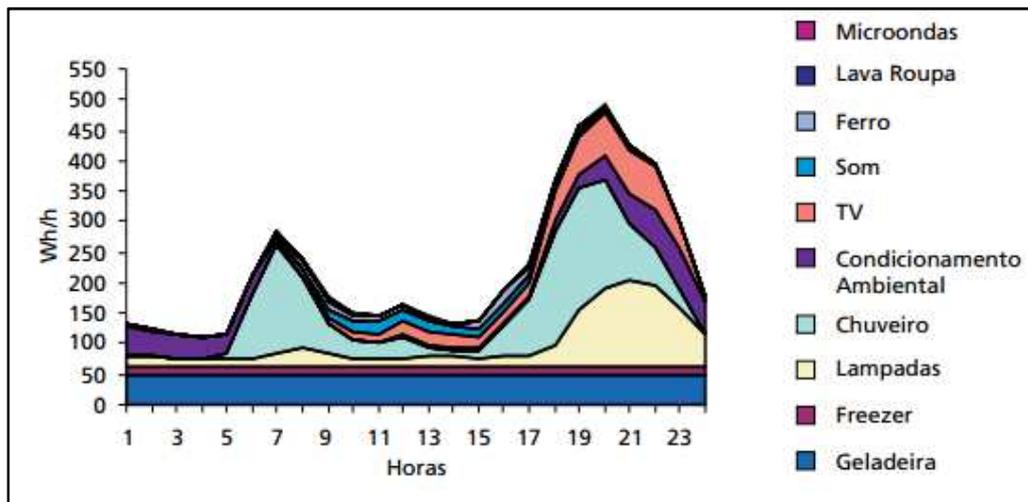


Figura 3 – Curva de carga por uso final

Fonte: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (2005)

2.3 Coleta dos dados da PPH

No presente estudo, a pesquisa de Posses e Hábitos de Consumo foi aplicada em uma amostra não representativa de 30 domicílios que fazem uso do chuveiro elétrico nos municípios de Niterói, São Gonçalo e Rio de Janeiro. As pesquisas foram executadas nos meses de agosto e setembro de 2014 no período de inverno no Brasil.

Os domicílios que participaram da pesquisa foram selecionados aleatoriamente entre as faixas de consumos de energia. A Tabela 1 mostra a relação das residências por faixa de consumo de energia.

Tabela 1 – Classificação dos clientes residenciais por faixa de consumo de energia

| Faixa de Consumo | Frequência | Percentual |
|-------------------|------------|------------|
| 0 a 150 kWh | 7 | 23% |
| 151 a 220 kWh | 6 | 20% |
| 221 a 400 kWh | 12 | 40% |
| Maior que 400 kWh | 5 | 17% |
| Total | 30 | 100% |

Dentre as variáveis da PPH, as principais que irão contribuir para delinear o consumo declarado de energia do chuveiro elétrico, são:

- Posse média do equipamento;
- Potência máxima do aparelho;
- Tempo médio de banho por indivíduo no domicílio;
- Horas em uso;
- Número de banhos ao dia;
- Hora que cada morador utiliza o aparelho;
- Número de pessoas na residência;

Com os dados coletados a partir das variáveis citadas acima, é possível delinear o consumo horário do chuveiro elétrico nas residências por dia no período de um mês. Abaixo se encontra as estatísticas relevantes da PPH sobre o chuveiro elétrico.

Assim, observa-se na Tabela 2 que em 40% dos domicílios, a posição da chave do aparelho no momento da pesquisa estava na posição inverno, mas mesmo com essa informação não foi possível calcular o consumo de energia elétrica considerando a potência do equipamento na posição verão, inverno ou outras, pois não foi coletada essa informação por banho declarado na residência. Deste modo, para a obtenção do consumo horário de energia do chuveiro elétrico, foi considerada a potência máxima do eletrodoméstico em análise.

Tabela 2 – Número de domicílios por posição da chave do chuveiro elétrico

| Posição da Chave | Frequência | Percentual |
|------------------|------------|------------|
| Verão | 13 | 43% |
| Inverno | 12 | 40% |
| Intermediário | 5 | 17% |
| Total | 30 | 100% |

A Figura 4 demonstra o comportamento do uso do chuveiro elétrico nas residências ao longo do dia. Assim, verifica-se que 42% dos banhos declarados na pesquisa ocorrem no período de 6 horas da manhã às 12 horas. Enquanto 49% ocorrem no período das 17 horas às 23 horas. Fato que mostra a relevância da presente pesquisa, pois é muito importante o GLD no horário de ponta.

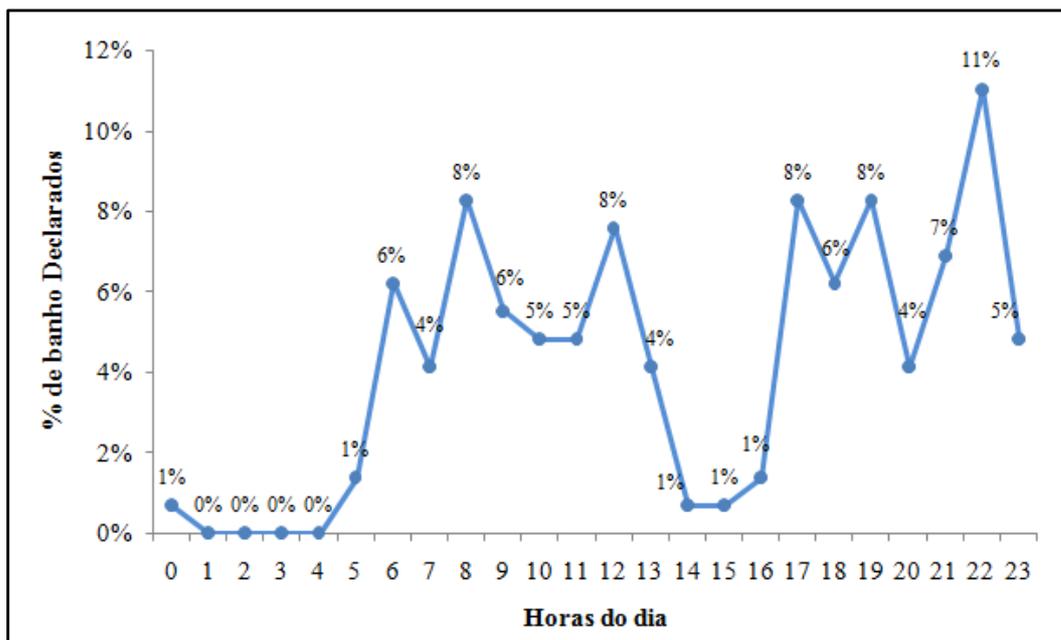


Figura 4 – Percentual do número de banhos declarados por período do dia

Em relação à potência máxima dos chuveiros elétricos que foram analisados, 43% desses aparelhos possuem com potência máxima de 5500 W. Enquanto 7% possuem potência máxima 4600 W, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Número de domicílios por potência do chuveiro elétrico

| Potência | Frequência | Percentual |
|----------|------------|------------|
| 4000 | 5 | 17% |
| 4500 | 10 | 33% |
| 4600 | 2 | 7% |
| 5500 | 13 | 43% |
| Total | 30 | 100% |

2.4

Estudo de caso do consumo declarado do chuveiro elétrico

Com base nos dados coletados da pesquisa, é possível traçar a curva de carga mensal declarada dos chuveiros elétricos. Contudo, primeiramente, deve-se obter o tempo médio de banho de cada indivíduo na residência e, assim, obter o consumo horário em *kWh* para cada domicílio.

Para a estimação da permanência no banho por indivíduo numa residência, considerando os dados da PPH, o primeiro passo foi analisar os dados ausentes da variável número de banhos ao dia e a sua respectiva duração.

O método para tratar os dados ausentes foi o de substituições por medidas estatísticas. No caso, fez-se o preenchimento das informações faltantes pela média das observações da variável em análise, considerando todos os domicílios.

Com as informações da PPH para o cálculo do tempo médio de banho por indivíduo no domicílio, foi realizada a média ponderada da declaração do número de banhos ao dia e a duração do mesmo por indivíduo, conforme a Eq. (1), onde i varia de 1 a n , que é o número de pessoas que moram na residência.

$$\text{Tempo por indivíduo (PPH)} = \frac{\sum_{i=1}^n n^{\circ} \text{ de banhos por dia} * \text{duração}}{n^{\circ} \text{ de pessoas na residência}} \quad (1)$$

Em seguida, foi estimado o consumo de energia por hora para cada residência, conforme a Eq. (2) que se encontra abaixo.

$$\text{Consumo (kWh)} = \left(\frac{\text{Potência em watt}}{1000} \right) * (\text{tempo em horas}) \quad (2)$$

Por exemplo, se dois moradores de uma determinada casa declararam que tomam banho às 8 horas da manhã com duração média de 10 minutos, considerando que a potência do chuveiro elétrico desta residência, conforme a declaração da PPH é de 4000 W, o consumo horário por dia em kWh será:

$$\text{Consumo horário diário} = 2 * \left\{ \left(\frac{4000 * 10}{60} \right) \div 1000 \right\} = 1,333 \text{ kWh} \quad (3)$$

Os dados da PPH fornecem o consumo de energia elétrica diário, sendo transformados para apresentarem o consumo estimado no período de 30 dias. Assim, para obter a curva de carga mensal deste equipamento, fez-se necessário estimar o consumo horário diário da PPH e multiplicar o resultado por 30, conforme Eq. (4)

$$\text{Consumo horário mensal} = 30 * \text{consumo horário diário} \quad (4)$$

A Eq. (4) possibilita realizar o mapeamento mensal da curva de carga horária da PPH. Assim, se torna viável estimar os coeficientes horários de ajuste da PPH para mapear a curva de carga mensal do chuveiro elétrico corrigida.

As metodologias para corrigir a PPH estão descritas detalhadamente no capítulo 4. O próximo capítulo (Capítulo 3) descreve as medições realizadas para contribuir com o objetivo principal desta dissertação.

3 Medição dos Chuveiros Elétricos

De 1950 a 1980, iniciou-se uma mudança significativa no padrão de consumo e aumento da oferta de produtos que trazem mais conforto à população brasileira. Neste período, com as mudanças do cenário econômico do país, as indústrias de eletrodomésticos ganharam força para a produção de diversos eletrodomésticos, entre eles o chuveiro elétrico (Netto, 2009).

Considerando a busca por maior conforto, admitiu-se que as famílias tenderiam a adquirir equipamentos com maior potência elétrica, o que demandaria consequentemente, mais energia elétrica (Ministério de Minas e Energia, 2010).

A Tabela 2 demonstra a evolução do consumo de energia dos principais eletrodomésticos. No caso do chuveiro elétrico, há uma tendência a aumentar o consumo energético devido à necessidade da sociedade de adquirir aparelhos com maior potência, pois estes promovem mais conforto às famílias (Ministério de Minas e Energia, 2012).

Tabela 4 – Evolução do consumo unitário de eletricidade do estoque de equipamentos nos domicílios

| Equipamento | kWh por equipamento ao ano | | | |
|-------------------------|----------------------------|------|------|------|
| | 2011 | 2012 | 2016 | 2021 |
| Ar condicionado | 453 | 449 | 430 | 414 |
| Refrigerador | 347 | 345 | 330 | 314 |
| Congelador | 516 | 512 | 480 | 450 |
| Lâmpadas | 38 | 38 | 31 | 17 |
| Chuveiro Elétrico | 483 | 484 | 490 | 501 |
| Máquina de lavar roupas | 68 | 67 | 65 | 62 |
| Televisão | 148 | 148 | 146 | 144 |

Fonte: Ministério de Minas e Energia (2012)

A Figura 5 apresenta o percentual no consumo final dos principais eletrodomésticos na região sudeste, conforme o estudo da “Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil: Pesquisa na Classe Residencial” (Programa

Nacional de Conservação de Energia Elétrica, 2005) e, nota-se que o chuveiro elétrico, nesta região, é o responsável por 26% do consumo final de energia elétrica, seguido da geladeira com 22% no consumo total das residências, como mostra a figura abaixo.

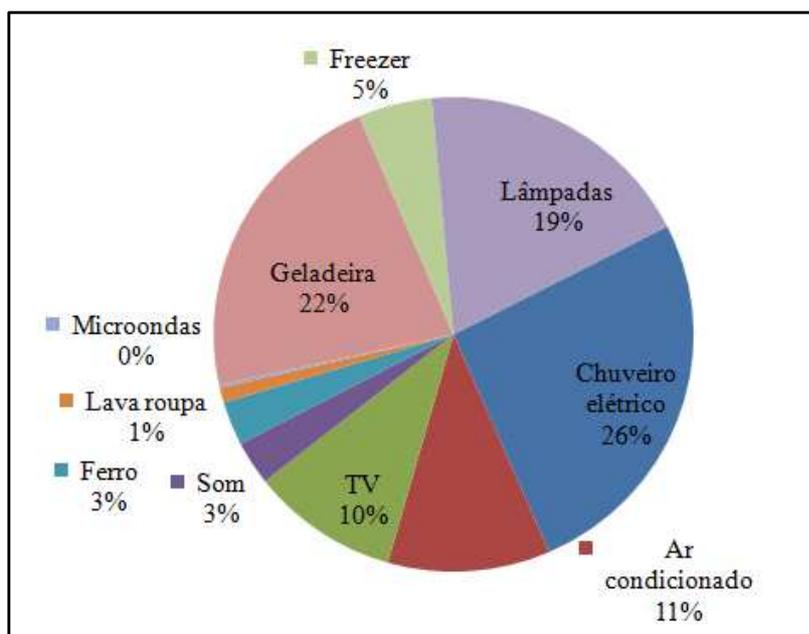


Figura 5 – Consumo final da carga residencial da região Sudeste

Fonte: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (2005)

Segundo a ANEEL, a potência do chuveiro varia de acordo com a posição da chave. No modo inverno, a potência pode variar de 4500 a 6000 watts. Na posição verão, pode variar entre 2100 e 3500 watts. O consumo por hora (60 minutos) de uso varia entre 4,50 e 6,0 kWh na posição Inverno e entre 2,10 e 3,50 kWh no Verão (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2001).

O chuveiro elétrico é o mais utilizado nas residências para o aquecimento de água devido ao baixo custo e a facilidade de instalação. Entretanto, em longo prazo, essa solução tecnológica produz efeitos indesejáveis no setor de energia elétrica (Ministério de Minas e Energia, 2011).

Conforme a Figura 6, do relatório da “Classe residencial – Relatório Brasil”, 80,9 % dos domicílios brasileiros aquece a água do banho de alguma forma, e 18,2% não aquecem. Além disso, a figura aponta que 73,5% dos sistemas de aquecimento utilizavam energia elétrica como fonte de aquecimento e 5,9% utilizavam gás. Apenas 0,4% usavam aquecimento solar. Convém destacar que,

dos sistemas que usavam energia elétrica como fonte de aquecimento, o chuveiro elétrico respondeu pela quase totalidade, com a parcela de 99,6% (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, 2007).

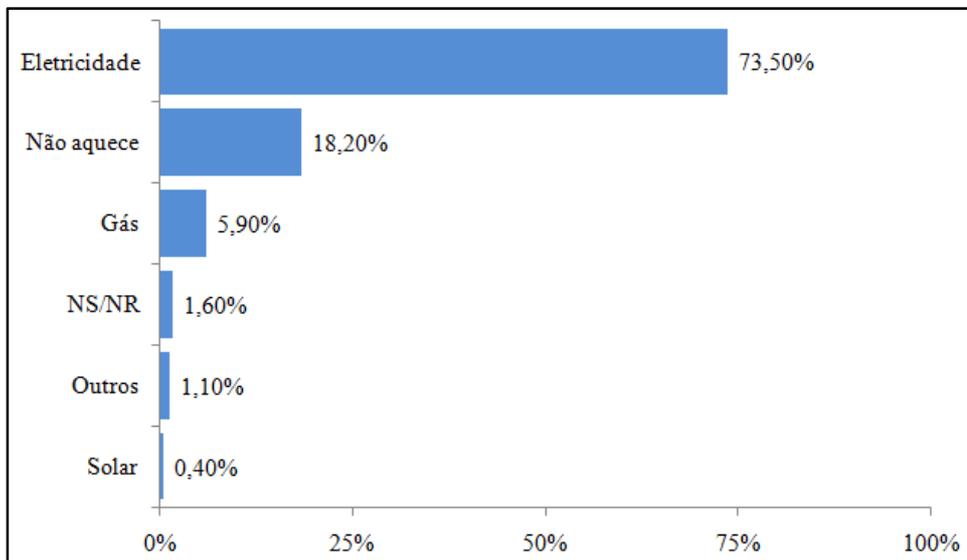


Figura 6 – Consumo final da carga residencial da região Sudeste

Fonte: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (2007)

Em relação à posse média do chuveiro elétrico, destaca-se uma baixíssima posse do equipamento na região Norte. Enquanto nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul a posse média são acima de uma unidade por domicílio, conforme a Figura 7.

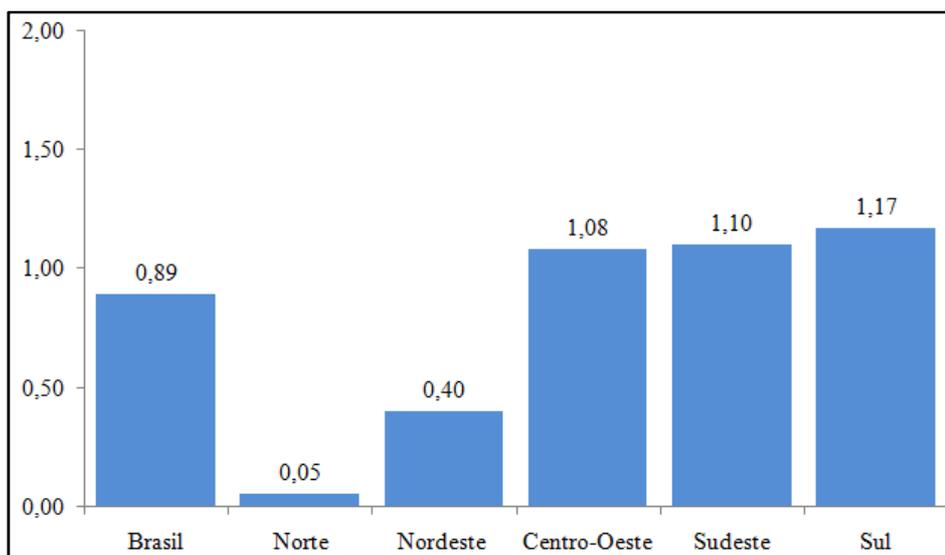


Figura 7 – Consumo final da carga residencial da região Sudeste

Fonte: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (2007)

A Tabela 5 aponta o aumento anual de eficiência dos equipamentos ao longo de 10 anos, devido à oferta de dispositivos mais modernos e que consomem menos energia elétrica. O mesmo não ocorre com o Chuveiro elétrico, devido à necessidade das famílias adquirirem aparelhos com maior potência.

Tabela 5 – Aumento anual de eficiência dos equipamentos

| Equipamento | Aumento anual de eficiência (%) | |
|-------------------------|---------------------------------|---|
| | 2011 - 2021 | Fundamentação Geral |
| Ar condicionado | 0,5 | Reposição tecnológica natural do estoque e ações dos fabricantes com melhorias de eficiência impulsionadas principalmente pelo PBE e PROCEL |
| Geladeira | 0,5 | |
| Freezer | 0,5 | |
| Máquina de lavar roupas | 0,5 | |
| Televisão | 0,3 | |
| Lâmpadas | 8,5 | Substituição das lâmpadas incandescentes |
| Chuveiro elétrico | -0,5 | Tendência de aquisição de equipamentos com maior potência |

Fonte: Ministério de Minas e Energia (2012)

As principais hipóteses utilizadas para a evolução do consumo específico destes equipamentos foram (Ministério de Minas e Energia, 2012):

- **Refrigerador:** foi considerado, para efeito de cálculo da média de consumo de energia elétrica, um funcionamento durante 10 horas por dia, 365 dias por ano, constante em todo o horizonte de análise.
- **Congelador:** o consumo específico deste equipamento foi calculado de forma semelhante ao da geladeira. Assumiu-se um uso de 9 horas por dia e 365 dias por ano, constante em todo o horizonte de análise.
- **Ar condicionado:** considerou-se um tempo médio de uso de 8 horas por dia, durante quatro meses por ano.
- **Chuveiro elétrico:** admitiu-se um tempo médio de banho de 10 minutos por habitante na posição “inverno” durante quatro meses e na posição “verão” durante o restante do ano.
- **Máquina de lavar roupas:** considerou-se um funcionamento médio de 12 horas por mês (3 horas por semana).
- **Televisão:** o consumo específico deste equipamento foi calculado admitindo um tempo médio de utilização de 4 horas por dia e 365 dias por ano, ponderado pela posse média de aparelhos de 14, 20, 21 e 29 polegadas nos domicílios no ano de 2005.
- **Lâmpadas:** o tempo médio de utilização foi estimado a partir da média de utilização de lâmpadas de uso habitual (considerada 5 horas por dia) e de uso eventual (considerada de 1 hora por dia), ponderada pela posse média de cada um dos dois tipos.

Mas, uma das alternativas para mudar o panorama do consumo do chuveiro elétrico, conforme apresentado na Tabela 6 (acima), é a implantação do recuperador de calor produzido pela empresa Rewatt Ecológica. Com a instalação deste sistema é possível adquirir um chuveiro elétrico menos potente. Segundo Oliveira (2007), é possível trocar este eletrodoméstico com potência de 5400 W por outro de 3200 W, que irá funcionar plenamente no inverno. Assim, este sistema tem a capacidade de reduzir o gasto de energia elétrica em uma residência em 44%.

Abaixo, segue a Figura 7, que ilustra o funcionamento do recuperador de calor no Chuveiro Elétrico. Primeiramente, a água da caixa d'água segue para a plataforma de plástico; que funciona como um tapete antiaderente no banheiro, e dentro, possui o trocador de calor feito de alumínio; que efetua a troca térmica da água quente que cai do chuveiro e aquece a água limpa do interior da plataforma; que segue para o chuveiro elétrico. Este sistema está descrito mais detalhadamente em Oliveira (2007) e Sippel (2014).

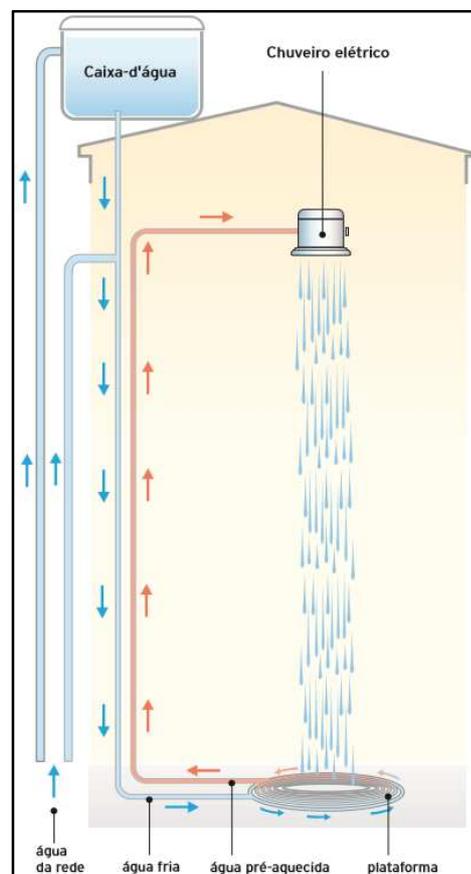


Figura 8 – Funcionamento do Recuperador de calor

Fonte: Oliveira (2007)

3.1

Estudo de caso do consumo real do chuveiro elétrico

Inicialmente, para mapear o consumo real de energia do chuveiro elétrico na presente dissertação, nas 30 (trinta) residências em que foi aplicada a PPH (conforme detalhado no capítulo 2), foram instalados medidores eletrônicos que possuem memória de massa capaz de medir e armazenar o consumo de energia a cada 5 (cinco) minutos de uso. Assim, é possível estimar um tempo médio de banho mais próximo à realidade, além de permitir mapear a curva de carga mensal deste eletrodoméstico mais próximo ao consumo real.

As informações obtidas nas medições foram o consumo diário de energia em kWh para cada domicílio durante uma semana. O consumo de cada dia em uma determinada residência foi fracionado em vários momentos, visto que a cada 5 minutos o medidor memorizava o consumo de uso do equipamento no período.

Para estimar o tempo médio de banho com os dados da medição em kWh, primeiramente foi criada a Tabela 6, que demonstra a relação do consumo em kWh por potência e tempo em uso. Para a construção desta tabela foi utilizada a Eq. (2), descrita no Capítulo 2.

Esta tabela registra qual será o consumo em kWh do chuveiro elétrico, dependendo da potência (W) do equipamento e do tempo (em minutos) de uso. Portanto, a elipse pontilhada em vermelho da Tabela 6 representa o consumo de energia elétrica do eletrodoméstico, considerando uma residência que possui um chuveiro elétrico com potência de 4500 W e um banho que dura 10 minutos. Assim, sob essas condições, em média, a cada banho de 10 minutos com um equipamento com a mesma potência descrita acima será de $0,7500\text{ kWh}$, conforme descrito na Tabela 6.

Tabela 6 – Consumo em kWh por potência e tempo em uso e potência

| Tempo em minuto | Potência do Chuveiro elétrico | | | |
|--------------------|-------------------------------|---------|---------|---------|
| | 4000 | 4500 | 4600 | 5500 |
| 1 | 0,06667 | 0,07500 | 0,07667 | 0,09167 |
| 2 | 0,13333 | 0,15000 | 0,15333 | 0,18333 |
| 3 | 0,20000 | 0,22500 | 0,23000 | 0,27500 |
| 4 | 0,26667 | 0,30000 | 0,30667 | 0,36667 |
| 5 | 0,33333 | 0,37500 | 0,38333 | 0,45833 |
| 6 | 0,40000 | 0,45000 | 0,46000 | 0,55000 |
| 7 | 0,46667 | 0,52500 | 0,53667 | 0,64167 |
| 8 | 0,53333 | 0,60000 | 0,61333 | 0,73333 |
| 9 | 0,60000 | 0,67500 | 0,69000 | 0,82500 |
| 10 | 0,66667 | 0,75000 | 0,76667 | 0,91667 |
| 11 | 0,73333 | 0,82500 | 0,84333 | 1,00833 |
| 12 | 0,80000 | 0,90000 | 0,92000 | 1,10000 |
| 13 | 0,86667 | 0,97500 | 0,99667 | 1,19167 |
| 14 | 0,93333 | 1,05000 | 1,07333 | 1,28333 |
| 15 | 1,00000 | 1,12500 | 1,15000 | 1,37500 |
| 16 | 1,06667 | 1,20000 | 1,22667 | 1,46667 |
| 17 | 1,13333 | 1,27500 | 1,30333 | 1,55833 |
| 18 | 1,20000 | 1,35000 | 1,38000 | 1,65000 |
| 19 | 1,26667 | 1,42500 | 1,45667 | 1,74167 |
| 20 | 1,33333 | 1,50000 | 1,53333 | 1,83333 |
| 21 | 1,40000 | 1,57500 | 1,61000 | 1,92500 |
| 22 | 1,46667 | 1,65000 | 1,68667 | 2,01667 |
| 23 | 1,53333 | 1,72500 | 1,76333 | 2,10833 |
| 24 | 1,60000 | 1,80000 | 1,84000 | 2,20000 |
| 25 | 1,66667 | 1,87500 | 1,91667 | 2,29167 |
| 26 | 1,73333 | 1,95000 | 1,99333 | 2,38333 |
| 27 | 1,80000 | 2,02500 | 2,07000 | 2,47500 |
| 28 | 1,86667 | 2,10000 | 2,14667 | 2,56667 |
| 29 | 1,93333 | 2,17500 | 2,22333 | 2,65833 |
| 30 | 2,00000 | 2,25000 | 2,30000 | 2,75000 |

Em relação ao tempo médio de banho, considerando os dados da medição, primeiramente, calculou-se o consumo médio de energia elétrica do chuveiro por dia, conforme descrito na Eq. 5.

$$\text{Consumo por dia} = \frac{\text{Soma do consumo da semana}}{7} \quad (5)$$

Em seguida, estimou-se o consumo médio de energia por indivíduo ao dia em um determinado domicílio, por meio da Eq. (6).

$$\text{Consumo por indivíduo ao dia} = \frac{\text{Consumo em kWh por dia}}{\text{Nº de pessoas no domicílio}} \quad (6)$$

Com base no consumo médio por indivíduo ao dia, pode-se obter o tempo médio de banho diário por morador do domicílio i , onde i irá variar de 1 a 30. Analisando a Tabela 6, basta cruzar o consumo em kWh com a potência do chuveiro elétrico. Assim, se uma pessoa de uma residência consumir 0,4565 kWh com uma potência de 4600 W, estima-se, segundo a Tabela 6, que o tempo de duração de um banho por indivíduo, é de aproximadamente 6 (seis) minutos.

Na seção seguinte, descrevem-se os medidores eletrônicos utilizados no presente estudo.

3.2 Medidores Eletrônicos

Na presente dissertação, foi utilizado o medidor eletrônico Powersave, para estimar o consumo de energia do chuveiro elétrico. Esses medidores foram instalados nas 30 (trinta) residências que participaram da PPH, com a finalidade de medir o consumo de energia por equipamento em tempo real.

Estes medidores foram desenvolvidos para atender ao projeto P&D da AMPLA e COELCE, em parceria com a PUC-Rio, intitulado “Desenvolvimento de coeficientes de ajustes das declarações de pesquisas de clientes para a estimativa e simulação do consumo por uso final dos consumidores”.

O medidor Powersave é capaz de registrar a curva do consumo de energia elétrica por eletrodoméstico, a fim de promover a eficiência energética. Isto ocorre devido a sua capacidade de monitorar o equipamento ao longo do tempo.

O dispositivo é responsável por aferir a energia de um equipamento, sendo conectado à carga e à rede elétrica. Além disso, o mesmo armazena periodicamente o consumo em sua memória de massa, transferindo esta informação para um computador pessoal por meio do software Powersoft e uma conexão USB (Powersave, 2012).



Figura 9 – Medidor Powersave

Fonte: Dantas (2013)

O medidor possui as seguintes características (Dantas, 2013):

- Leitura em intervalos de tempo de 5 (cinco) minutos ou 10 (dez) minutos;
- Memória para leitura durante 41 (quarenta e um) dias com intervalo de 15 (quinze) minutos e 14 (quatorze) dias para 5 (cinco) minutos;
- Leitura de aparelhos com até 50 (cinquenta) amperes e tensão de 110 V e 220 V;
- Armazenamento na memória de massa os dados de data, hora, potência máxima (W) do período e consumo no período (kWh);
- Leitura instantânea de data, hora, consumo, potência, tensão, corrente e frequência;
- Ajuste de hora;
- Conexão direta na tomada (10 A e 20 A) e por fração;
- Dimensões de 7,0 cm x 14,5 cm x 4,5 cm;

Em relação à incerteza de medição deste equipamento, conforme o Relatório de Aferição (Bre Brazil Eletronics, 2014) e o Relatório de Calibração (Laboratórios Especializados Em Eletrônica De Calibração E Ensaios, 2013), para cargas menores que 100W a incerteza da medição são aproximadamente de 2% e para cargas maiores que 100W, a incerteza de medição são de 1%.

Este medidor foi o mesmo que foi utilizado na dissertação de Pinho (2013), mas passou por um ajuste para ser instalado no chuveiro elétrico. Assim, para o desenvolvimento desta dissertação, o medidor passou por um processo de adaptação, visto que os chuveiros elétricos possuem uma corrente superior a 10 A. No entanto, a ligação deve ser realizada a partir de fios de 6 mm de espessura conectados ao barramento lateral da caixa para suportar uma corrente até 50 A e

por sua vez, a instalação desses equipamentos nos domicílios, teve que ser realizada por um electricista.

A Figura 10 ilustra o medidor Powersave adaptado para ser instalado nos chuveiros elétricos ou em outros equipamentos que consomem mais de 10 amperes, porém menos de 50 amperes.



Figura 10 – Ilustração do medidor Powersave para captar o consumo de energia do chuveiro elétrico

Com a finalidade de medir o consumo de energia dos chuveiros elétricos, foram instalados medidores nos próprios equipamentos ou no disjuntor deste aparelho (conforme a Figura 10) que se encontra na caixa de luz das residências no período de 7 (sete) dias, afim de registrar e armazenar em memória de massa o consumo em *kWh* a cada 5 (cinco) minutos.

Os dados obtidos com a medição representam o consumo real dos chuveiros elétricos nas residências, com a finalidade de obter em tempo real a duração média de um banho, além de permitir estimar os fatores de correção da PPH, e assim mapear o consumo de energia declarado mais próximo a realidade. A metodologia utilizada para obter a curva de carga estimada está detalhada no capítulo 4.

4 Metodologia de Correção das Curvas de Cargas

A fim de atingir o objetivo dessa dissertação foi realizada uma PPH com a finalidade de delinear o comportamento dos consumidores residenciais em relação aos equipamentos elétricos e principalmente do uso do chuveiro elétrico, que é o foco do estudo. Assim, a Figura 11 mostra o comportamento da curva de carga horária mensal do consumo médio de energia do chuveiro elétrico, considerando as declarações da PPH e da medição. Pode-se notar uma superestimação das curvas declaradas.

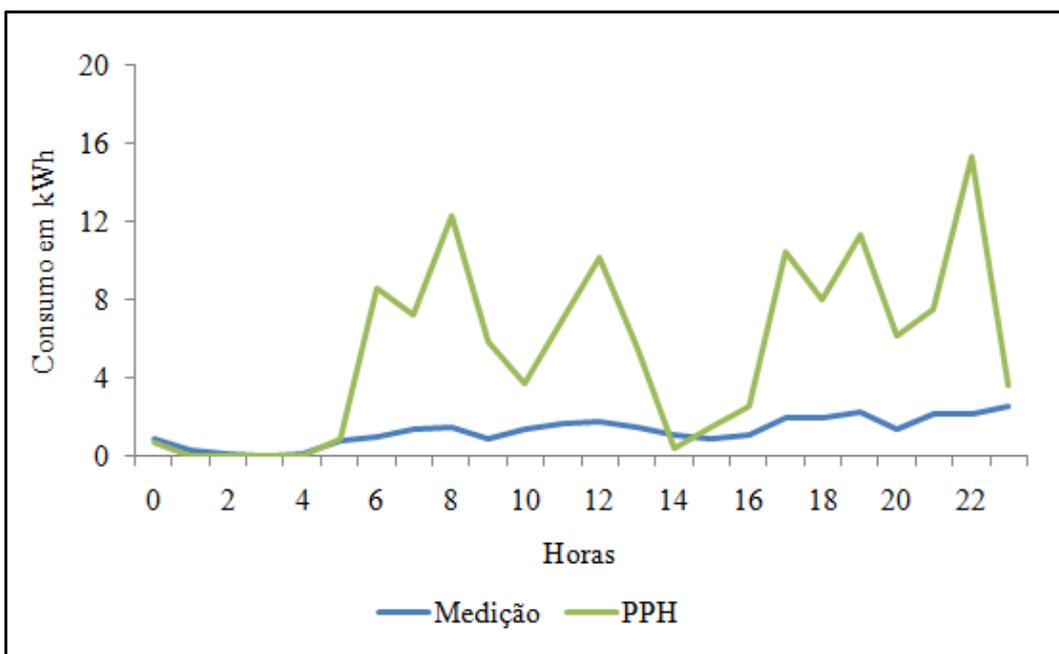


Figura 11 – Curvas de carga mensal do consumo médio do chuveiroelétrico por hora

Contudo, os resultados da PPH não refletem a realidade por ser esta uma pesquisa declaratória. A fim de demonstrar o quanto a PPH é superestimada em relação à curva de carga real, calculou-se o Erro Quadrático Médio (*EQM*) entre o consumo horário mensal da PPH e da Medição, dividindo-se e o resultado pela média do consumo horário mensal da Medição, com o objetivo de obter, em valor

percentual, quanto os resultados da PPH são superestimados em relação aos resultados da medição.

No caso, o EQM é igual a $5,7674 kWh$ e a média do consumo horário mensal da medição, é $1,2944 kWh$. Assim, a variação percentual do erro da PPH sobre a medição é aproximadamente 446%, o que ratifica o fato de a curva de carga declarada do chuveiro elétrico estar muito superestimada em relação à curva real.

Deste modo, para obter os coeficientes (fatores) horários de correção das declarações de uso do chuveiro elétrico nas PPH, a fim de mapear a curva de carga estimada de chuveiros elétricos e demonstrar sua contribuição para o sistema elétrico brasileiro, utilizou-se a regressão linear simples e redes neurais. A aplicação das duas metodologias possui o mesmo objetivo, de corrigir a curva de carga declarada pela PPH de acordo com o horário de utilização, mas deseja-se também verificar qual método é o mais adequado.

Portanto, neste capítulo será abordado o método estatístico de regressão linear simples e o método matemático de redes neurais, aplicados na correção das declarações da PPH, no caso dos chuveiros elétricos.

4.1 **Regressão linear**

O termo regressão foi proposto pela primeira vez por Francis Galton em 1885, em um estudo que desenvolveu em busca de uma relação estatística entre as alturas de pais e filhos e demonstrou que as alturas dos filhos não refletem a altura dos pais, mas tendem a regredir para a média. Por esse motivo Galton considerou o fenômeno como sendo de regressão, o qual vem sendo utilizado até os dias de hoje para descrever a relação entre duas ou mais variáveis (Neter, Wasserman e Kutner, 1997; Maroco, 2007).

A análise de regressão linear simples busca verificar a relação entre a variável explicativa (no caso desta dissertação, o consumo declarado pela PPH) e a variável dependente (no caso desta dissertação, o consumo real), ou seja, procura avaliar o impacto de cada variável explicativa e quão efetivo é o modelo sugerido (Fávero *et al.*, 2009).

Assim, o modelo básico de regressão linear é da seguinte forma:

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + u \quad (7)$$

em que Y é a variável dependente (fenômeno em estudo), α representa o intercepto (constante), β_k ($k = 1, 2, \dots, n$) são os coeficientes angulares, X_k são as variáveis explicativas e u é o termo do erro (diferença entre o valor real de Y e o valor previsto de Y por meio do modelo para cada observação) (Fávero *et al.*, 2009).

O objetivo da técnica de regressão é prever a relação de uma variável métrica dependente a partir do conhecimento de uma ou mais variáveis métricas independentes. Quando há apenas uma variável independente, aplica-se a regressão linear simples. Quando envolve mais de uma variável independente, a técnica utilizada é a regressão linear múltipla (Hair *et al.*, 2005).

A metodologia que será detalhada nesta dissertação é a modelagem por regressão linear simples que determina o quanto uma variável independente consegue explicar a variável dependente. O modelo de regressão linear simples é expresso da seguinte forma:

$$Y_{i,h} = \beta_h X_{i,h} + \varepsilon_{i,h} \quad (8)$$

e as hipóteses básicas a serem estabelecidas são (Neter, Wasserman e Kutner, 1997):

1. Y_i é o valor de cada observação i para variável resposta para uma determinada hora (h);
 2. β_h são os parâmetros desconhecidos a se estimados para cada hora;
 3. X_i é o valor de cada da variável independente i para uma determinada hora (h);
 4. O erro aleatório $\varepsilon_{i,h}$ tem as seguintes propriedades:
 - $E(\varepsilon_i) = 0$
 - $Var(\varepsilon_i) = \sigma^2$
 - $Cov(\varepsilon_i; \varepsilon_j) = 0, \forall i, j; i \neq j$
- $i = 1, 2, \dots, n$

O objetivo da técnica de regressão no presente estudo é estimar um fator de correção da PPH para cada hora, e assim, corrigir o erro de superestimação da PPH em relação aos valores medidos. Ou seja, a finalidade de aplicar a técnica de

regressão é obter uma curva de carga horária corrigida pelos fatores de correção, estimados a partir dos dados coletado da PPH e da medição. Assim, a curva de carga corrigida poderá ser mais próxima à curva de carga real.

Em relação aos parâmetros da regressão, nesta dissertação, não será considerado o coeficiente linear (β_0). Esta afirmação está embasada na metodologia aplicada na dissertação de Pinho (2013) e nos testes de significância dos parâmetros realizados com os dados do presente estudo de caso, que não obtiveram resultados significantes.

Para a análise da existência de relação linear entre os dados da PPH e os da Medição para cada hora no período de um mês, foi calculado o coeficiente de correlação (r) hora a hora. Esta análise é de suma importância, pois mede a dependência linear entre a PPH e a Medição, com os valores sempre compreendidos entre -1 e +1 (Pinho, 2013).

Após a verificação da presença de correlação entre as variáveis, o próximo passo é a estimação dos coeficientes horários (coeficiente angular) que serão estimados pelo método de mínimos quadrados. Este método consiste em estimar os parâmetros de modo que a soma dos quadrados dos erros entre as observações e a reta de regressão seja mínima (Hines *et al.*, 2006).

Segundo o Teorema de Gauss-Markov, os estimadores de mínimos quadrados são não tendenciosos e tem variância mínima dentre todos os estimadores lineares não tendenciosos (Neter, Wasserman e Kutner, 1997; Maroco, 2007).

Abaixo segue a equação que demonstra a soma dos quadrados dos erros das observações em relação à verdadeira reta de regressão é

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_{i,h}^2 = \sum_{i=1}^n \{Y_{i,h} - (\alpha + \beta_h X_{i,h})\}^2 \quad (9)$$

Logo, Equação 9 representa a fórmula para estimar os parâmetros β_h para cada hora:

$$\hat{\beta}_h = \frac{\sum_{i=1}^n y_{i,h} x_{i,h} - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n y_{i,h}) (\sum_{i=1}^n x_{i,h})}{\sum_{i=1}^n x_{i,h}^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_{i,h})} \quad (10)$$

Além disso, para testar a significância de cada coeficiente, aplicou-se o teste *t – student* a cada fator de correção que foi obtido para uma determinada hora do dia. O desenvolvimento da aplicação do teste de t-student se encontra de forma mais detalhada em Neter, Wasserman e Kutner, 1997; Maroco (2007).

Desta forma, obtêm-se os coeficientes (fatores) horários estimados pelo método de regressão linear simples. Os resultados gerados com a aplicação desta técnica estatística estão apresentados no capítulo 5.

O objetivo da técnica de regressão no presente estudo é estimar o fator de correção da PPH a cada hora, e assim, corrigir o erro de superestimação da PPH em relação aos valores medidos. Ou seja, a finalidade de aplicar a técnica de regressão, neste estudo de caso, é obter uma curva de carga horária corrigida pelos fatores de correção, estimados a partir dos dados da PPH e da medição. Dessa maneira, a curva de carga corrigida poderá ser mais próxima à curva de carga real.

Após a descrição da metodologia estatística, na próxima seção será descrito o método de redes neurais para estimar a curva da PPH corrigida.

4.2 Redes Neurais Artificiais

A capacidade de implementar computacionalmente versões simplificadas de neurônios biológicos deu origem a uma especialidade da inteligência computacional aplicada, conhecida como redes neurais artificiais. Existem várias definições para as redes neurais artificiais, portanto adotaremos aquela que parece mais geral e aplicável a qualquer área da ciência (Cerqueira e Poppi, 2001).

“Redes neurais artificiais é o nome dado a um conjunto de métodos matemáticos e algoritmos computacionais especialmente projetados para simular o processamento de informações e aquisição de conhecimento do cérebro humano” (Cerqueira e Poppi, 2001).

A rede neural artificial é uma técnica alternativa à regressão linear simples (citada na seção 4.1), principalmente no caso de sistemas não-lineares. Em relação

aos benefícios da aplicação das técnicas de redes neurais artificiais, uma grande vantagem é a ausência de pressupostos, como nas metodologias estatísticas.

Destarte, a rede neural artificial, na presente dissertação, funcionará como uma “caixa de processamento” que será treinada, a partir de um conjunto de informações relacionadas ao consumo declarado da PPH e às medições do consumo real, obtendo como resultado os valores da PPH corrigida, conforme apresentado na Figura 11.

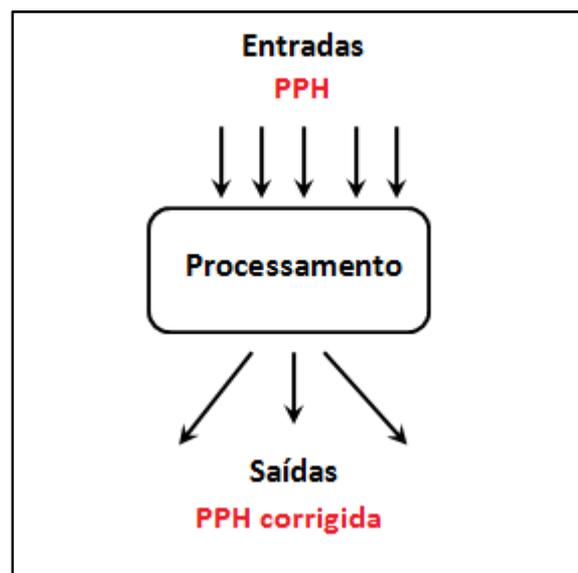


Figura 12 – Representação operacional da rede neural

Fonte: Cerqueira e Poppi (2001)

Redes neurais artificiais (RNAs) são sistemas paralelos distribuídos e constituídos de unidades de processamento simples, chamadas "neurônios", que têm capacidade computacional relacionada à aprendizagem e à generalização. Nesse sistema, o conhecimento é adquirido por um processo chamado "treinamento" ou "aprendizagem" que fica armazenado em forças de conexões entre os neurônios, chamado pesos sinápticos (Silva, Almeida e Yamakami, 2012).

Conforme Rizzi *et al.* (2000), os neurônios recebem informações das entradas da RNA (x_1, x_2, \dots, x_n) , através de sensores ou de outros neurônios, executam operações sobre elas e as enviam, como saída (y_n) , para outros neurônios ou estruturas responsáveis pela conclusão da operação. Cada conexão entre neurônios, também chamada de sinapse, possui uma intensidade associada, expressa por um valor numérico denominado peso (w_1, w_2, \dots, w_n) , que pode ser

modificado. A demonstração do modelo de um neurônio artificial se encontra na Figura 12.

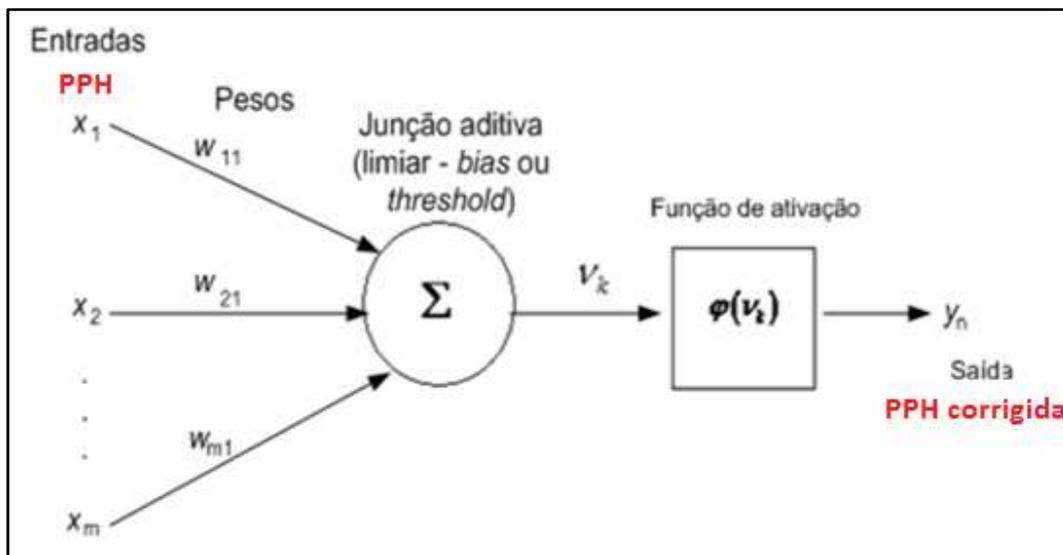


Figura 13 – Modelo geral de um neurônio artificial

Fonte: Gonçalves *et al.* (2010)

O modelo da Figura 12 é composto por 3 elementos básicos (Gonçalves *et al.*, 2010):

- 1º: Conjunto de sinapses ou elo de conexões, cada qual caracterizado por um peso w_{ij} , com $k = 1$ e $j = 1, 2, \dots, m$;
- 2º: Somatório dos sinais de entrada, ponderado pelas sinapses do neurônio, tal que:

$$v_k = \sum_{j=0}^m w_{ij} x_j \quad (11)$$

- 3º: Função de ativação que restringe a amplitude do valor de saída de um neurônio, limitando o intervalo de saída a um valor finito;

$$y_k = \varphi(v_k) \quad (12)$$

Na presente dissertação, a função de ativação da camada escondida para estimar os fatores de correção da PPH será a *TanSig* (tangente hiperbólica), pois é apropriada para o reconhecimento de padrões, conforme Beale, Hagan e Demuth, (2014). Segundo Sanchez (2009), esta é uma das funções mais utilizadas na construção das redes neurais, por assumir valores entre $[-1, 1]$. O modelo desta função está apresentado na Figura 13.

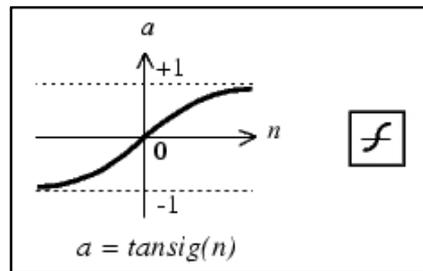


Figura 14 – Função de ativação tansig

Fonte: Beale, Hagan e Demuth (2014)

A camada de saída é composta pela função de ativação *purelin* que do tipo linear. A função linear é frequentemente usada na camada de saída de rede neural. A Figura 14 representa o modelo de uma função linear.

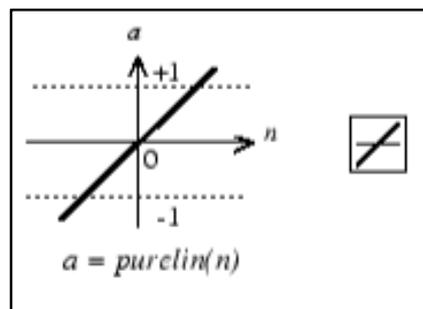


Figura 15 – Função de ativação linear

Fonte: Beale, Hagan e Demuth (2014)

Para Ortega (2008), a propriedade mais importante das redes neurais é a habilidade de aprender sobre seu ambiente e, com isso, melhorar o seu desempenho. Isso pode ser feito por meio de um processo iterativo de ajustes aplicados aos pesos sinápticos da rede, chamado de treinamento. O aprendizado ocorre quando a rede neural atinge uma solução generalizada para uma determinada classe de problemas. Existem duas metodologias de aprendizagem da Rede Neural que são os métodos supervisionados e os não supervisionados.

No estudo, será aplicado o método de aprendizado supervisionado, pois este é utilizado quando há um conhecimento prévio da saída desejada para a rede neural. O sinal de saída da rede neural (PPH corrigida) é comparado à resposta desejada, que corresponde aos valores da medição do consumo real, gerando um sinal de erro que é utilizado para ajustar os pesos sinápticos da rede de modo que

esta, após o ajuste, apresente em sua saída uma resposta tão próxima quanto possível daquela desejada (Ortega, 2008).

Dentre os vários tipos de redes neurais, tais como perceptron simples, perceptron de múltiplas camadas (Multilayer perceptron - MPL), mapas auto-organizáveis de Kohonen e outras, a mais utilizada e a que será aplicada nesta dissertação que é a rede do tipo Multilayer perceptron (MLP), muito utilizada por apresentar maior simplicidade e facilidade de implementação (Fiorin *et al.*, 2011), sendo caracterizada pela sua capacidade de reconhecimento de padrões, considerando que os dados da PPH deverão ser corrigidos de forma que a curva de carga horária fique o mais próximo possível da curva de carga real.

A rede MPL, na presente dissertação, é formada por uma camada de entrada, que recebe os dados do consumo declarado pela PPH, uma ou mais camadas intermediárias ou escondidas de neurônios (o número de neurônios irá depender da complexidade do mapeamento a ser realizado até apresentar um resultado mais próximo do consumo real de energia do chuveiro elétrico) e uma camada de saída que corresponde à PPH corrigida.

Por padrão, o treinamento de uma MLP é do tipo supervisionado por meio de algoritmo backpropagation (retropropagação do erro), que tem a função de encontrar as derivadas da função de erro com relação aos pesos e bias da rede neural. A função de erro calcula a diferença entre a saída fornecida pela rede neural e a saída desejada em relação a um determinado padrão de entrada (Silva, Almeida e Yamakami, 2012).

O algoritmo backpropagation baseia-se no princípio do aprendizado por correção do erro, no qual o erro é retropropagado da camada de saída para as camadas intermediárias da rede neural. Pode-se dividir o algoritmo em dois passos: o direto (feedforward) e o reverso (backforward) (Barbosa, Freitas e Neves, 2005).

Neste estudo, a topologia da rede será MPL do tipo feedforward, pois este tipo de processamento possui a capacidade de reconhecer e classificar padrões por meio de processos de treinamento ou aprendizagem. O dado de entrada (PPH) é conectado a todos os neurônios da camada intermediária, os quais são conectados ao neurônio de saída (PPH corrigida) (Melo, 2012).

Na rede neural, o processo de aprendizagem é fundamental para o reconhecimento de padrões. Mesmo que ocorram falhas no período de

aprendizado, as redes neurais são capazes de adaptar os problemas encontrados e continuar respondendo de maneira satisfatória ao propósito destinado (Melo, 2012).

Em contrapartida, com o excesso de treinamento pode ocorrer o fenômeno *overfitting*, que é ocasionado quando a partir de um determinado treinamento, o erro começa a aumentar, devido ao fato da rede neural começar a memorizar os padrões do treinamento. Conforme Silva, Almeida e Yamakami (2012), um dos critérios de parada é a validação cruzada que evita o erro de generalização da rede, consistindo em dividir o conjunto de padrões em uma parte para o treinamento e a outra para a validação. Logo, o processo de treinamento é encerrado quando o erro do conjunto de validação começa a aumentar.

Abaixo, segue a Figura 15 que representa uma ilustração da estrutura da rede neural que está sendo empregada nesta dissertação, conforme os métodos mencionados acima.

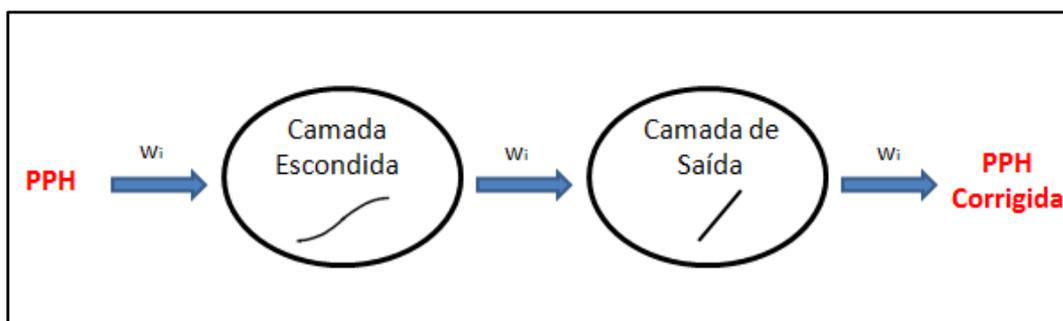


Figura 16 – Ilustração da estrutura geral da rede neural

5 Resultados Experimentais

Os dados que compõem o estudo de caso foram coletados em 30 (trinta) domicílios que utilizam o chuveiro elétrico, a fim de mapear o comportamento do uso do equipamento. Contudo, foram utilizados os dados de apenas 29 residências para estimar os fatores de correção horários mensal, pois houve uma casa em que a medição do chuveiro elétrico ocorreu a cada 15 (quinze) minutos ao invés dos 5 (cinco) minutos de intervalo empregados nas demais residências.

Para a extração do consumo de energia do chuveiro elétrico, considerando os dados da PPH, foram extraídas da pesquisa informações como o número de banhos ao dia, tempo de duração e os seus respectivos horários.

Na medição, o consumo de energia em *kWh* é estimado em intervalos de 5 (cinco) minutos, mas, como a curva de carga da PPH é horária, os dados da medição foram agregados de hora em hora, a fim de obter o consumo horário mensal.

A Figura 17 apresenta o consumo médio mensal do chuveiro elétrico por domicílio, conforme a PPH e a medição. Graficamente, observa-se que o consumo médio declarado pela PPH na maioria das residências está acima do consumo real (medição), o que demonstra que a curva de carga obtida pela PPH não reflete a realidade do consumo de energia deste aparelho, fazendo com que as informações obtidas sejam inexatas.

A preparação das bases de dados foi útil para atingir o principal objetivo desta dissertação, que é o mapeamento da curva de carga horária do chuveiro elétrico com o menor erro de estimação. Nas próximas seções serão descritas mais detalhadamente o passo a passo das etapas deste estudo.

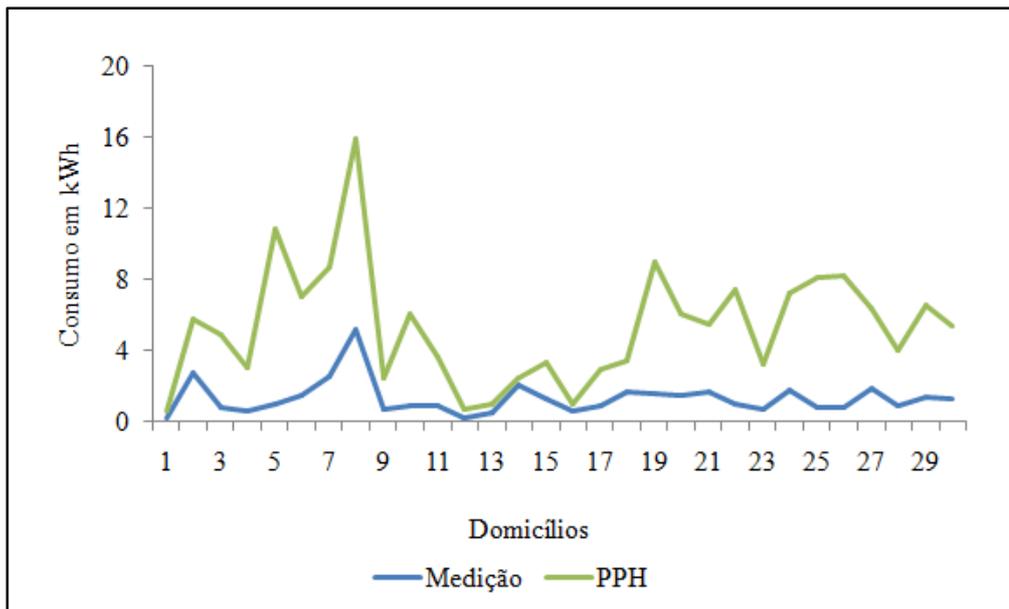


Figura 17 – Consumo médio mensal em kWh do chuveiro elétrico por domicílio

5.1 Estimação do tempo médio de banho

O primeiro passo foi analisar os dados ausentes da variável número de banhos ao dia. Logo, foi calculada a média do número de banhos de todos os indivíduos dos 30 (trinta) domicílios. Assim, os dados faltantes foram substituídos por 1,67 banhos, que representa o número médio de banhos declarados da amostra.

A Tabela 5 mostra a relação do tempo médio de banho por domicílio, considerando os dados da PPH. Além disso, mostra-se em percentual, o quanto o chuveiro elétrico representa no consumo total de uma residência.

Para o cálculo do tempo médio de banho, considerando os dados da PPH, foi realizada a média ponderada da declaração do número de banhos ao dia e a duração por indivíduo numa determinada residência, conforme a Eq. (1) (Capítulo 2).

Por exemplo, no domicílio 5, para estimar o tempo de duração no banho na PPH foi aplicada a Eq. (1) conforme descrita abaixo:

$$\text{Tempo médio de banho}_{PPH} = \frac{2 * 10 + 2 * 20 + 2 * 20 + 1 * 10}{2 + 2 + 2 + 1} = 15,7$$

Portanto, conforme as informações da PPH, o tempo médio de banho de cada morador no domicílio 5 é de aproximadamente 15,7 minutos. Assim, o mesmo procedimento foi realizado para as demais residências.

Tabela 7 – Estimação do tempo médio de banho da PPH

| Domicílio | Potência do chuveiro elétrico - <i>W</i> | Nº de pessoas no domicílio | Tempo médio banho estimado - <i>kWh</i> | Contribuição do Chuveiro Elétrico no Consumo Final |
|-------------------------------|--|----------------------------|---|--|
| 1 | 4000 | 1 | 7,0 | 8% |
| 2 | 5500 | 3 | 8,0 | 24% |
| 3 | 4500 | 2 | 12,5 | 26% |
| 4 | 5500 | 2 | 12,5 | 29% |
| 5 | 4500 | 4 | 15,7 | 34% |
| 6 | 4000 | 3 | 16,0 | 32% |
| 7 | 5500 | 4 | 10,3 | 24% |
| 8 | 5500 | 4 | 14,7 | 33% |
| 9 | 5500 | 2 | 10,0 | 14% |
| 10 | 5500 | 3 | 10,0 | 81% |
| 11 | 5500 | 3 | 10,0 | 51% |
| 12 | 4500 | 2 | 7,0 | 15% |
| 13 | 4500 | 1 | 10,0 | 16% |
| 14 | 5500 | 2 | 4,0 | 18% |
| 15 | 4000 | 4 | 9,5 | 22% |
| 16 | 5500 | 1 | 8,0 | 55% |
| 17 | 4500 | 1 | 10,0 | 7% |
| 18 | 4500 | 4 | 3,9 | 11% |
| 19 | 5500 | 3 | 15,0 | 67% |
| 20 | 5500 | 2 | 12,5 | 23% |
| 21 | 4500 | 3 | 9,3 | 17% |
| 22 | 4500 | 2 | 15,0 | 19% |
| 23 | 4000 | 7 | 9,3 | 48% |
| 24 | 5500 | 4 | 6,8 | 30% |
| 25 | 5500 | 3 | 10,0 | 20% |
| 26 | 4600 | 2 | 13,5 | 72% |
| 27 | 4600 | 4 | 11,7 | 148% |
| 28 | 4000 | 5 | 7,2 | 38% |
| 29 | 4500 | 3 | 8,2 | 39% |
| 30 | 4500 | 4 | 5,5 | 31% |
| Média das estimativas: | | 3 | 10,1 | 35% |

Em relação à estimação do tempo médio de banho, considerando os dados da medição, utilizou-se como base a Tabela 6 (Capítulo 3). Por exemplo, para calcular o tempo médio de banho, considerando o consumo real do domicílio 5, inicialmente, calculou-se o gasto de energia do chuveiro elétrico na residência no

período de uma semana. Em seguida calculou-se o consumo em *kWh* por dia, conforme a Eq. (5) (Capítulo 3).

$$\text{Consumo por dia} = \frac{4,989}{7} = 0,7127 \text{ kWh}$$

Posteriormente, calculou-se o consumo médio de energia por morador da residência 5, conforme Eq. (6) (Capítulo 3).

$$\text{Consumo por indivíduo ao dia} = \frac{0,7127}{4} = 0,1781 \text{ kWh}$$

Destarte, com base no consumo médio por indivíduo ao dia, para se obter o tempo médio de banho, basta cruzar, na Tabela 6 (Capítulo 3), o consumo em kWh com a potência do chuveiro elétrico. Dessa forma, para um consumo de 0,1781 kWh, considerando a potência do chuveiro elétrico de 4500 W, a duração média do banho de um morador no domicílio 5 é de aproximadamente 3 minutos.

A Tabela 8 demonstra, para os demais domicílios, o tempo médio de banho, considerando os dados da medição. Além disso, demonstra uma estimativa da contribuição percentual do chuveiro elétrico na conta de luz.

Ao comparar o tempo médio de banho declarado (Tabela 7) com o tempo real (Tabela 8), observa-se que o resultado da PPH está superestimado em relação à medição (que representa o consumo real), o que denota um erro de estimação em relação aos resultados da PPH (que é uma pesquisa declaratória).

Desse modo, no domicílio 5, o tempo médio de banho por indivíduo são de 3 (três) minutos, enquanto na PPH no mesmo domicílio, a duração foi de 15,7 minutos. Isto demonstra que os dados da PPH não correspondem à realidade. A discrepância entre as informações pode ser explicada, em parte, ao fato de, quando um indivíduo declara o seu tempo de banho, ele estima o tempo que fica no banheiro, desconsiderando o período em que o chuveiro está desligado.

Além disso, no domicílio 27, conforme a Tabela 7, verifica-se que a parcela do chuveiro elétrico na conta de luz são de 148%, considerando a declaração da PPH, o que não reflete a realidade, pois na Tabela 8 que representa o consumo

real, a contribuição deste equipamento na conta de luz é de apenas 23%. Isso confirma os erros de estimação dos dados apresentados na PPH.

Tabela 8 – Estimação do tempo médio de banho da medição

| Domicílio | Potência <i>W</i> | Nº de pessoas | Consumo estimado por indivíduo no dia | Tempo médio de banho estimado | Contribuição do Chuveiro Elétrico no Consumo Final |
|-------------------------------|----------------------|------------------|--|--|---|
| 1 | 4000 | 1 | 0,148 | 3,0 | 3% |
| 2 | 5500 | 3 | 0,689 | 8,0 | 23% |
| 3 | 4500 | 2 | 0,299 | 4,0 | 8% |
| 4 | 5500 | 2 | 0,235 | 3,0 | 6% |
| 5 | 4500 | 4 | 0,178 | 3,0 | 5% |
| 6 | 4000 | 3 | 0,360 | 6,0 | 11% |
| 7 | 5500 | 4 | 0,488 | 6,0 | 12% |
| 8 | 5500 | 4 | 0,988 | 11,0 | 24% |
| 9 | 5500 | 2 | 0,239 | 3,0 | 4% |
| 10 | 5500 | 3 | 0,231 | 3,0 | 20% |
| 11 | 5500 | 3 | 0,223 | 3,0 | 12% |
| 12 | 4500 | 2 | 0,071 | 1,0 | 2% |
| 13 | 4500 | 1 | 0,339 | 5,0 | 7% |
| 14 | 5500 | 2 | 0,763 | 9,0 | 37% |
| 15 | 4000 | 4 | 0,241 | 4,0 | 8% |
| 16 | 5500 | 1 | 0,416 | 5,0 | 31% |
| 17 | 4500 | 1 | 0,677 | 10,0 | 6% |
| 18 | 4500 | 4 | 0,314 | 5,0 | 12% |
| 19 | 5500 | 3 | 0,397 | 5,0 | 19% |
| 20 | 5500 | 2 | 0,572 | 7,0 | 11% |
| 21 | 4500 | 3 | 0,419 | 6,0 | 10% |
| 22 | 4500 | 2 | 0,381 | 6,0 | 6% |
| 23 | 4000 | 7 | 0,443 | 7,0 | 34% |
| 24 | 5500 | 4 | 0,130 | 2,0 | 6% |
| 25 | 5500 | 3 | 0,449 | 5,0 | 10% |
| 26 | 4600 | 2 | 0,292 | 4,0 | 20% |
| 27 | 4600 | 4 | 0,141 | 2,0 | 23% |
| 28 | 4000 | 5 | 0,274 | 5,0 | 21% |
| 29 | 4500 | 3 | 0,224 | 2,0 | 14% |
| 30 | 4500 | 4 | 0,259 | 4,0 | 19% |
| Média das estimativas: | | 3 | 0,3627 | 4,90 | 14% |

5.2

Estimação dos coeficientes de ajuste por Regressão linear simples

Primeiramente, antes da aplicação da presente metodologia, comparou-se a curva de carga da PPH com a curva de carga das medições hora a hora, conforme

a Figura 11 (Capítulo 4). Essas curvas foram obtidas pelas médias das correspondentes curvas nos domicílios para cada hora do dia.

Como observado na Figura 11 (Capítulo 4), verifica-se uma discrepância entre a curva declarada e a da medição ao longo das horas do dia, exceto nos horários na madrugada, quando praticamente não existem diferenças.

O primeiro passo para a aplicação da regressão linear é a análise do grau de associação entre as variáveis em estudo. Fez-se uma análise das correlações horárias entre os dados declarados e os medidos. Observando os coeficientes de correlação entre as 29 (vinte e nove) observações de medição e da PPH por hora, notou-se que, no período entre 1 hora e 4 horas da manhã, a correlação dessas horas é igual a zero, pois não houve declaração de uso do chuveiro elétrico neste período, e assim, não foi possível obter a correlação.

A média das correlações horárias das demais horas do dia que ocorreu o registro das medições e das declarações da PPH é igual a $r = 0,340$, o que significa que há uma fraca correlação entre a Medição e a PPH, conforme pode-se observar na Figura 18.

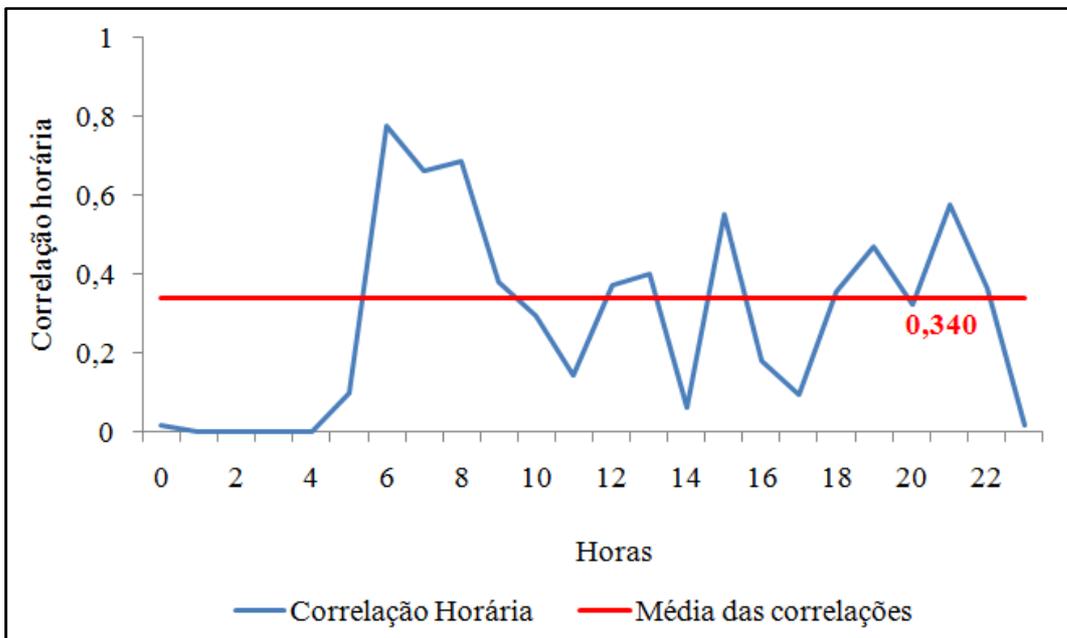


Figura 18 – Coeficiente de correlação entre os dados da PPH e da medição por hora

Após a verificação das correlações horárias, pode-se aplicar a técnica de regressão linear simples, com o propósito de obter os fatores de correção para cada hora do dia (exceto para o período de 1 hora às 4 horas da manhã). Como

não foram obtidos bons resultados utilizando a equação de regressão completa, com o intercepto (β_0) e o coeficiente angular (β_1), a equação do presente modelo será dada pela Eq. (13), onde h representa a hora correspondente para o cálculo do coeficiente de ajuste da curva de carga.

$$PPH_{Corrigida,h} = \beta_h PPH_h \quad (13)$$

A Tabela 9 apresenta os resultados dos coeficientes de estimação para as 24 horas do dia e o p – valor do teste T – student que testa a significância do coeficiente angular hora a hora.

Segundo Hines *et al.* (2006), o p – valor é a probabilidade da estatística de teste assumir um valor no mínimo tão extremo quanto o valor observado da estatística, quando H_0 é verdadeira. Em geral, se p – valor for menor ou igual ao nível de significância do teste ($\alpha = 5\%$), o coeficiente em teste é significativo, enquanto se o p – valor exceder, deixa-se de rejeitar H_0 .

Ao observar a Tabela 9, nota-se que entre 1 hora e 4 horas da manhã, não foi possível obter coeficientes de ajuste para mapear a curva de carga do chuveiro elétrico. Além disso, em alguns períodos, como meia-noite, o coeficiente angular não foi significativo ao modelo. Portanto, a metodologia aplicada por hora para obter os fatores de correção horários, não foi eficiente.

Tabela 9 – Estimativa dos coeficientes angulares por hora

| Horas | β_1 | $p - valor$ | |
|-------|-----------|-------------|---|
| 0 | 0,056 | 0,640 | |
| 1 | - | - | |
| 2 | - | - | |
| 3 | - | - | |
| 4 | - | - | |
| 5 | 0,126 | 0,361 | |
| 6 | 0,108 | 0,000 | * |
| 7 | 0,160 | 0,000 | * |
| 8 | 0,120 | 0,000 | * |
| 9 | 0,059 | 0,005 | * |
| 10 | 0,109 | 0,010 | * |
| 11 | 0,076 | 0,083 | |
| 12 | 0,100 | 0,001 | * |
| 13 | 0,122 | 0,003 | * |
| 14 | 0,153 | 0,452 | |
| 15 | 0,111 | 0,002 | * |
| 16 | 0,062 | 0,131 | |
| 17 | 0,055 | 0,067 | |
| 18 | 0,100 | 0,001 | * |
| 19 | 0,127 | 0,000 | * |
| 20 | 0,075 | 0,003 | * |
| 21 | 0,155 | 0,000 | * |
| 22 | 0,096 | 0,000 | * |
| 23 | 0,125 | 0,151 | |

* O parâmetro é significativo ao modelo ao nível de significância de 5%

A alternativa foi agrupar os períodos do dia que tendem a ter comportamentos semelhantes, obtendo assim, um fator de correção para cada grupo horário. Além disso, foram considerados apenas os pares da PPH e da medição que possuem valores maiores que 0 para cada grupo.

A Figura 19 mostra os coeficientes de correlação por grupo horário, podendo-se observar que a média das correlações ($r = 0,465$) é maior que a média das correlações horárias. Ou seja, os dados agrupados em períodos do dia,

possuem um grau de associação entre as variáveis maior do que as informações isoladas hora a hora.

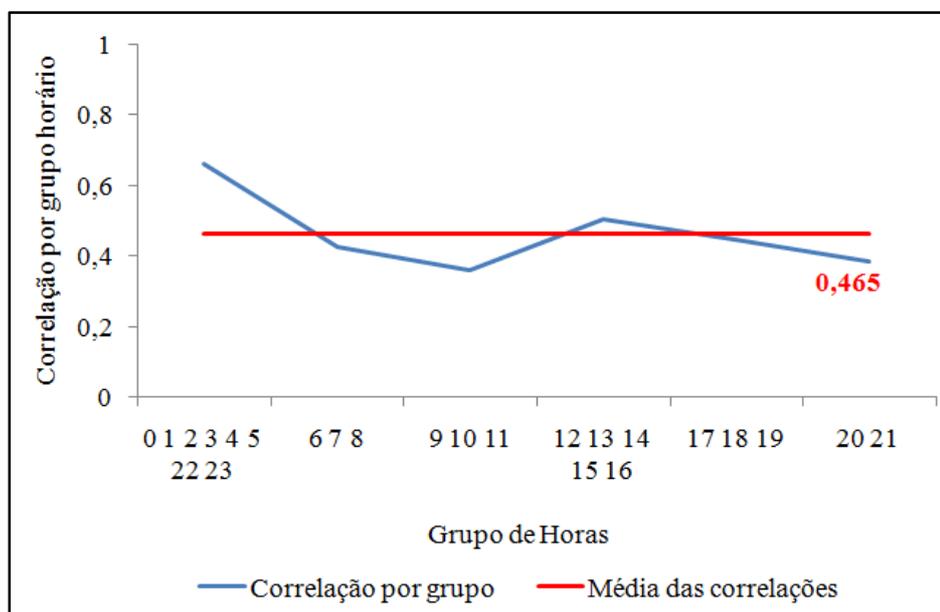


Figura 19 – Coeficiente de correlação entre os dados da PPH e da medição por grupo horário

Visto que a análise de correlação foi adequada para o novo pré-processamento das informações, aplicou-se novamente a regressão linear simples aos conjuntos de dados. Os resultados dos coeficientes angulares por grupo horário se encontram na Tabela 10.

Tabela 10 – Estimativa dos coeficientes angulares por grupo horário

| Grupo de horas | β_1 | p – valor |
|-------------------|-----------|-------------|
| 0 1 2 3 4 5 22 23 | 0,135 | 0,000 * |
| 6 7 8 | 0,136 | 0,000 * |
| 9 10 11 | 0,062 | 0,000 * |
| 12 13 14 15 16 | 0,099 | 0,000 * |
| 17 18 19 | 0,084 | 0,000 * |
| 20 21 | 0,110 | 0,000 * |

* O parâmetro é significativo ao modelo ao nível de significância de 5%

Verifica-se que a nova organização das informações foi mais adequada, pois, além de apresentar um grau de correlação maior entre as variáveis, os coeficientes angulares foram significativos para todos os grupos horários. Com

isso, é possível mapear a curva de carga horária mensal para o chuveiro elétrico, utilizando o método de regressão linear, visto que há um fator de correção para cada hora do dia.

Observa-se na Figura 20 o mapeamento da curva de carga horária estimada (em vermelho), considerando o método da regressão. Nota-se que a PPH corrigida está seguindo o comportamento da curva real, principalmente entre o período de 0 hora às 9 horas da manhã e às 22 horas. Entretanto, na maioria dos horários, esta curva subestimou os banhos.

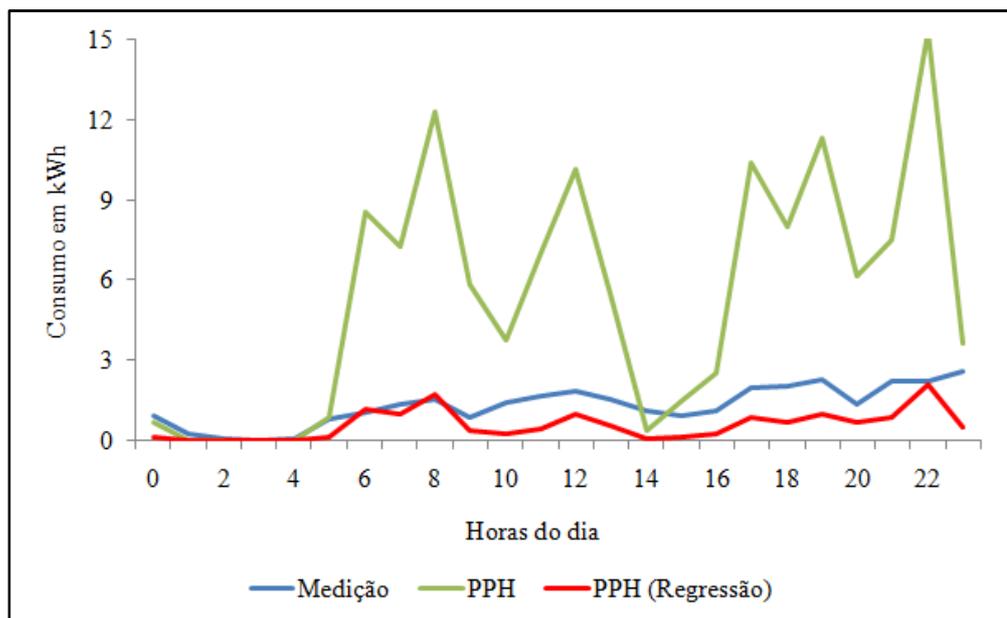


Figura 20 – Curva de carga horária mensal em kWh do chuveiro elétrico

Após a apresentação do método de estimação da curva de carga corrigida por regressão linear simples, na próxima seção será apresentada a metodologia de redes neurais, que possui a mesma finalidade no presente estudo.

5.3 Correção dos dados da PPH por Redes Neurais

Inicialmente, os dados referentes ao consumo de energia, tanto da PPH quanto os obtidos com a medição, estão definidos por hora (que se iniciam a 0 hora até as 23 horas) para cada residência. No caso do chuveiro elétrico, há muitas observações com o consumo de 0 kWh, o que implicaria na dificuldade de aprendizado da rede neural, pois a mesma estaria aprendendo padrões pontuais

que não são relevantes no âmbito global do problema. Desse modo, foram excluídos da base de dados todos os campos que continham o consumo de energia igual a 0 kWh das medições e construiu-se uma nova base de dados com todas as medições maiores que 0 e com os respectivos valores das PPH que correspondem ao da medição.

Com isso, foi configurada uma nova base de dados com 119 observações, com o novo pré-processamento, contendo um campo com todos os dados da medição maior que 0 kWh e outro campo com os respectivos valores obtidos na medição, com a intenção de confrontar o valor do consumo declarado com o consumo real de energia elétrica. Estes dados estão apresentados na Figura 21.

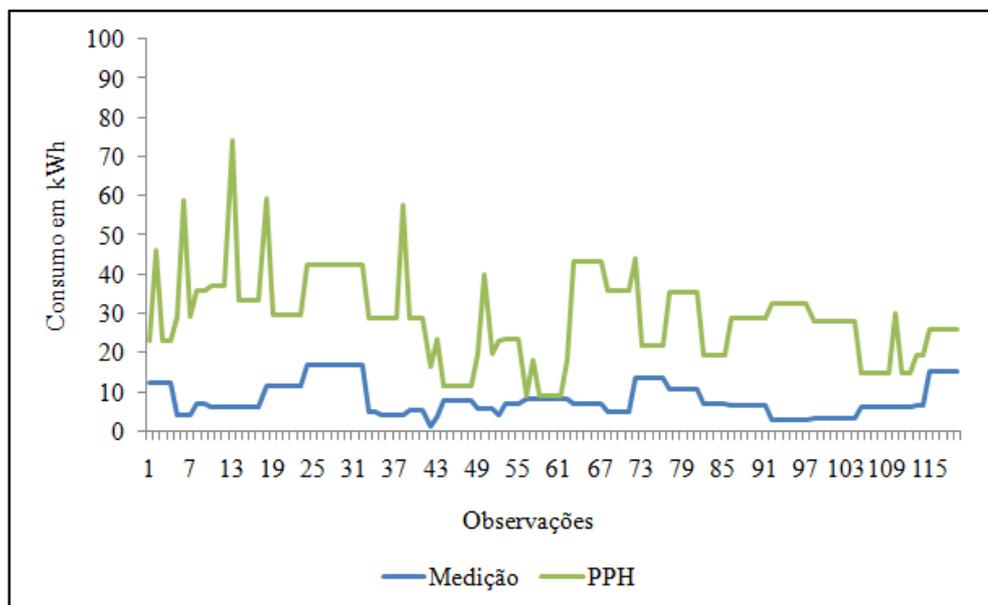


Figura 21 – Consumo em kWh do chuveiro elétrico por observação

Em relação à topologia da Rede Neural Artificial, utilizou-se a MultiLayer Perceptron Feed-forward, com apenas um neurônio de saída, correspondendo à PPH corrigida, e um neurônio de entrada, correspondendo à PPH originalmente declarada.

As redes neurais empregadas possuem uma camada escondida com a função de ativação tansig (tangente hiperbólica) que segundo Beale, Hagan e Demuth (2014) é uma função muito utilizada para o reconhecimento de padrões, enquanto o neurônio de saída possui uma função puramente linear.

Por ser uma rede do tipo MultiLayer Perceptron, o método de aprendizado é o supervisionado, pois almeja-se obter um modelo que relacione uma entrada a

uma determinada saída, utilizando-se valores existentes de saída como alvos a serem atingidos. No caso desta aplicação, os valores da medição; que representam o consumo real, são utilizados como alvos no processo de treinamento supervisionado.

A fim de obter resultados consistentes e com o menor erro de estimação, testaram-se 30 diferentes topologias de redes neurais, variando o número de neurônios na camada escondida entre 1 (um) e 30 (trinta). Para cada topologia foram treinadas 10 (dez) redes.

Considerando-se a melhor rede entre as 300 (trezentas) configurações aquela que possui o menor erro quadrático médio (EQM). A rede neural ótima foi identificada possuindo 5 (cinco) neurônios na camada escondida, apresentando um EQM igual a 5,473 kWh

Abaixo, segue a ilustração do mapeamento da curva de carga corrigida pelo método de rede neural. Esta figura contém a curva de carga média da PPH, da medição e da PPH_{Redes Neurais}, que é a PPH corrigida da rede neural, treinada conforme descrito acima. Nota-se que a PPH corrigida possui o mesmo comportamento da curva da medição, principalmente no horário entre 0 hora e 9 horas da manhã. Também para este caso, houve uma subestimação do consumo horário.

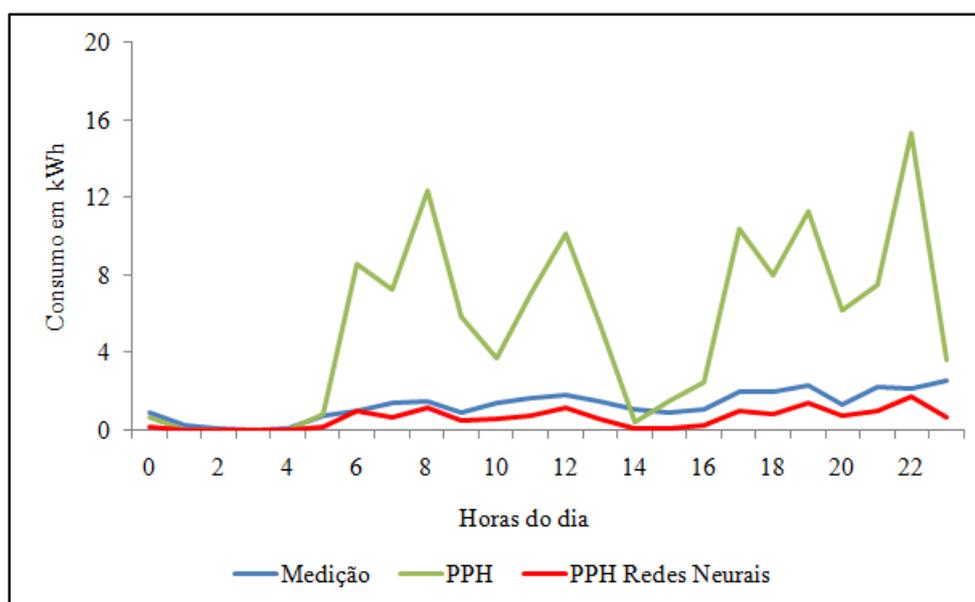


Figura 22 – Curva de carga horária mensal do chuveiro elétrico

Na próxima seção, são comparados os dois métodos empregados nesta dissertação.

5.4

Comparação da aplicação da técnica de Regressão linear simples e da Rede Neural

Ao se compararem os métodos utilizados para o mapeamento da curva de carga estimada do chuveiro elétrico, foi obtida a Figura 23, que ilustra o delineamento da curva de carga corrigida pelo método da regressão linear simples e pelo método da rede neural. Graficamente, verifica-se que as curvas estimadas pelas duas metodologias possuem o mesmo comportamento ao longo do dia.

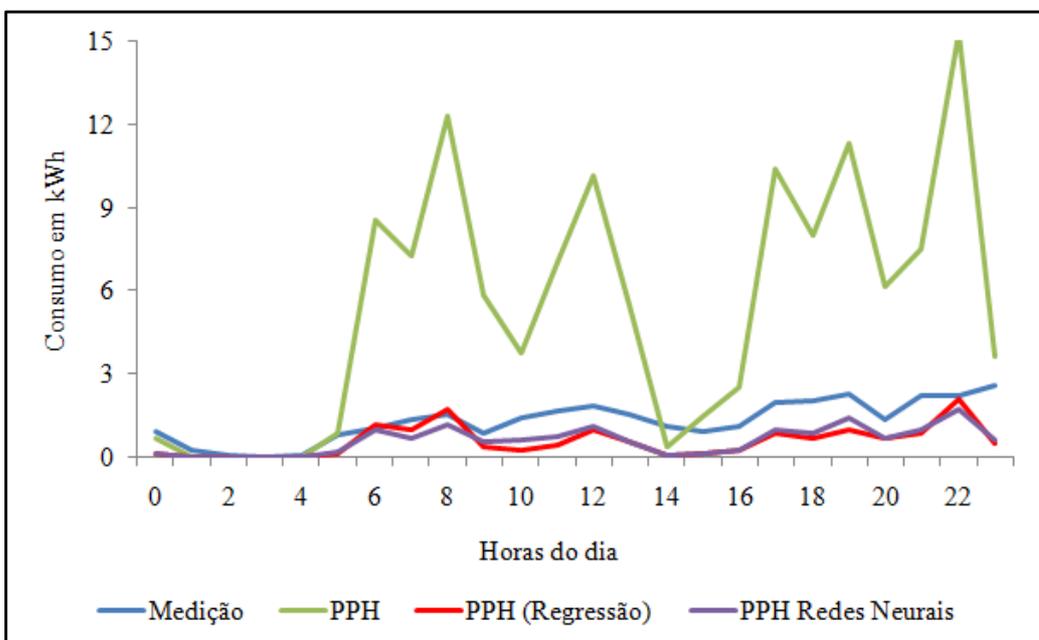


Figura 23 – Comparação da curva de carga estimada

A fim de verificar mais formalmente qual técnica é a mais adequada, foi calculado o erro quadrático médio (*EQM*) para obter o desempenho do modelo, e assim, comparar os resultados dos dois métodos utilizados para corrigir a curva de carga declarada.

Conforme Neter, Wasserman e Kutner (1997), o *EQM* é um estimador não tendencioso e, segundo Hines *et al.* (2006), o *EQM* é um critério importante para a comparação de dois estimadores. Abaixo, segue a equação geral do *EQM* para os métodos aplicados no presente estudo.

$$EQM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{29} (Medição_i - PPH_{(Corrigida,i)})^2}{n - 1}} \quad (14)$$

No método da regressão linear simples, o $EQM_{Regressão} = 0,9373$ kWh e, para o método da rede neural, o $EQM_{Rede Neural} = 0,8427$ kWh. Portanto, o método de redes neurais teve um ajuste melhor em relação à técnica estatística, mas a variação do erro quadrático médio da Rede Neural são 10% menor do que o erro quadrático médio da Regressão. Além disso, ao comparar o EQM dos dois métodos com o EQM da PPH em relação à medição, que foi igual a $5,7674$ kWh, nota-se que, em média, a estimação dos fatores de correção da PPH, por ambos os métodos, proporcionou uma redução de 85% do erro de estimação da curva de carga declarada, sobre a curva de carga real.

A Tabela 11 mostra, hora a hora, os coeficientes horários de correção pelo método de regressão linear simples e por redes neurais. No método linear, o coeficiente horário de correção é o mesmo do coeficiente angular (β_0). No método não-linear não é possível saber exatamente os fatores de correção, pois a saída da rede neural é uma função não-linear e o resultado é a própria PPH corrigida.

Assim, os resultados do coeficiente de correção horário da rede neural foram obtidos por estimativa, conforme a Eq. (15).

$$Coeficiente\ de\ correção\ da\ rede\ neural = \frac{PPH_{Rede\ Neural}}{PPH} \quad (15)$$

Tabela 11 – Fatores horários de correção da PPH

| Horas | Coeficientes de correção horário | |
|-------|----------------------------------|---------------|
| | Regressão linear simples | Redes Neurais |
| 0 | 0,135 | 0,192 |
| 1 | 0,135 | 0,000 |
| 2 | 0,135 | 0,000 |
| 3 | 0,135 | 0,000 |
| 4 | 0,135 | 0,000 |
| 5 | 0,135 | 0,198 |
| 6 | 0,136 | 0,115 |
| 7 | 0,136 | 0,091 |
| 8 | 0,136 | 0,096 |
| 9 | 0,062 | 0,091 |
| 10 | 0,062 | 0,158 |
| 11 | 0,062 | 0,102 |
| 12 | 0,099 | 0,110 |
| 13 | 0,099 | 0,104 |
| 14 | 0,099 | 0,188 |
| 15 | 0,099 | 0,071 |
| 16 | 0,099 | 0,088 |
| 17 | 0,084 | 0,097 |
| 18 | 0,084 | 0,105 |
| 19 | 0,084 | 0,123 |
| 20 | 0,110 | 0,113 |
| 21 | 0,110 | 0,129 |
| 22 | 0,135 | 0,112 |
| 23 | 0,135 | 0,177 |

A Figura 24 mostra o comportamento da PPH corrigida pelo método de Redes Neurais a partir da geração de um vetor aleatório que varia de 0 a 20 *kWh* aplicado à função da PPH corrigida, obtida a partir da aplicação do método de Redes Neurais aos dados da PPH. Esta figura comprova que a Rede Neural possui um comportamento não-linear, diferente do método de Regressão Linear.

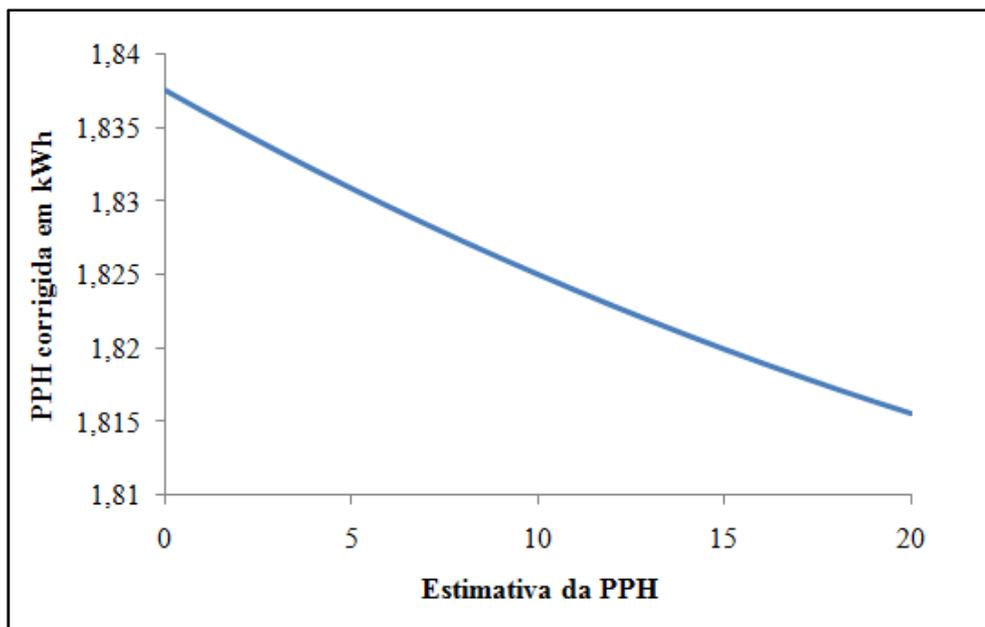


Figura 24 – Comportamento da PPH corrigida conforme a função da Rede Neural

6 Conclusões e Recomendações

A presente dissertação contribuiu para desenvolver modelos matemáticos capazes de analisar o comportamento do uso dos chuveiros elétricos. Desse modo, estes modelos são capazes de desenvolver fatores de correção que minimizem as inexatidões da PPH, e assim, obter uma curva de carga horária deste equipamento, corrigida pelos coeficientes de ajustes das curvas declaradas.

O primeiro passo para atingir os objetivos desta dissertação foi selecionar um grupo de 30 (trinta) domicílios que fazem uso do chuveiro elétrico, e desta maneira, aplicar a PPH para obter o comportamento declarado da utilização destes equipamentos, além de instalar medidores eletrônicos calibrados que são capazes de medir o consumo real dos chuveiros elétricos, com capacidade de armazenar os dados a cada 5 (cinco) minutos de uso do aparelho.

Destarte, com as informações da declaração da PPH sobre o número de banhos por dia, e a sua respectiva duração e o consumo em *kWh*, foi viável estimar o tempo de duração de um banho a fim de testar se o mesmo está compatível com a afirmação do Procel, que indica que em média um banho tem duração entre 8 a 10 minutos, verificando-se que as estimativas pelos dados da PPH estão próximas às do Procel, pois o tempo médio de banho declarado por indivíduo é de 10 minutos, enquanto o tempo médio real de banho é de 5 minutos, conforme os resultados obtidos neste estudo.

Contudo, para atender ao objetivo principal desta dissertação, foi essencial a identificação de métodos capazes de estimar os fatores horários de correção das declarações da PPH no caso desses equipamentos.

O método estatístico aplicado foi o de regressão linear simples, cuja finalidade neste caso foi estimar o coeficiente angular da equação da reta de regressão, e dessa forma, prever o verdadeiro consumo de energia do chuveiro elétrico por meio de um ajuste por fatores de correção (que são os coeficientes angulares), que são multiplicados pelos consumos horários da PPH.

O método de redes neurais artificiais, que têm a capacidade de reconhecer padrões, conhecendo-se a saída desejada, no caso o consumo real obtido com as medições eletrônicas. Dessa maneira, a rede neural artificial passou por um processo de aprendizagem de modo que os dados de consumo declarado da PPH pudessem ser processados até se obter uma saída (PPH corrigida) mais próxima ao consumo real. O resultado final da rede neural foi uma função não linear, que é capaz de estimar a PPH corrigida, a partir dos valores das PPH.

O método não-linear por redes neurais foi o mais adequado, pois o erro de estimação da PPH corrigida ($EQM_{Rede\ Neural} = 0,8427$ kWh) obtido por este método foi 10% inferior ao EQM obtido pelo método de Regressão Linear ($EQM_{Regressão} = 0,9373$ kWh). Além disso, estes erros de estimação das duas técnicas, representam, em média, uma redução de 85% do erro da curva de carga declarada pela PPH.

Sendo assim, é possível mapear a curva de carga estimada de chuveiros elétricos a partir das declarações da PPH, que é o resultado desta dissertação, trazendo diversos benefícios ao setor elétrico brasileiro, pois as empresas de distribuição de energia elétrica conhecerão com maior exatidão o comportamento de uso e do consumo de energia deste equipamento, podendo criar planos de ação para melhorar a qualidade e a confiabilidade da entrega de energia.

Além disso, o Estado, em parceria com as concessionárias de energia, pode incentivar programas de conscientização da população para o uso racional do chuveiro elétrico, podendo gerar redução tarifária através de implantação de medidas de GLD. O consumidor também será beneficiado, pois irá receber energia com mais qualidade, além de poder conhecer o impacto do chuveiro elétrico em sua conta de luz.

Em relação às recomendações futuras, propõe-se:

- Replicar o estudo em uma amostra que seja estatisticamente representativa. O aumento do tamanho da amostra proporcionará estimativas mais confiáveis sobre o comportamento da curva de carga deste equipamento.
- Desenhar um experimento que esteja segmentado por potência do chuveiro elétrico e por posição da chave, que pode ser inverno, verão ou outras, dependendo do tipo de equipamento.
- O desenho amostral também pode ser estratificado por faixa de consumo das residências.

- Obter um coeficiente horário para a correção da curva de carga declarada, e assim mapear a curva de carga corrigida para cada posição da chave do aparelho, e por tipo de potência.

7

Referência Bibliográfica

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **A sua conta de luz por sua conta**. Brasília: ANEEL, 2001.

_____. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil 3 Edição**. Aneel. Brasília. 2008a

_____. **Manual do programa de eficiência energética**. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília. 2008b

_____. **Resolução Normativa Nº 395**. Brasília: ANEEL 2009.

BARBOSA, A. H.; FREITAS, M. S. R.; NEVES, F. A. **Confiabilidade estrutural utilizando o método de Monte Carlo e redes neurais**. Revista Escola de Minas Gerais. Minas Gerais. 2005

BEALE, M. H.; HAGAN, M. T.; DEMUTH, H. B. **Neural Network Toolbox**. MATLAB. 2014

BRE BRAZIL ELETRONICS. **Relatório de Aferição**. BRe. Rio de Janeiro. 2014

CAMPOS, A. **Gerenciamento pelo lado da demanda: Um estudo de caso**. 2004. 95 (Mestre). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

CARMO, D. L. **Metodologia para a identificação de potencias usuários de conversão fotovoltaica: Estudo de caso de grandes clientes de uma concessionária de energia elétrica**. 2014. (Mestre). Programa de Pós-Graduação em Metrologia, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Redes Elétricas Inteligentes: contexto nacional**. Brasília. 2012

CERQUEIRA, E. O. D. A., JOÃO C. DE; POPPI, R. J. **REDES NEURAIIS E SUAS APLICAÇÕES EM CALIBRAÇÃO MULTIVARIADA**. UNICAMP. São Paulo. 2001

CONPET. **Programa Nacional De RacionalizaÇÃO Do Uso Dos Derivados Do PetrÓleo, E. D. O. GÁS Natural Conpet**. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: < http://www.conpet.gov.br/portal/conpet/pt_br/conteudo-gerais/conpet.shtml >. Acesso em: 14 de dezembro.

CUSTÓDIO, E. S. **Desenvolvimento de um micromedidor inteligente para gerenciamento pelo lado da demanda em redes elétricas inteligentes**. 2013. 123 (Mestre). Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

DANTAS, B. F. **Estimativa do impacto no consumo de energia causado pelo standby dos aparelhos eletroeletrônicos**. 2013. (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Metrologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

FIORIN, D. V. et al. **Aplicações de redes neurais e previsões de disponibilidade de recursos energéticos solares**. 2011

FÁVERO, L. P. et al. **Análise de dados Modelagem multivariada para a tomada de decisões**. São Paulo: Campus, 2009.

GONÇALVES, R. M. et al. **Modelagem preditiva de linha de costa utilizando redes neurais artificiais**. Boletim de ciências geodésicas. Paraná. 2010

HAIR, J. F. et al. **Análise multivariada de dados**. 5ª. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HINES, W. W. et al. **Probabilidade e Estatística na engenharia**. 4ª. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

LABORATÓRIOS ESPECIALIZADOS EM ELETRÔNICA DE CALIBRAÇÃO E ENSAIOS. **Certificado de Calibração nº E1554/2013**. Labelo/PUCRS. Rio Grande do Sul. 2013

LIMBERGER, M. A. **Estudo da tarifa branca para a classe residencial pela medição de consumo de energia e de pesquisa de posses e hábitos**. 2014. (Mestre). Programa de Pós-Graduação em Metrologia, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro.

MAROCO, J. **Análise estatística com a utilização do SPSS**. 3ª. Lisboa: Edições Sílabo, 2007.

MELO, A. P. **Desenvolvimento de um método para estimar o consumo de energia de edificações comerciais através da aplicação de redes neurais**. 2012. (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Avaliação da Eficiência energética na indústria e nas residências no horizonte decenal (2010-2019)**. Empresa de Pesquisa Energética, MME. Brasília. 2010

_____. **Plano Nacional de Eficiência Energética**. MME. Brasília. 2011

_____. **Avaliação da Eficiência Energética para os próximos 10 anos (2012-2021)**. EPE. Brasília. 2012

_____. **Balço Energético Nacional - Ano Base 2013**. MME - EPE. Brasília. 2014a

_____. **Demanda de energia 2050**. MME. Brasília. 2014b

NETER, J.; WASSERMAN, W.; KUTNER, M. H. **Applied linear statistical models**. 3ª. Estados Unidos: 1997.

NETTO, D. A. C. N. **Legitimação e ditadura: A propaganda comercial em foco**. ANPUH – XXV SIMPÓSIO NACIONAL DE HISTÓRIA. Fortaleza. 2009

OLIVEIRA, M. **Chuveiro Esperto**. São Paulo. 2007

ORTEGA, G. V. C. **Redes Neurais na Identificação de Perdas Comerciais do Setor Elétrico**. 2008. (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro.

PINHO, J. A. M. **Calibração de resultados de pesquisas de posses e hábitos pela medição eletrônica de consumo de eletrodomésticos**. 2013. (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Metrologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

POWERSAVE. **Descrição de Funcionamento do Medidor Powersave USB versão 2.0**. Powersave. Rio de Janeiro. 2012

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Avaliação do mercado de eficiência energética do Brasil**. Eletrobrás. Rio de Janeiro. 2005

_____. **Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso - Ano Base 2005 (Classe Residêncial)**. Eletrobrás. Rio de Janeiro. 2007

RIZZI, C. B. et al. **Fazendo uso da categorização de textos em atividades empresariais**. Symposium on Knowledge Discovery. 2000

SANCHEZ, E. C. M. **Controle por aprendizado acelerado e Neuro-Fuzzy de sistemas servo - hidráulicos de alta frequência**. 2009. (Mestre). Programa de Pós-Graduação em engenharia mecânica, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro.

SILVA, R. M.; ALMEIRA, T. A.; YAMAKAMI, A. **Análise de desempenho de redes neurais artificiais para classificação automática de web spam**. Rio Grande do Sul, p.42 - 57. 2012

SINPHA. Sistema de Informação de Posses e Hábitos de Uso de Aparelhos Elétricos. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BA6340DFB-8A42-41FC-A79D-B43A839B00E9%7D&Team=¶ms=itemID=%7BA797016A-8D13-4E7B-B5C3-0ECE28880269%7D>>. Acesso em: 26 de fevereiro.

SIPPEL, C. **Avaliação do projeto de eficiência energética com utilização de chuveiros elétricos com base recuperadora de calor aplicados em populações de baixo poder aquisitivo.** 2014. Engenharia Mecânica, Universidade, Caxias do Sul.

SOUZA, H. M. et al. **Reflexões Sobre os Principais Programas em Eficiência Energética Existentes no Brasil.** Minas Gerais, p.7 - 26. 2009

SOUZA, R. C. **Padrões de Consumo, Importância dos Comportamentos, Medição e Verificação.** Universidade de Coimbra. Portugal. 2011

Anexo I – Questionário de Coleta de Dados da PPH

IMPACTO DO CHUVEIRO ELÉTRICO NO INVERNO

1.1 - UC: _____ 1.2 – CONSUMO MÉDIO: _____

1.3 – FAIXA DE CONSUMO DO CLIENTE (kWh):

1. 0 a 150 kWh 2. 151 a 220 kWh 3. 221 a 400 kWh 4. > 400kWh

1.4 – ENTREVISTADO: _____

1.5 – ENDEREÇO: _____

1.6 – BAIRRO: _____ 1.7 – MUNICÍPIO: _____

1.8 – TELEFONE: _____ 1.9 – DATA DA ENTREVISTA: ____/____/2014

1.10 – CONCESSIONÁRIA: _____

1.11 – QUANTIDADE DE PESSOAS QUE MORAM NO DOMICÍLIO: _____

CRIANÇAS (ATÉ 17 ANOS): _____ ADULTOS (≥ 18 ANOS): _____ IDOSOS (>65 ANOS): _____

1.12 – LISTE AS PESSOAS QUE MORAM NESTE DOMICÍLIO, ESPECIFICANDO GRAU DE PARENTESCO OU RELAÇÃO COM A PESSOA RESPONSÁVEL PELO DOMICÍLIO, IDADE, SEXO, NÍVEL DE INSTRUÇÃO E PERÍODO HABITUAL DE PERMANÊNCIA NO DOMICÍLIO:

| 1.12.1 MEMBRO | 1.12.2 CONDIÇÃO NO DOMICÍLIO (1) | | | | | 1.12.3 IDADE | 1.12.4 SEXO | |
|------------------|--|---|---|---|---|-----------------|----------------|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | M | F |
| 1) | | | | | | | | |
| 2) | | | | | | | | |
| 3) | | | | | | | | |
| 4) | | | | | | | | |
| 5) | | | | | | | | |
| 6) | | | | | | | | |
| 7) | | | | | | | | |
| 8) | | | | | | | | |
| 9) | | | | | | | | |
| 10) | | | | | | | | |

CHAMADA: (1)

(1) PESSOA RESPONSÁVEL FINANCEIRAMENTE PELO DOMICÍLIO

(2) CÔNJUGE/COMPANHEIRO(A) (NÃO RESPONSÁVEL PELO DOMICÍLIO)

(3) FILHO

(4) EMPREGADO DOMÉSTICO (5) OUTRO

2.3 QUAL A POSIÇÃO EM QUE SE ENCONTRA A CHAVE DO CHUVEIRO NO MOMENTO DA PESQUISA ?

1. VERÃO 2. INVERNO 3. INTERMEDIÁRIO 4. DESLIGADO

2.4 –QUANTIDADE DE CHUVEIROS ELÉTRICOS EM USO NO DOMICÍLIO: _____

2.5 – SELECIONE OS 4 PRINCIPAIS CHUVEIROS ELÉTRICOS DO DOMICÍLIO E PREENCHA AS CARACTERÍSTICAS DE CADA UM NA TABELA ABAIXO:

| REF. | 2.5.1 TIPO DE APARELHO (VER CARTÃO 5) | 2.5.2 Nº DE BANHOS POR DIA | 2.5.3 NÚMERO DE BANHOS POR DIA POR POSIÇÃO DA CHAVE DO CHUVEIRO | | | 2.5.4 POTENCIA | 2.5.5 MARCA |
|------|--|-------------------------------------|--|-------|---------|-------------------|----------------|
| | CÓDIGO | | DESLIGADO | VERÃO | INVERNO | | |
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |

2.6 – HÁBITOS DE USO DO CHUVEIRO ELÉTRICO NOS DIAS DE SEMANA.

| Nº REF | NÚMERO DE BANHOS COM O CHUVEIRO ELÉTRICO QUE ACONTECEM NOS HORÁRIOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

NOTA: OS CAMPOS DEVEM SER PREENCHIDOS COM O **NÚMERO DE BANHOS** QUE USAM O CHUVEIRO ELÉTRICO NOS HORÁRIOS CORRESPONDENTES, ADMITINDO A POSSIBILIDADE DE UM INDIVÍDUO TOMAR MAIS DE UM BANHO POR DIA.

2.7 – QUAL O TEMPO MÉDIO DO BANHO (TEMPO MÉDIO EM QUE A ÁGUA FICA LIGADA) DE CADA MORADOR NO INVERNO?

2.8 –TEMPO MÉDIO DO BANHO NA RESIDENCIA NO INVERNO (TEMPO MÉDIO EM QUE A ÁGUA FICA LIGADA) ?

1. ATÉ 5 MIN 2. 5 A 10 MIN 3. 10 A 15 MIN
 4. MAIS DE 15 MIN 99. NÃO SABE / NR

2.9 - INDIQUE O NÚMERO DE CÔMODOS EXISTENTE EM SEU DOMICÍLIO.

| TIPO DE COMODO | QUANTIDADE |
|---|------------|
| SALA | |
| QUARTOS (INCLUI O QUARTO DE EMPREGADA) | |
| BANHEIROS (INCLUI O DE EMPREGADA E LAVABO) | |
| COZINHA | |
| AREA DRE SERVICO | |
| VARANDA | |
| TOTAL DE COMODOS | |

3.0 – POSSE DE EQUIPAMENTOS

| APARELHO | QUANTIDADES | APARELHO | QUANTIDADES | APARELHO | QUANTIDADES |
|--------------------------------|-------------|----------------------------------|-------------|--------------------------------|-------------|
| 1. APARELHO DE SOM | | 16. DVD | | 31. SECADOR DE CABELO | |
| 2. COMPUTADOR | | 17. IMPRESSORA | | 32. PRANCHA ALISADORA (CABELO) | |
| 3. NOTEBOOK / LAPTOP | | 18. CAFETEIRA ELÉTRICA | | 33. BATEDEIRA | |
| 4. MICROONDAS | | 19. TV POR ASSINATURA (aparelho) | | 34. AQUECEDOR DE AMBIENTE | |
| 5. TORNEIRA ELÉTRICA | | 20. ROTEADOR DE REDE SEM FIO | | 35. BEBEDOURO ELÉTRICO | |
| 6. VIDEO GAME | | 21. NOBREAK | | 36. GRILL | |
| 7. FERRO ELÉTRICO | | 22. PAINEL ELÉTRICA | | 37. TORRADEIRA ELÉTRICA | |
| 8. FORNO ELÉTRICO | | 23. EXAUSTOR | | 38. TV LCD | |
| 9. MAQ. LAVA ROUPA | | 24. ENCERADEIRA | | 39. TV DE TUBO | |
| 10. MAQ. LAVA LOUÇA | | 25. ASPIRADOR DE PÓ | | | |
| 11. SECADORA DE ROUPA | | 26. BOMBA D'ÁGUA | | | |
| 12. VENTILADOR DE TETO | | 27. HIDROMASSAGEM | | | |
| 13. CIRCULADOR / VENT. DE MESA | | 28. VAPORETTO | | | |
| 14. RÁDIO ELÉTRICO | | 29. MÁQUINA DE COSTURA ELÉT. | | | |
| 15. BLU RAY | | 30. LIQUIDIFICADOR | | | |

4.0 – REFRIGERADOR

4.1 – QUANTIDADE DE REFRIGERADORES (GELADEIRAS) NO DOMICÍLIO: _____

4.2 – SELECIONE OS 3 PRINCIPAIS REFRIGERADORES DO DOMICÍLIO E PREENCHA AS CARACTERÍSTICAS DE CADA UM, NA TABELA ABAIXO:

| REF. | 4.2.1 TIPO DE APARELHO (VER CARTÃO 1) | 4.2.2 IDADE DO APARELHO (em anos) | 4.2.3 CONSUMO MÉDIO | 4.2.4 POTÊNCIA |
|------|--|---|---------------------------|-------------------|
| | CÓDIGO | | | |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |

5.0 – FREEZER

5.1 – QUANTIDADE DE FREEZERS NO DOMICÍLIO: _____

5.2 – SELECIONE OS 3 PRINCIPAIS FREEZERS DO DOMICÍLIO E PREENCHA AS CARACTERÍSTICAS DE CADA UM, NA TABELA ABAIXO:

| REF. | 5.2.1 TIPO DE APARELHO (VER CARTÃO 2) | 5.2.2 IDADE DO APARELHO (em anos) | 5.2.3 CONSUMO MÉDIO | 5.2.4 POTÊNCIA |
|------|--|---|---------------------------|-------------------|
| | CÓDIGO | | | |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |

6.0 – AR CONDICIONADO

6.1 – QUANTIDADE DE APARELHO DE AR CONDICIONADO POR TIPO NO DOMICÍLIO: _____

6.2 – SELECIONE OS 4 PRINCIPAIS CONDICIONADORES DE AR DO DOMICÍLIO E PREENCHA AS CARACTERÍSTICAS DE CADA UM, NA TABELA ABAIXO:

| REF. | 6.2.1 TIPO DE APARELHO (VER CARTÃO 3) | 6.2.2 TIPO 1-janela 2-split | 6.2.3 IDADE DO APARELHO (em anos) | 6.2.4 QTD BTU'S | 6.2.5 CONSUMO MÉDIO | 6.2.6 POTÊNCIA |
|------|--|--------------------------------------|---|--------------------|---------------------------|-------------------|
| | CÓDIGO | | | | | |
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |

7.0 – POSSE DE LÂMPADAS

| TIPO DE CÔMODO | LÂMPADAS | |
|-------------------------------|----------|-------------|
| | Total | Typo (1) |
| Sala de estar, Jantar e TV | | |
| Quarto 1 | | |
| Quarto 2 | | |
| Quarto 3 | | |
| Quarto 4 | | |
| Banheiro 1 | | |
| Banheiro 2 | | |
| Banheiro 3 | | |
| Corredores | | |
| Copa/Cozinha | | |
| Área de Serviço | | |
| Garagem | | |
| Área Externa | | |
| Outras | | |

CHAMADA: (1)

- (1) INCANDESCENTE 25W
 (2) INCANDESCENTE 40W
 (3) INCANDESCENTE 60W
 (4) INCANDESCENTE 100W
 (5) INCANDESCENTE 150W
 (6) FLUORESCENTE TUBULAR 20W

- (7) FLUORESCENTE TUBULAR 40W
 (8) FLUORESCENTE COMPACTA 3W
 (9) FLUORESCENTE COMPACTA 9W
 (10) FLUORESCENTE COMPACTA 11W
 (11) FLUORESCENTE COMPACTA 13W
 (12) FLUORESCENTE COMPACTA 15W

- (13) FLUORESCENTE COMPACTA 20W
 (14) FLUORESCENTE COMPACTA 25W OU MAIS
 (15) FLUORESCENTE CIRCULAR 22W
 (16) FLUORESCENTE CIRCULAR 32W
 (17) DICROICA
 (18) OUTRO

8. - CLASSIFICAÇÃO CRITÉRIO-BRASIL

Tabelas para classificação socioeconômica (*CIRCULE OS PONTOS)

8.1 - VOCÊ POSSUI EMPREGADA DOMÉSTICA MENSALISTA (5 X ou mais dias por semana)?

| EMPREGADA DOMÉSTICA | Não tem | Tem 1 | Tem 2 | Tem 3 | Tem 4 ou + |
|---------------------------------|---------|-------|-------|-------|------------|
| 8.1 Empregada mensalista | 0 | 3 | 4 | 4 | 4 |

| POSSE DE ITENS | Não tem | Tem 1 | Tem 2 | Tem 3 | Tem 4 ou + |
|--|---------|-------|-------|-------|------------|
| 8.2 Televisores em cores | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 8.3 Rádio/som | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 8.4 Banheiros | 0 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 8.5 Automóveis | 0 | 4 | 7 | 9 | 9 |
| 8.6 Máquina de Lavar | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 8.7 Videocassete/DVD | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 8.8 Geladeira | 0 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 8.9 Freezer (Independente ou 2ª porta da geladeira) | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 |

8.10 - GRAU DE INSTRUÇÃO DO CHEFE DA FAMÍLIA

| | |
|--|---|
| Analfabeto /Fundamental 1 incompleto (primário) | 0 |
| Fundamental 1 completo / Fundamental 2 incompleto (Primário/ ginasial) | 1 |
| Fundamental 2 completo /Ensino Médio incompleto (Ginasial / colegial) | 2 |
| Ensino Médio completo / Superior incompleto (Colegial / superior) | 4 |
| Superior completo | 8 |